

## Magyarországi csapadékvizek kémiai összetétele és mezőgazdasági jelentősége

KOZÁK MÁTYÁS és MÉSZÁROS ERNŐ

*MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézet, Budapest  
és OMSZ Központi Légtérfizikai Intézet, Budapest*

A légkör állandó összetevőin kívül kis koncentrációban számos gáznemű, szilárd és cseppfolyós halmazállapotú (aeroszol részecskék) anyagot tartalmaz. Ezek a nyomanyagok részben természetes forrásokból, mint az óceánok felszíne, vulkanikus tevékenység, talajfelszín, kozmikus por stb., részben pedig mesterséges forrásokból (emberi tevékenység) származnak. E két forrás útján a nyomgázok és az aeroszol részecskék mennyisége jelentős mértékben megnövekedne, ha különböző természetes folyamatok, elsősorban a csapadék-hullás nem biztosítanák a légkör tisztulását. Az aeroszol részecskéken mint kondenzációs magvakon felhőelemek képződhetnek, ezek keletkezésük pillanatától kezdve állandóan további részecskéket és nyomgázokat ad- és abszorbeálnak, melyek egymással bonyolult reakciókba léphetnek. Ezt a „kimosási” tevékenységet a csapadék-elemek a felhők alatti légtérre is kiterjesztik. Mindezek a folyamatok azt eredményezik, hogy a talajra hulló csapadékvíz számos vízben oldódó és oldhatatlan anyagot tartalmaz [34].

A csapadékvíz kémiai összetételének mérésével így megítélhetjük a légkör alsó rétegeinek szennyezettségi fokát és a napjainkban egyre nagyobb jelentőségű légkör-szennyeződés kutatások számára nyerhetünk hasznos információkat. A vizsgálatok ipari jelentőségét jelzi pl. a korrózió védelemben elfoglalt fontos szerepe. A csapadékvíz kémiai összetétele mezőgazdasági, ezen belül talajtani és agrokémiai szempontból (pl. növények tápanyag felvétele, a csapadékvíz mint természetes tápanyagforrás stb.) is jelentős, mint arra az utóbbi évtizedekben megjelent nagyszámú közlemény is rámutatott.

Az említett gyakorlati okok miatt a világ különböző részein számos mérést végeztek. Az ötvenes évek elejéig végzett kutatásokat ERIKSSON [23] foglalta össze, az újabb vizsgálatokról többek között JUNGE [34] ad áttekintést. A mezőgazdasági, illetve talajtani és agrokémiai szempontból jelentősebb csapadékvíz kémiai vizsgálatok eredményei közül néhányat irodalmi adatok alapján az 1. táblázatban mutatunk be. A táblázatban a csapadékvíz nitrogén ( $\text{NH}_4$ - és  $\text{NO}_3$ -N), kén-, klorid-, foszfor-, kalcium-, nátrium- kálium- és magnézium tartalmát ismertetjük hatóanyag kg/ha/év értékekben kifejezve. Az ipari körzetek és a városok, sűrűn lakott területek közelsége valamilyen összetevő mennyiségét fokozza, ez a hatás mégis elsősorban a csapadék útján a talaj felszínére kerülő kén mennyiségében szembetűnő. A tenger közelsége mindenekelőtt a Cl és Na, kisebb mértékben a N, S, K és Mg mennyiségét befolyásolja. A csapadék nagysága szinte valamennyi szerző adata szerint fokozta a területegységre jutó ásványi komponensek mennyiségét, a nagyobb mennyiségű csapadékvíz az atmoszféra szennyeződéseinek

1. tábl

A légköri csapadékvíz kémiai összetétele

(1) Földrész, ország, hely	(2) Irodalmi hivatkozás	Nitrogén, N		
		NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	Összes
<b>EURÓPA</b>				
Nagy-Britannia Anglia	[2], [64]			8,7—19,0
Rothamsted	[15]	2,9	1,5	4,4
Skócia	[64]			
Írország	[25], [29]			
Svédország	[21], [24]	1,9	0,9	2,8
Norvégia	[36]	0,5—2,8	0,3—3,4	
*tengerpart				
Dánia	[34]	4,6	2,3	6,9
Németország				
nyugati területek	[28]			22
Dahlem	[35], [48]	4,8—5,7	2,9—4,1	7,7—9,8
Giessen	[53]			28,2
Lengyelország	[13], [14]	8,5	2,9	11,4
Szovjetunió				3,4—5,0
európai terület	[10], [17]			
Grúzia	[1]	5—7		
Olaszország	[27]	2,1—2,7	23—55,4	6,7—7,5
Emiliana	[46], [52]	11,5	2,6	14,1
Spanyolország	[58]			15,5
Magyarország		9,1	5,3	14,6
<b>ÉSZAK-AMERIKA</b>				
USA, általános adatok	[11]			9,5
Indiana	[9]			
Michigan	[16]			
N. Carolina	[26]		7,7	
Oklahoma	[30]			
Ithaca	[37]	4,5	1,4	5,9
Kentucky	[54]			
<b>ÁZSIA</b>				
India				
Madras	[5]	10,6	1,2	11,8
Kerala	[61]	2,1	0,2	
Izrael	[65]	4—20		
Malaya	[55]			20
<b>AFRIKA</b>				
Algéria, tengerpart	[12]			
Kenya	[8]	1,4		
Nigéria, északi terület	[32]	53,3	1,3	
Kongó, központi medence	[44]	3,2		5,4
Gambia	[59]			14—47
<b>AUSZTRÁLIA</b>				
Nyugat-Ausztrália	[60], [18]			
Észak-Ausztrália	[63]	0,7	0,5—0,8	1,2—1,5

\*\* Mg-al együtt

*lázat*  
irodalmi adatok alapján (kg/ha/év adatok)

Anionok			Kationok			
S	Cl	P	Cu	Na	K	Mg
16-83 2,2-4,5 13 17,9-19,1		0,2-1,0	6,5-24,0	14-51	2,8-5,4	2,9-6,1
2,9-18,7	2,5-4,0 1,4-257*		6-19 2,6-13,8	4-30 1,0-148*	1,1-3,5 0,8-8,4	1,1-11,2 0,4-17,3
12,9	26,0		6,5	16,1	3,1	3,0
80 10,0		nyom. 0,13	52,2		kevés 2,1	
114 15,5	9,9 4,8	0,24 0,4	159** 9,9	3,2	5,0 3,0	1,5
26,9	28,7		36,3	14,1		12,6
34,6-72,0 17-23		1,6-1,9				
23,6	9,0	0,1-0,2	28,0	9,4	6,7	
30 11,2-30,1		0,43	7,3	35,3	3,0	4,6
27 6,7-20 54,5 7,8-17,5	7,7		7,7	6,9	1,2	1,9
	183	1,8	83,7		39,8	
		2,0		6,2		
		0,2	38		12	3
				40-54		
		2,6	1,0	60,3	36,8	2,9
		0,2-0,3			2,8-5,9	
1,3-6,7	42,6 1,6-1,8		7,8	22,0 1,1	2,6 0,3	4,3 0,2

nagyobb mértékű „kimosását” eredményezi [2, 33, 45, 56, 57]. A csapadékvízben levő kémiai anyagok koncentrációja viszont általában a csapadék nagyságával csökken, felhígul, tehát az összefüggés ebben az esetben fordított.

Szárazföldi területeken, ahol a tengerek, valamint az ipari-városi körzetek hatása feltehetően kismértékű, a csapadékvízben található kémiai anyagok nagyrészt a talajfelszínéről a szél által felkavart por-részecskékből, elszáradt növényi maradványokból származhatnak [15]. Az emberi tevékenység közvetett hatása azonban ezeken a területeken is érvényesülhet. A növényi maradványok szerepére utalhat a trópusi csapadékvizekben mért jelentős szerves-N és az átlagosnál magasabb foszfortartalom is [32, 62].

A csapadékvíz kémiai összetételét befolyásoló néhány fontosabb tényező felsorolása is jelzi, hogy végül is több irányú bonyolult, gyakran ellentétes hatások eredőjeként mérhető a csapadék útján a talaj felszínére, a természetes és kultúr vegetációra kerülő kémiai anyagok mennyisége. Érthető ezért a kémiai összetétel ingadozása. Ez az ingadozás azonban nem zárja ki bizonyos óvatos általánosítások, következtetések levonását, különösen egyes tápanyagok mint a nitrogén és a kén jelentőségének megítélése szempontjából.

Tanulmányunkban bemutatjuk a magyarországi csapadékvizek kémiai összetételét, az ország egész területére kiterjedő 8 állomásból álló hálózat hároméves eredményeit, értékelését, talajtani és agrokémiai jelentőségét.

### A csapadékminták vételének helye és módszere

A mintavételek 1968—1970 között a következő 8 meteorológiai állomáson történtek: Aranyosapáti (Szabolcs-Szatmár m.), Bősárkány (Győr-Sopron m.), Budapest-Lőrinc (Légtérfizikai Intézet), Hortobágy-Halastó (Hajdú-Bihar m.), Jakabszállás (Bács-Kiskun m.), Pizskéstető (Heves m., Mátra), Szarvas-Bikazug (Békés m.) és Varjakpuszta-Zics (Somogy m.). Az állomások földrajzi elhelyezkedését az 1. ábra mutatja. Mint az ábrából látható az állomások helyét (kivéve a Légtérfizikai Intézetben levő bázis állomást) úgy választottuk meg, hogy az ország különböző tájain levő mintavételek közvetlen mesterséges szennyeződésnek ne legyenek kitéve. Az úgynevezett „háttér” koncentrációkat igyekeztünk megállapítani.



1. ábra

Mintavételi helyek a csapadékvíz kémiai összetételének vizsgálatához

A havi csapadékminták gyűjtési módszere a következő: az esővizet 15 cm átmérőjű üvegtölcsér gyűjti össze, melyet a talaj felszínétől 1 m magasságban levő átalakított normál csapadékmérőben helyeztünk el. A víz a tölcserből 2 literes polietilén palackba folyik. Az észlelő minden reggel, a csapadék-észlelésekkel egyidőben megvizsgálja a kétliteres palackot és amennyiben volt csapadék, a vizet egy 5 literes polietilén palackba tölti. A téli hónapokban havazás esetén a mintagyűjtés 32 cm átmérőjű polietilén edényekben történik. Az észlelő minden hónap végén 500 ml jól homogenizált mintát küld a Légkörfizikai Intézet kémiai laboratóriumába és a mintagyűjtő edényzetet desztillált vízzel gondosan kimossa.

A mintavétel alatt a tölcserbe nemcsak a csapadékhullás, hanem az aeroszol részecskék ún. száraz ülepedése is juttathat különböző anyagokat. Méréseink tehát a száraz és nedves ülepedés együttes hatását érzékelik. A részecskék nedves ülepedési sebessége azonban radioaktív vizsgálataink szerint kb. egy nagyságrenddel nagyobb mint a száraz ülepedési sebesség [43], ez utóbbi hatása tehát gyakorlatilag elhanyagolható.

### A csapadékvíz analízise

A csapadékvízben a vízoldható kémiai anyagok, anionok és kationok mennyiségét, a csapadékvíz pH-ját és elektromos vezetőképességét tanulmányoztuk. Az anionok közül a csapadékvíz szulfát, nitrát, nitrit, klorid és foszfát, a kationok közül az ammónium, kalcium, nátrium és kálium tartalmát határoztuk meg. A kémiai analízis nagyobbik részét a Légkörfizikai Intézet kémiai laboratóriumában, a lángfotometrikus meghatározásokat a MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézet Homokkutatói osztályának laboratóriumában végeztük.

Az elektromos vezetőképességet konduktométerrel (OK 102 tip.) a pH-t üvegelektroddal (OP 201/1 tip. pH-mérő) mértük. A szulfát és klorid ionok kimutatását Pulfrich típusú nefelométerrel végeztük. A szulfát ionok meghatározására  $\text{BaCl}_2$ -ot használtunk, amit szilárd alakban adtunk az etilalkohollal és sósavval kezelt csapadékvíz mintákhoz. A klorid ionkoncentráció meghatározása esetén  $\text{HNO}_3$ -as savanyítás után a csapadékvízhez  $\text{AgNO}_3$  oldatot adtunk és a kivált  $\text{AgCl}$  zavarosságát mértük. A csapadékvíz minták ammónium tartalmát Nessler-reagenssel mutattuk ki, nitrát tartalmát pedig a szalicilsav  $\text{H}_2\text{SO}_4$  közegben végbemenő nitrálás jelezte. A kalcium ionok meghatározására murexiddel adott lazac-vörös komplexét használtuk. A vizsgálatok részleteit, a kimutatás hibáit MÉSZÁROS [39] ismertette. A nitrit meghatározását az ismert módon alfa-naftilaminnal és szulfanilsavval, a foszfát tartalom meghatározását molibdén-kék reakcióval  $\text{SnCl}_2$ -os redukció segítségével végeztük [3]. A fotometrikus meghatározásokhoz Spektromom 360 tip. spektrofotométert használtunk. A csapadékvíz minták nátrium és kálium tartalmát lángfotometriásan határoztuk meg.

### Eredmények

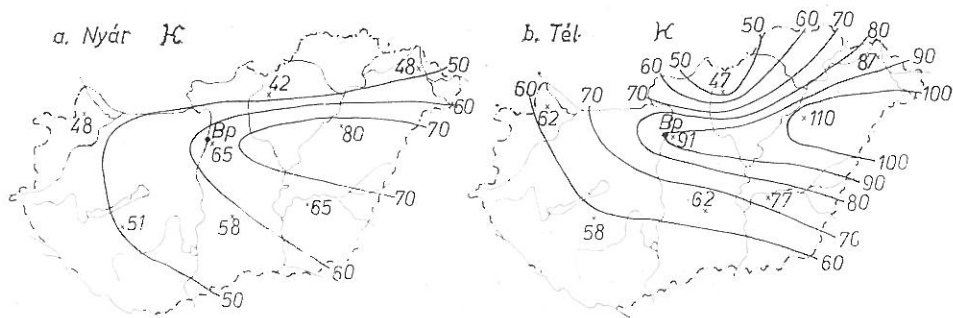
A csapadékvíz kémiai analízisének eredményeit két csoportra osztva mutatjuk be; 1. A kémiai anyagok koncentrációja a vizsgált csapadékvíz mintákban (mg/l), a pH és elektromos vezetőképesség ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) adatok. 2. A csapadék útján a talajfelszínre kerülő kémiai anyagok mennyisége (kg/ha/év), arányai.

1. A pH, az elektromos vezetőképesség és az ionkoncentráció adatok ismertetése és értékelése

Az első csoportba sorolt koncentráció, pH és elektromos vezetőképesség értékeket izovonalas ábrákon grafikusán mutatjuk be. Az adatokat nyári (április–szeptember) és téli (október–március) félévek középértékeire számítva ismertetjük. A középértékeket az adott állomásra három év, 1968–1970, havi adataiból számítottuk. A számításnál az egyes értékeket a csapadékvíz mennyisége szerint súlyoztuk. A két félévre való szétválasztást az esetleges évszakos menet megállapításának igényén felül, talajtani és agrokémia szempontok is indokolják. A koncentráció értékek területi megoszlásának bemutatásakor a Budapest-lőrinci adatokat is figyelembe vettük, mivel ezek többé-kevésbé beillenek a többi állomás alapján kialakuló képbe. A lőrinci adatok Budapest környezetére jellemzők. A területi eloszlás részleteinek megállapításához a hálózatban szerepelt 8 állomás hároméves átlagértékei természetesen nem elegendők. Ennek ellenére a bemutatásra kerülő eloszlások első közelítésben elfogadhatóan koherensek, néhány általános következtetés levonására alkalmasak.

Az elektromos vezetőképesség nyári és téli eloszlását a 2. a. és b. ábra mutatja be. Az ábra alapján két lényeges megállapítás tehető: egyrészt a téli értékek magasabbak mint a nyáriak, másrészt nyugat–keleti és észak–déli növekedés figyelhető meg, hasonlóan a már közölt 4 állomásra vonatkozó egyéves eredményeinkhez [42].

A 3. ábrában a csapadékvíz anion összetételének területi eloszlását ismertetjük. A legnagyobb koncentrációban előforduló szulfát ionok területi eloszlása lényegében az elektromos vezetőképesség eloszlásához hasonló. Általában a téli félév  $\text{SO}_4^{2-}$  koncentráció értékek magasabbak a nyári értékeknél, kivéve a piszkéstetői és a Hortobágy-halastói állomás adatait, ahol a nyári középérték valamivel meghaladja a téliét. A legnagyobb szulfát ionkoncentrációt a Hortobágy-Halastó állomáson mértük. A csapadékvíz  $\text{Cl}^-$  ionkoncentráció adatok esetében területi eloszlásról lényegében nem beszélhetünk, az értékek a szulfát koncentrációjához viszonyítva alacsonyak, 1 mg/l körül ingadoznak. A Hortobágy-Halastónál a nyári klorid koncentráció ismét magasabb (2,3 mg/l), mint a többi érték. A nitrát ionkoncentráció eloszlása fordított képet mutat, mint az elektromos vezetőképesség vagy a szulfát ionok esetében. A  $\text{NO}_3^-$  koncent-



2. ábra

A csapadékvíz elektromos vezetőképességének területi eloszlása a nyári és téli félévben ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )

ráció nyugat–kelet ill. észak–dél irányban esökkenő tendenciát mutat. A Dunától keletre fekvő területeken télen, míg a két dunántúli állomáson nyáron nagyobb a koncentráció, ennek megfelelően a nyugat–keleti gradiens télen kisebb. A nitritértékek igen alacsonyak és csupán a nyári eloszlásban mutatkozik szabályosság, nyugat–keleti irányú növekedés. A nitrit- és nitrát-ionok eloszlása nem mutat hasonlóságot.

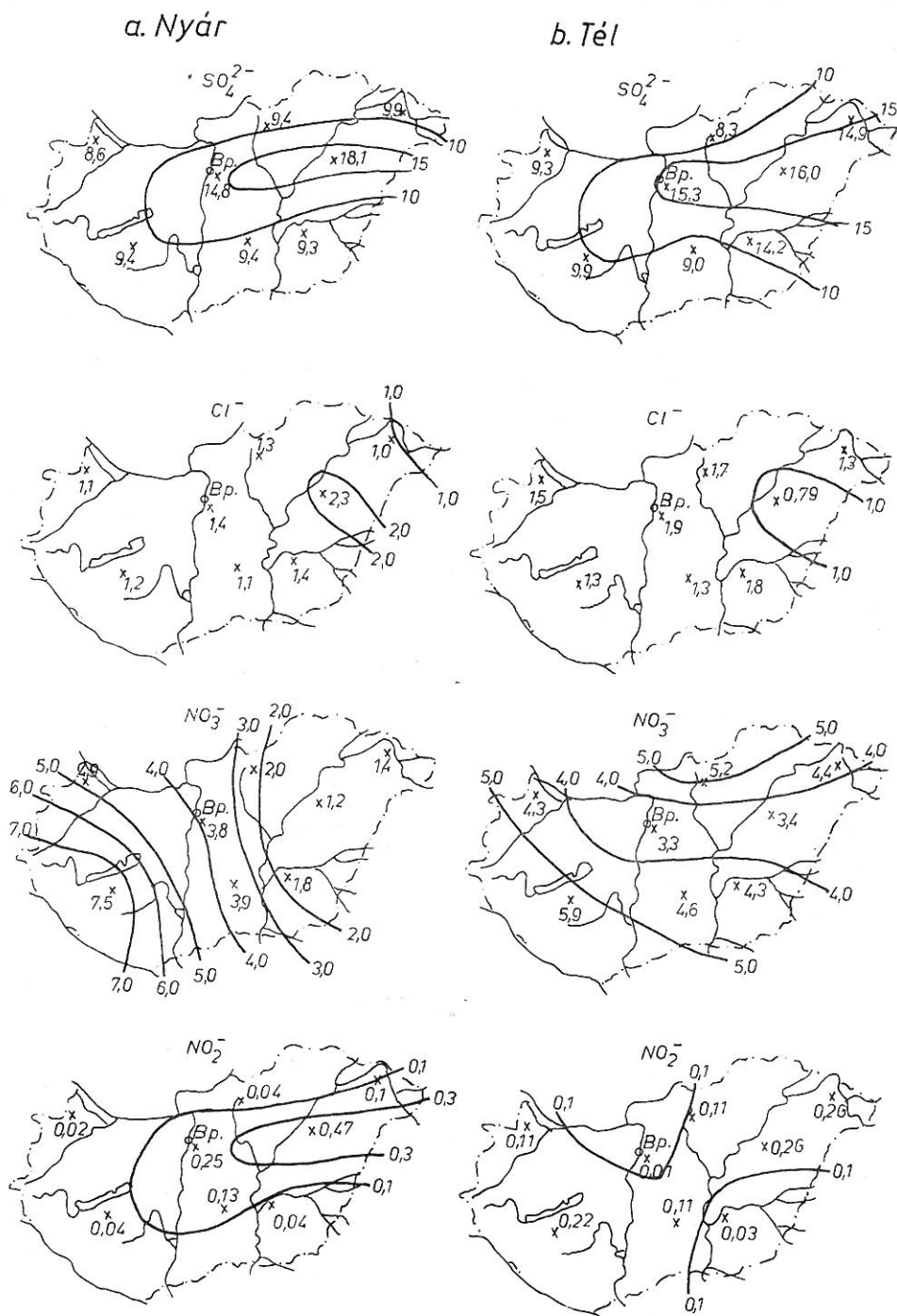
A foszfátionok koncentrációja a csapadékvízben rendkívül alacsony, általában 0,01 mg/l nagyságrendű, ezért a  $\text{PO}_4^{3-}$  ionkoncentráció eloszlását nem mutatjuk be.

A 4. ábrában a csapadékvíz kationkoncentrációjának területi eloszlását ismertetjük. Az ammónium ionkoncentráció értékek eloszlásában kelet felé különösen télen erős növekedés tapasztalható. A téli értékek magasabbak, kivéve a Budapest-Lőrinc állomás adatait. A kalcium, a nátrium és kálium ionkoncentráció eloszlása lényegében az elektromos vezetőképesség és a szulfátionok eloszlásához hasonlítható.

A csapadékvíz pH-értékeinek területi eloszlását az 5a. és b. ábra mutatja. Nyáron a pH-értékek nyugatról keletre, ill. északról délre haladva egyértelműen növekednek, míg télen az Alföldön figyelhetők meg a maximális értékek. A téli értékek általában alacsonyak, kivéve a bősárkányi állomás adatait.

Az előzőekben bemutatott területi eloszlások legjellegzetesebb vonása, hogy a nitrát ionkoncentrációt kivéve, az értékek nyugatról keletre, ill. északról dél felé haladva növekednek. Mint a bevezetőben említettük a csapadékvíz kémiai összetételét számos tényező együttes hatása alakítja ki, így az adatok értékelése sok esetben nehéz feladatot jelent. A kapott eloszlási kép magyarázatához két tényezőt emelünk ki: a csapadékvíz mennyiségének és a nyomanyag-források elhelyezkedésének hatását.

A klimatológiaiából ismeretes, hogy az ország keleti és déli része, különösen az Alföld átlagosan jóval kevesebb csapadékot kap, mint az északi hegyes, illetve a nyugati dombos területek [4]. A napi mintavételén alapuló előző vizsgálataink kimutatták [40], hogy fordított összefüggés van az adott ionkoncentrációja és a csapadékvíz mennyisége között. Ezt az eredményt a havi mintavételek eredményein alapuló féléves középértékek értelmezésekor is figyelembe kell vennünk. Az 1. táblázatban a hálózatunkban szerepelt mérőállomásokon meghatározott közepes féléves és éves csapadék összegeket adjuk meg. A táblázat adatait és az ionkoncentráció értékek területi eloszlását figyelembe véve azt mondhatjuk, hogy általában ebben az esetben is fordított összefüggést kapunk a koncentráció és a csapadék mennyisége között. A területi eloszlás azonban csak a csapadékvíz mennyiségének hatásával egyértelműen nem magyarázható. Állandó erősségű szennyező források esetén a csapadékvízben levő kémiai anyagok koncentrációja télen maximális, mivel ebben a félévben a légkör átkeverését, a légkör alsó rétegeiből a nyomanyagok elszállítását biztosító légköri kicserélődés sokkal kevésbé intenzív, mint a nyári félévben. Ilyen állandó erősségű forrásnak tekinthető az ipari tevékenység. A fűtés viszont télen maximális erősségű forrást jelent. Ez a két hatás tehát egyértelműen a téli koncentráció értékek emeléséhez vezet. Azonban, mint már említettük, az állomásokat olyan helyeken helyeztük el, ahol az emberi tevékenységből eredő szennyeződésnek nincsenek közvetlenül kitéve (ez természetesen nem jelenti azt, hogy ezek a hatások közvetve ne érvényesülhének). Ennek megfelelően az adatok értékelésekor a természetes források hatásait is figyelembe kell vennünk.



3. ábra

Az anion koncentráció területi eloszlása a nyári és téli félévben (mg/l)

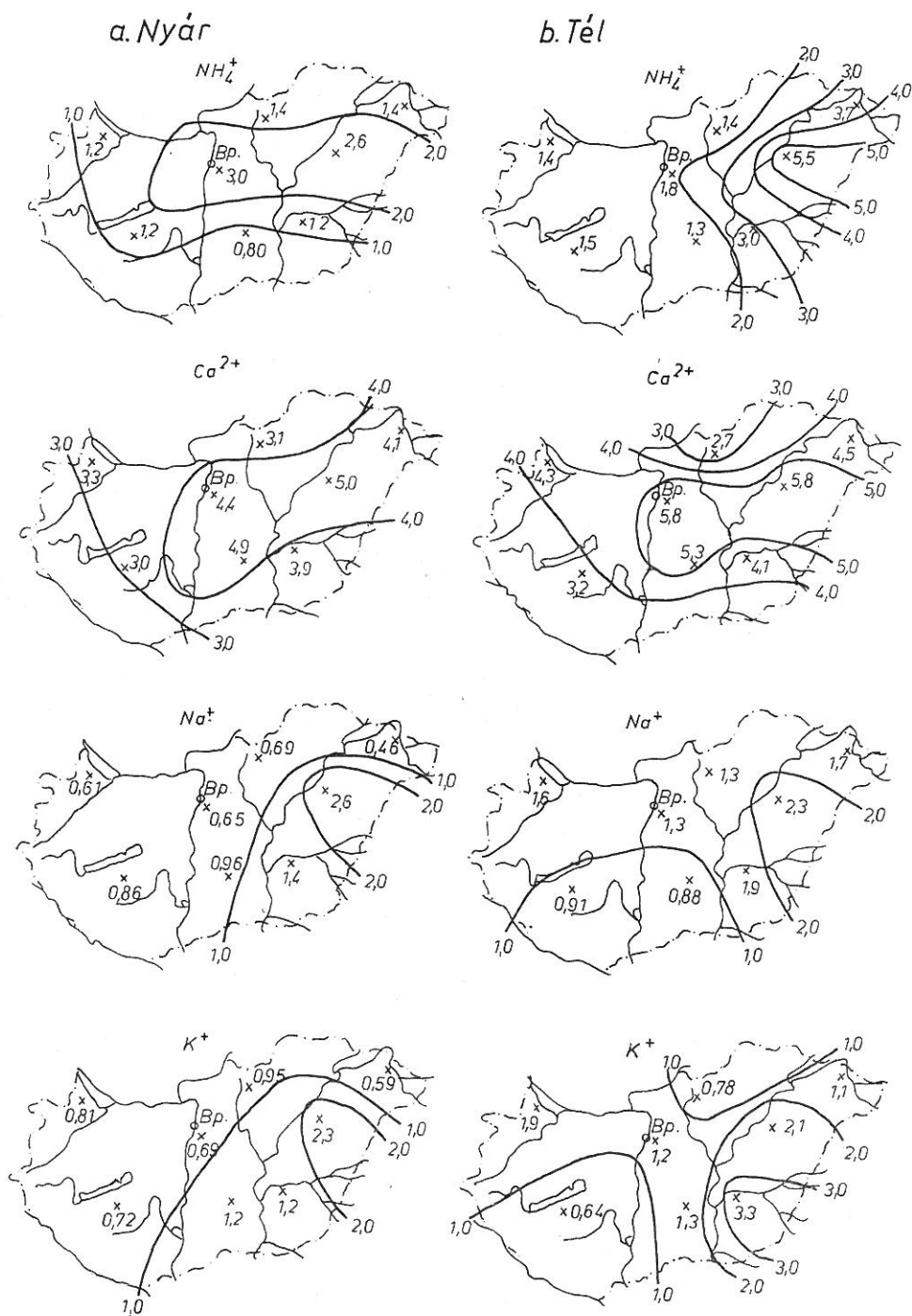


Esetünkben természetes forrásnak elsősorban a talajfelszín tekinthetjük, ahonnan egyrészt részecskék, másrészt nyomgázok kerülnek a levegőbe. A talajfelszín forrás-erőssége feltételezhetően a nyári félévben nagyobb, így ilyen eredetű anyagok esetén a kicserélődés évi menetét is figyelembe véve, bonyolult, esetleg elmosódott évszakos változások alakulnak ki. Valószínű, hogy az Alföldön mért nagyobb Ca-, Na- és K-ionkoncentrációk a meszes és szikes talajok előfordulásának gyakoriságával magyarázhatók.

JUNGE [34] szerint a csapadékvízben levő nyári szulfát ionkoncentráció maximumokat nem az emberi tevékenység (pl. a fűtésből származó, vagy ipari eredetű  $\text{SO}_2$ ), hanem különböző szerves anyagok (talaj, növények) bomlásakor felszabaduló kénhidrogén hatása hozhatja létre. A talajból ammónia is szabadulhat fel, különösen ha sok alkáliát tartalmaz [65]. HEALY és munkatársai [31] kimutatták, hogy jelentős mennyiségű légköri ammónia származhat az állatok vizeletéből is. Ez a hatás elsősorban a nagy kiterjedésű és állatsűrűségű legelőterületeken lehet jelentős. Az említett hatások a magyarországi csapadékvizek kémiai összetételének kialakításában is szerepet játszanak, de ennek bizonyítására nem rendelkezünk elegendő részletességű adatokkal. Néhol speciális helyi hatásokkal is számolhatunk, így pl. a Budapest-Lőrinc állomáson mért nyári  $\text{NH}_4^+$  koncentráció maximum feltehetően a volt fővárosi szeméttelp közelségével magyarázható.

A csapadékvíz pH-értékek területi eloszlásának magyarázatánál mindekelőtt meg kell jegyezni, hogy a felhő és csapadékvizek ún. „neutrális” pontja nem a pH = 7-nél, hanem ennél alacsonyabb értéknél van a légköri  $\text{CO}_2$  elnyelődése miatt. BARRETT és BRODIN [6] szerint a „neutrális” pont 25 °C-on pH = 5,7, az ennél alacsonyabb 4–5 körüli pH-értékeket elsősorban az ipari eredetű  $\text{SO}_2$ -ből keletkező kénsav alakítja ki. Ebben az esetben a pH és a szulfát ionkoncentrációja fordított összefüggést mutat. Adatainknál a két paraméter között fordított korrelációról nem beszélhetünk. A pH területi eloszlásának értelmezésénél kiindulhatunk abból a megállapításból, hogy a csapadékvíz  $\text{Ca}^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$  és  $\text{K}^+$  ionkoncentráció eloszlása a pH-értékekhez hasonló. Már előző, napi mintavételén alapuló vizsgálataink is kimutatták [41], hogy szignifikáns pozitív korreláció van a pH és a Ca ionok mennyisége között. Ezt a jelenséget a talaj felszínéről származó  $\text{CaCO}_3$  részecskékkel magyaráztuk, ezek a részecskék ugyanis a csapadékvízbe kerülve savakat semlegesítenek, illetve  $\text{HCO}_3^-$  ionokat hoznak létre, amelyek hidrolízist szenvednek. Nagyon valószínű, hogy egyéb a talaj felszínéről származó anyagok (mint pl. a  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) is hasonló hatást fejtenek ki. A pH délkelet irányú növekvő tendenciáját a kalcium-, nátrium- és káliumionokon kívül az ammóniumionok eloszlása is elősegíti, a légköri ammónia abszorpciója szintén a pH növeléséhez vezet. Az alacsonyabb téli pH-értékeket részben a csapadékvízben lejátszódó hidrolízisfolyamatok hőmérsékletfüggéseivel magyarázhatjuk, mivel alacsonyabb hőmérsékleten visszaszorul a hidrolízis.

A kation- és anionkoncentrációk esetében néhány kivételtől eltekintve lényeges évi menetről nem beszélhetünk. A téli értékek azonban általában valamivel nagyobbak, ez az elektromos vezetőképesség téli értékeire is vonatkozik, amit részben a téli általában kisebb csapadékmennyiségekkel, részben közvetett ipari hatással magyarázhatunk. A szulfát ionkoncentráció értékeknél ugyan téli maximumok közvetlenül nem mutathatók ki, a viszonylag magas szulfátkoncentrációk azonban nyilvánvalóan antropogén eredetre utalnak. Az emberi tevékenységből származó  $\text{SO}_2$  és a talaj eredetű kénvegyületek



4. ábra

A kation koncentráció területi eloszlása a nyári és téli félévben (mg/l)

koncentrációinak évszakos változása valószínűleg többé-kevésbé kiegyenlíti egymást.

A mért csapadékvíz ionkoncentráció értékek jól beilleszkednek a környező európai állomások adatai alapján kialakuló képbe [7, 19, 20, 38, 50], az ország keleti részében mért kation koncentrációk, különösen a nátrium- és káliumértékek valamivel magasabbak [19].

A pH-értékek, valamint az ionkoncentrációk nyugat-kelet, ill. észak-dél irányú növekedésére adott magyarázatunkat a következő módon is alátámaszthatjuk. A mért ionkoncentráció adatokból kiszámítható az adott hőmérsékletre vonatkoztatva a fajlagos elektromos vezetőképesség ( $\kappa_{\text{számított}}$ ) az alábbi képlet segítségével [22]:

$$\kappa_{\text{szám}} = \sum c_i u_i$$

ahol  $c_i$  az  $i$ -edik ion grammekvivalenseinek száma, az oldat  $1 \text{ cm}^3$ -ben, míg  $u_i$  az  $i$ -edik ion relatív mozgékonyasága, ezt fizikai-kémiai táblázatokból határozhatjuk meg.

A számításokat végtelen hígításra és  $18^\circ\text{C}$ -ra végeztük el. A számított és mért elektromos vezetőképesség arányának területi eloszlását a nyári és téli félévben a 6. ábra adja meg. Mindkét félévben a  $\kappa_{\text{szám}}/\kappa_{\text{mért}}$  arány területi eloszlása jól összevethető a pH eloszlásával; nagyobb pH-értékekhez kisebb arány tartozik. A kisebb arányszám azt jelenti, hogy a csapadékvízben az általunk mért ionok az ország délkeleti részében az összes ionok kisebb hányadát teszik ki. Ugyanakkor feltételeztük, hogy a nagyobb pH-értékek elsősorban a talajfelszínről származó kationok koncentrációjának növekedésével magyarázhatók. A két megállapítás összevetéséből az következik, hogy az alföldi állomásokon gyűjtött csapadékvízben az általunk mért ionokat tekintve a kationoknak túlsúlyba kell kerülniök és a számított és mért vezetőképességek eltérését valamilyen nem meghatározott anion okozhatja. Ennek bizonyítására a 6. ábrán a grammekvivalensben számított anionok és kationok összegének arányát rajzoltuk fel. A két félévre vonatkozó eloszlási kép jól alátámasztja a fenti konklúziót. Tekintve továbbá, hogy a pH emelkedését elsősorban különböző karbonátokat tartalmazó légköri részecskékkel illetve ezek hidrolízisével magyaráztuk, az általunk nem mért anionok valószínűleg hidrogénkarbonát, ill. karbonát ionok. DROZDOVA és munkatársai [19], valamint DENISZOV és BUGAEV [17] meghatározva a csapadékvíz  $\text{HCO}_3^-$  ionkoncentrációját is, a számított és mért vezetőképesség értékek között kielégítő egyezést kaptak. A teljesség kedvéért meg kell említeni, hogy a kationok közül, az általában kis koncentrációban előforduló [14, 15, 64]  $\text{Mg}^{2+}$  ionkoncentrációját sem határoztuk meg, a magnéziumértékek kihagyása azonban alig befolyásolhatja a fentiekben vázolt képet.

## 2. A csapadék útján a talaj felszínére kerülő kémiai anyagok mennyisége és értékelése

A csapadékvíz kémiai összetétele, a csapadékvíz mint az egyik természetes tápanyagforrás, agrokémiai szempontból is jelentős. Az adatokat hatóanyag  $\text{kg/ha/év}$  értékekre átszámítva, meghatározható a csapadék útján a talaj felszínére kerülő kémiai anyagok mennyisége.

A 3. táblázatban a légköri csapadékvíz átlagos (éves) kémiai összetételét

## 2. táblázat

## A csapadék mennyisége és nyári—téli féléves megoszlása mm-ben (1968—1970)

(1) Mintavételi hely	1968			1969			1970			(5) 3 éves átlag		
	(2)	(3)	(4)	(2)	(3)	(4)	(2)	(3)	(4)	(2)	(3)	(4)
	Nyár	Tél	Év	Nyár	Tél	Év	Nyár	Tél	Év	Nyár	Tél	Év
Bősárkány	509	424	933	590	495	1085	505	774	1279	535	564	1099
Varjakpuszta-Zics	283	190	473	423	360	783	358	265	623	354	272	626
Budapest-Lőrinc	285	157	442	264	321	585	291	269	560	280	249	529
Jakabszállás	256	95	351	358	183	541	352	202	554	322	160	482
Piszkéstető	296	252	548	467	294	761	644	393	1037	469	313	782
Hortobágy-Halastó	213	155	368	310	186	496	482	231	713	335	191	526
Szarvas-Bikazug	360	108	468	291	250	541	375	208	583	342	189	531
Aranyosapáti	270	232	502	261	203	464	380	244	624	304	226	530
a) Mintavételi helyek átlaga	309	202	511	370	287	657	423	323	746	367	271	638

mutatjuk be kg/ha/év értékekben. Mint már a bevezetőben is említettük a csapadék mennyisége jelentősen befolyásolja a csapadékvíz kémiai összetételét az ionkoncentráció értékeket általában csökkenti, „hígítja”, a területegységre vonatkoztatott adatokat viszont általában növeli. Szinte valamennyi vizsgált paraméter esetében a legnagyobb csapadékmennyiségeknél mértük a maximumokat (pl. Bősárkány, 2. táblázat). Ezt az egyszerű összefüggést azonban néhány más, az ionkoncentráció értékek területi eloszlásánál már részletezett hatás bonyolítja. Így ebben az esetben is számolhatunk az antropogén tényezők közvetett hatásával, a természetes nyomanyag források közül pedig elsősorban a talajfelszín hatásával.

A 4. táblázatban a csapadékvíz útján a talajfelszínre kerülő kémiai anyagok nyári-téli féléves megoszlását mutatjuk be. A táblázatban hároméves átlagadatok szerepelnek, kg/ha/év értékekben kifejezve. A kén, kalcium és kálium a nyári félévben, a nátrium a téli félévben adott maximumot, míg a nitrogén és a klorid közel azonos eloszlású volt a mintavételi helyek átlagában. Az egyes mintavételi helyek között azonban mind a mennyiség, mind pedig az eloszlás vonatkozásában lényeges különbségek alakultak ki. Így pl. jellegzetesek a Hortobágy-halastói állomáson mért Na, Ca, K, Cl és S nyári maximumok. Megegyezően az ionkoncentráció adatok értékelésével, bizonyítja a talajfelszín esetenkénti jelentős szerepét a csapadékvíz kémiai összetételének kialakításában. Ugyanígy pl. a Jakabszálláson (Duna-Tisza köze) mért Ca nyári maximumok visszavezethetők az állomás környékén levő meszes homok-talaj-felszín hatására. A tavaszi-nyári szelek könnyen a légkör alsó rétegeibe szállítják a gyorsan kiszáradó homokfelszín finom eloszlású  $\text{CaCO}_3$  részecskéit.

Az általános jellemzést követően vizsgáljuk meg részletesen az egyes elemek eloszlását, arányait, jelentőségét a növények tápanyaggazdálkodásában.

*Nitrogén.* — A mintavételi helyek és évek átlagában kereken 15 kg N/ha/év nitrogént szállít a talajra a csapadék. Ez az érték nagyságrendben megegyezik az olasz és spanyol adatokkal [46, 59] és közelesik a Lengyelországban mért [13, 14] N értékekhez. A nitrogénnek csaknem pontosan felét a nyári, másik felét a téli félévben mértük átlagosan. Ez az átlagos eloszlás úgy adódott, hogy 4 állomásnál valamivel a nyári, a másik 4-nél viszont a téli

3. táblázat

A légköri csapadékvíz átlagos kémiai összetétele; kg/ha/év, 1968—1970

(1) Mintavételi helyek	(2) Év	Nitrogén				S	Cl	Ca	Na	K
		NH <sub>4</sub>	NO <sub>x</sub>	NO <sub>2</sub>	összes					
Bősárkány	1968	6,4	8,2	0,3	14,9	25,7	10,5	31,5	13,9	9,8
	1969	8,5	11,2	0,2	19,9	33,9	15,0	35,2	16,1	7,5
	1970	18,8	14,1	0,1	33,0	38,7	17,2	66,9	16,1	11,0
	a) átlag	11,2	11,2	0,2	22,6	32,8	14,2	44,6	15,4	9,4
Varjakpuszta-Zics	1968	3,0	10,2	0,4	13,6	16,3	5,1	19,2	4,7	5,1
	1969	10,0	7,6	0,0	17,6	22,6	8,4	15,1	3,2	5,9
	1970	10,4	7,1	0,1	17,6	20,7	9,2	24,5	6,6	5,6
	a) átlag	7,8	8,3	0,2	16,3	19,9	7,6	19,6	4,8	5,5
Budapest-Lőrinc	1968	7,3	4,3	0,4	12,0	17,2	6,3	23,2	4,7	3,7
	1969	8,9	3,4	0,0	12,3	27,2	7,5	23,9	6,8	3,6
	1970	13,1	4,8	0,1	18,0	34,1	11,8	38,1	6,8	4,9
	a) átlag	9,8	4,1	0,2	14,1	26,2	8,5	28,4	6,4	4,1
Jakabszállás	1968	1,3	3,8	0,3	5,4	11,2	3,5	29,2	4,4	2,2
	1969	4,7	4,7	0,1	9,5	12,4	4,6	22,2	5,4	2,5
	1970	4,6	4,5	0,2	9,3	20,7	8,3	33,4	6,8	10,1
	a) átlag	3,5	4,3	0,2	8,0	14,8	5,5	28,2	5,5	4,9
Piszkéstető	1968	5,3	7,4	0,1	12,8	17,6	6,4	26,2	5,9	11,5
	1969	10,6	5,2	0,0	15,8	17,4	12,2	17,3	3,4	3,5
	1970	9,2	5,4	0,3	14,9	35,0	15,5	34,0	12,7	7,5
	a) átlag	8,4	6,0	0,1	14,5	23,3	11,3	25,8	7,3	7,5
Hortobágy-Halastó	1968	14,4	2,8	1,2	18,4	21,4	9,6	35,3	26,6	14,9
	1969	17,9	1,7	0,4	20,0	32,5	10,6	25,7	19,2	9,3
	1970	12,0	2,4	0,1	14,5	39,1	13,0	37,1	13,7	7,4
	a) átlag	14,7	2,3	0,6	17,6	31,0	11,1	32,7	19,8	10,5
Szarvas-Bikazug	1968	2,6	2,4	0,0	5,0	9,2	4,3	6,5	3,2	2,1
	1969	9,4	2,5	0,0	11,9	16,2	7,0	11,7	14,0	4,3
	1970	10,1	4,7	0,1	14,9	33,1	12,9	45,9	17,8	14,9
	a) átlag	7,4	3,2	0,0	10,6	19,5	8,1	21,3	11,7	7,1
Aranyos-apáti	1968	7,0	2,8	0,1	9,9	16,7	5,5	18,2	3,1	4,1
	1969	8,4	2,3	0,1	10,8	19,7	4,5	18,0	2,3	3,9
	1970	13,8	4,2	0,5	18,5	27,5	8,3	34,8	9,1	6,8
	a) átlag	9,7	3,1	0,2	13,0	21,3	6,1	23,6	4,8	4,9
b) Mintavételi helyek átlaga	1968	5,9	5,3	0,3	11,5	16,9	6,4	23,6	8,3	6,7
	1969	9,8	4,9	0,1	14,8	22,7	8,7	21,1	8,8	5,0
	1970	11,5	5,9	0,2	17,6	31,1	12,0	39,3	11,2	8,5
	a) átlag	9,1	5,3	0,2	14,6	23,6	9,0	28,0	9,4	6,7

## 4. táblázat

A légköri csapadékvíz kémiai összetételének nyári—téli féléves megoszlása, 3 éves átlag adatok, kg/ha/év

(1) Mintavételi hely	(2) Évszak	Nitrogén, N				S	Cl	Ca	Na	K
		NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	összes					
Bősárkány	a) nyár	4,3	5,2	0,0	9,5	13,4	5,1	16,4	2,9	4,7
	b) tél	6,9	6,0	0,2	13,1	19,4	9,1	28,2	12,5	4,7
	c) év	11,2	11,2	0,2	22,6	32,8	14,2	44,6	15,4	9,4
Varjakpuszta-Zics	a) nyár	4,0	5,1	0,1	9,2	10,7	4,1	11,0	2,0	3,8
	b) tél	3,8	3,2	0,1	7,1	9,2	3,5	8,6	2,8	1,7
	c) év	7,8	8,3	0,2	16,3	19,9	7,6	19,6	4,8	5,5
Budapest-Lőrinc	a) nyár	6,2	2,3	0,2	8,7	13,5	3,8	13,9	1,8	2,0
	b) tél	3,6	1,8	0,0	5,4	12,7	4,7	14,5	4,3	2,1
	c) év	9,8	4,1	0,2	14,1	26,2	8,5	28,4	6,1	4,1
Jakabszállás	a) nyár	2,0	2,7	0,1	4,8	10,2	3,5	19,4	3,8	3,3
	b) tél	1,5	1,6	0,1	3,2	4,6	2,0	8,8	1,7	1,6
	c) év	3,5	4,3	0,2	8,0	14,8	5,5	28,2	5,5	4,9
Piszkéstető	a) nyár	5,0	2,3	0,1	7,4	14,7	6,2	17,0	3,1	4,8
	b) tél	3,4	3,7	0,0	7,1	8,6	5,1	8,8	4,2	2,7
	c) év	8,4	6,0	0,1	14,5	23,3	11,3	25,8	7,3	7,5
Hortobágy-Halastó	a) nyár	6,5	0,8	0,5	7,8	19,9	7,7	18,4	13,1	7,2
	b) tél	8,2	1,5	0,1	9,8	11,1	3,4	14,3	6,7	3,3
	c) év	14,7	2,3	0,6	17,6	31,0	11,1	32,7	19,8	10,5
Szarvas-Bikazug	a) nyár	3,0	1,4	0,0	4,4	10,6	4,7	13,8	5,3	3,9
	b) tél	4,4	1,8	0,0	6,2	8,9	3,4	7,5	6,4	3,2
	c) év	7,4	3,2	0,0	10,6	19,5	8,1	21,3	11,7	7,1
Aranyosapáti	a) nyár	3,2	0,9	0,1	4,2	10,0	3,1	13,3	1,1	2,3
	b) tél	6,5	2,2	0,1	8,8	11,3	3,0	10,3	3,7	2,6
	c) év	9,7	3,1	0,2	13,0	21,3	6,1	23,6	4,8	4,9
d) Mintavételi helyek átlaga	a) nyár	4,3	2,6	0,1	7,0	12,9	4,8	15,4	4,1	4,0
	b) tél	4,8	2,7	0,1	7,6	10,7	4,2	12,6	5,3	2,7
	c) év	9,1	5,3	0,2	14,6	23,6	9,0	28,0	9,4	6,7

félévben volt nagyobb a nitrogén mennyisége. Az értékek hely szerinti ingadozása; 8,0–22,6 kg N/ha/év között, a legkisebb N értékek az ország déli, délkeleti részén (Jakabszállás, Szarvas), a legnagyobbak a Dunántúlon alakultak ki. Az adatok éves ingadozása a helyek átlagában 11,5–17,6 kg N/ha/év közötti és nagyjából követi a csapadék mennyiségének változását.

Meghatároztuk a nitrogénértékek összetevőit is, a csapadékvíz NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> és NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N tartalmát. Az ammónium és nitrát (+nitrit)-N aránya megközelíti a 2 : 1 arányt, a mintavételi helyek átlagában 1,7. Meg kell állapítani azonban, hogy az arány tekintetében a mintavételi helyek között nagy különbségeket találunk. Az ammónium és nitrát nitrogén évszakos megoszlása közel azonos, hasonlóan az összes nitrogén értékekhez. A nitrit-N tartalom alacsony, a nitrogén mindössze 1–2%-át (0,2 kg N/ha/év) teszi ki.

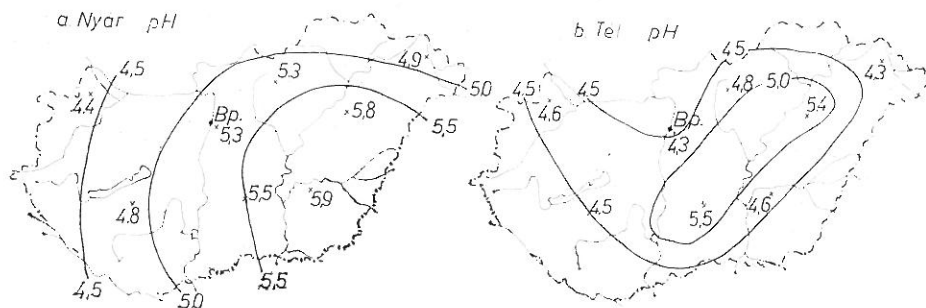
A csapadék N-tartalmának jelentősége a növények nitrogénfelvétele szempontjából elsősorban a természetes vegetáció (pl. erdők) számára fontos [51]. Annak ellenére, hogy a közel 15 kg N/ha mint nitrogén műtrágya felhasználási szint néhány évvel ezelőtt hazánkban országos átlagnak számított,

a jelenlegi közel 80 kg N/ha (1970: 77,5 kg N/ha szántó területre) felhasználás mellett már nem jelentős. A talajok átlagos N veszteségeit becsülve feltételezhetjük, hogy a csapadék N tartalma fedezi az évi N veszteségeket.

*Kén.* — A csapadék útján évente átlagosan 23,6 kg S/ha szulfát-kén — valamivel nagyobb része (12,9 kg) a nyári félévben — kerül a talaj felszínére. Mezőgazdasági területeken, ahol az ipari tevékenység hatása közvetlenül nem érvényesül, európai és USA-beli adatok szerint [13, 16, 25, 30, 52, 65] a csapadék átlagos S tartalma 10–30 kg/ha/év körül ingadozik. Ipari és városi körzetek közelében a 100 kg S/ha/év szintet is meghaladhatja a csapadék kén-tartalma [52, 53, 65]. A hálózatunkban szerepelt 8 állomás közül 6 esetében nyári szulfát-kén maximumokat mértünk, így az ipari-városi körzetek közvetett hatása, ami e körzetektől aránylag távolos területeken is jelentkezhet, csak a kén mennyiségének átlagos szintjét növeli. A nyári S-maximumok egyéb természetes nyomanyag forrásokra vezethetők vissza (talaj, növényzet [49]). A csapadék S tartalma a tüzeléstechnika korszerűsítésével várhatóan csökkenni fog, mint arra SEAY [54] felhívta a figyelmet. Az USA egyes körzeteiben a gáz-, olaj- és elektromos-fűtés terjedése már jelentősen csökkentette a csapadék kén-tartalmát.

A növények kénigényéről a WHITEHEAD [64] adatai alapján összeállított 5. táblázat tájékoztat. Az adatokból megállapíthatjuk, hogy még abban az esetben sem elhanyagolható a csapadék kén-tartalma a növények kénfelvétele szempontjából, mikor a hagyományos szuperfoszfát (18%  $P_2O_5$  mellett átlagosan kb. 10–12% S tartalom) az uralkodó foszfor műtrágya. OLSEN [47] megállapításai szerint a növények abban az esetben is a csapadékból vették fel kén szükségletüknek kb. 30%-át, ha a talajban elegendő felvehető kén volt. A magyar talajok kén-tartalmáról nem áll rendelkezésünkre adat, de ha elfogadjuk WHITEHEAD összeállításából [64] ismeretes talaj összes N/összes S 10/1–1,5 arányt, akkor az közelítőleg 5–40 mg S/100 g talajra tehető. A humuszban gazdagabb talajokon 30–40 mg, míg a humusz-szegény homoktalajokban 5–10 mg S várható 100 g talajonként, aminek csak kis része lehet a növények által felvehető formában (ide nem értve természetesen néhány szulfátokban gazdag szikes-sós talajt).

Fentiek ismeretében belátható a csapadék kén-tartalmának fontossága a növények kénfelvétele szempontjából és valószínűleg a szuperfoszfáttal talajba kerülő kénmennyiség mellett a csapadék is mint kén-forrás közrejátszik abban, hogy a növények jelentős kénigénye mellett sem jelentkeztek



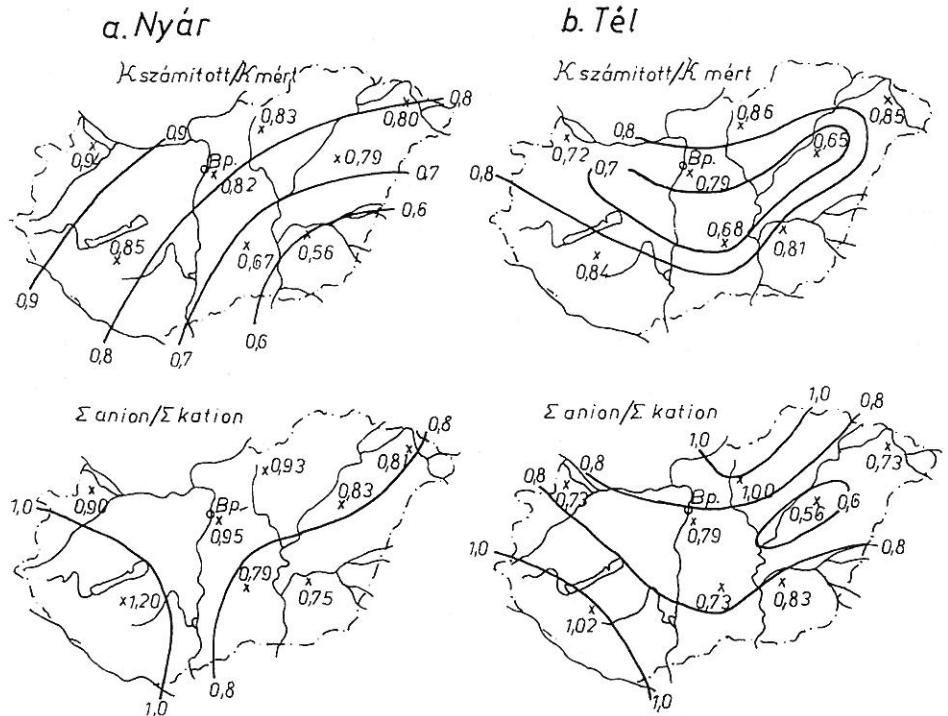
5. ábra

A csapadékvíz pH-jának területi eloszlása a nyári és téli félévben

hazánkban eddig kén hiánytünetek. Ehhez azonban hozzá kell tennünk, hogy a magyar műtrágya gyártás tervezett fejlesztése során az ammónium- és nitrofoszfát típusú összetett műtrágyák előállítására kerül előtérbe, a hagyományos szuperfoszfát gyártás viszonylagosan háttérbe szorul, a világszerte megnyilvánuló tendenciának megfelelően. Így a műtrágyákkal „melléktermékként” talajba kerülő kén mennyisége csökkenni fog. Hasonló csökkenést ígérnek a csapadék kén tartalmát illetően a már említett amerikai szerzők prognózisai. Jelenleg azonban a mezőgazdaság S-tápanyag igénye az említett forrásokból biztosítottak látszik.

**Foszfát.** A csapadék foszfáttartalma jelentéktelen, mindössze 0,1–0,2 kg P/ha/év-re tehető, megegyezően az irodalmi adatokkal [2, 11, 13, 14, 28, 35]. Így a csapadékvíz P-tápanyag forrásként gyakorlatilag nem vehető számításba.

**Klorid.** A csapadék átlagosan 9,0 kg Cl/ha kloridot juttat évente a talaj felszínére. Ez a relatív nagy érték a németországi adatokhoz [53] áll legközelebb. A tengerparthoz közeli állomásokon természetesen ennél jóval nagyobb kloridtartalmat is mértek, a csapadék Cl-tartalma helyenként a 100–200 kg Cl/ha/év szintet is eléri [36]. A kloridoknak nincs különösebb jelentősége a övények tápanyag felvételében. Nagyobb mennyiségben károsan hat a övények fejlődésére, de ez legfeljebb csak néhány tengerparti területen képzelhető el.



6. ábra

A számított és mért elektromos vezetőképesség, valamint az anion és kation összegek (grammekvivalens) arányának területi eloszlása a nyári és téli félévben



## 5. táblázat

Néhány fontosabb növény átlagtermése és kén felvétele (Whitehead [64] nyomán)

(1) Növény	(2) Átlag termés q/ha	(3) Kén felvétel kg S/ha
a) Gabona-félék	31	13
b) Burgonya	230	11
c) Cukorrépa	350	31
d) Káposzta	350	43
e) Hagyma	350	22
f) Réti széna	90	13
g) Pillangós széna	90	22
h) Lucerna széna	100	27

**Kalcium.** A csapadék útján évente 28,0 kg Ca/ha — nagyobbik része a nyári félévben (15,4 kg Ca/ha) — kerül a talaj felszínére. Nagyságrendben az ukrainai adatokhoz [17] áll legközelebb, kb. 2–2,5-szer nagyobb a lengyel értékeknél [13, 14] és mintegy a fele a német Ca-adatoknak [48]. Forrásai közül jelentős a talaj felszínéről származó por — mint már ismertettük — erre mutatnak a nyári maximumok is. Ez a Ca mennyiség a növények Ca-felvétele szempontjából ott lehet jelentős, ahol a talaj kalciumban igen szegény és más, mesterséges forrásból nem, vagy csak korlátozottan gondoskodnak a növények kalciumigényének kielégítéséről. Jelentősége elsősorban a savanyú kémhatású talajokon díszlő természetes vegetáció (erdő) szempontjából lehet.

**Nátrium.** Közel 10 kg Na/ha kerül évente a talaj felszínére átlagosan, tehát alig valamivel több mint klorid (9,0 Cl és 9,4 kg Na/ha). A tengerparti állomásokon 100 kg/ha-on felüli nátrium mennyiséget is mértek [36], a mezőgazdasági területeken 3–10 kg/ha nagyságrendű a csapadék Na tartalma. 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, mint arra már kitértünk, visszavezethető az állomás környékén levő szikes talajok felszínéről származó por kémiai összetételére. Nincs különösebb mezőgazdasági jelentősége, néhány növényt (pl. cukorrépa) kivéve.

**Kálium.** A csapadék káliumtartalma általában alacsony, ritkán haladja meg a 10 kg K/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. Tekintve a talajok átlagos káliumtartalmát és a felhasznált kálium műtrágyák mennyiségét (1970-ben Magyarországon 45,4 kg K<sub>2</sub>O/ha szántó területre), a csapadék mint K-tápanyag forrás nem játszhat fontos szerepet. Tegyük hozzá azonban, hogy a csapadékban levő tápanyagokat, így a káliumot is, a növények könnyen és igen gyorsan felvehetik a levélen keresztül. A felvétel hatásfoka igen jó, megegyezik a permetező trágyázásával. Ilyen megfontolások alapján még kis mennyiségű tápanyagok is hasznosulhatnak és hozzájárulhatnak a növények fejlődéséhez. Talajtani szempontból a csapadékvíz káliumtartalma hozzájárulhat a talajok természetes káliumvesztéseinek csökkentéséhez.

Dolgozatunkban részletesen ismertettük a magyarországi csapadékvizek kémiai összetételét, a csapadékvíz pH-ját, elektromos vezetőképességét, az ionkoncentráció adatokat és rámutattunk az adatok jelentőségére. Végeterül szeretnénk felhívni a figyelmet arra a fontos szerepre, amit a csapadékvíz-kémiai vizsgálatok „A bioszféra védelme” c. komplex kutatási feladat megoldása során betölthetnek. Az ember és környezetének védelme, az ezzel kapcsolatos tudományos kutatás ki kell hogy terjedjen a légkör kémiai és egyéb szennyezettségének vizsgálatára is. Ehhez a légköri csapadékvíz kémiai összetételének további, kiszélesített és rendszeres vizsgálata jelentős, nélkülözhetetlen információs anyagot szolgáltat.

### Összefoglalás

A magyarországi csapadékvizek kémiai összetételét az ország egész területére kiterjedő 8 állomásból álló hálózat 3 éves adatai alapján (1968—1970) ismertettük. Meghatároztuk a csapadékvíz pH-ját, elektromos vezetőképességét ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), nitrát, nitrit, szulfát, klorid, ammónium, kalcium, nátrium és kálium ionkoncentrációit ( $\text{mg}/\text{l}$ ). Az adatokat izovonalas ábrákon nyári (április—szeptember) és téli (október—március) féléves megoszlásban mutattuk be. Az évszakos megoszláson kívül a koncentráció értékek területi eloszlását is ismertettük és megállapítottuk, hogy egyrészt a vizsgált adatok legnagyobb részénél a téli félévben jelentkezett az ionkoncentráció értékek maximuma, másrészt az anionok és kationok koncentrációja nyugat—keleti és észak—déli irányban növekszik. Az eloszlás értelmezését a  $\%_{\text{szám}}/\%_{\text{mért}}$ , valamint a  $\Sigma_{\text{anion}}/\Sigma_{\text{kation}}$  arányok területi eloszlásaival bizonyítottuk. Az anion-összegek deficitjét okozó, általunk nem mért anion minden valószínűség szerint  $\text{HCO}_3^-$  és  $\text{CO}_3^{2-}$ .

Ismertettük a csapadék útján a talaj felszínére, a természetes és kultúrvegetációra kerülő kémiai anyagok mennyiségét. Míg az ionkoncentráció értékeket a csapadék mennyisége csökkentette, az egy hektárra jutó kémiai anyagok mennyiségét általában növelte. A csapadékvíz kémiai összetételében, különösen a nyári maximumok kialakításában a talajfelszín mint nyomanyag forrás jelentős szerepet játszik. A mintavételi helyek és évek átlagában a csapadék útján évente  $\text{kg}/\text{ha}$ -ban kifejezve 14,6 N (9,1  $\text{NH}_4\text{-N}$ , 5,3  $\text{NO}_3\text{-N}$  és 0,2  $\text{NO}_2\text{-N}$ ), 23,6 S, 9,0 Cl, 28,0 Ca, 9,4 Na és 6,7 K-al számolhatunk. A csapadék foszfát P-tartalma nem haladja meg a 0,1—0,2  $\text{kg P}/\text{ha}/\text{év}$  mennyiséget. A csapadék mint tápanyag forrás elsősorban a talajok természetes évi tápanyag veszteségeinek csökkentésében jelentős, a csapadék kéntartalma a növények kénfelvételében is fontos szerepet játszhat.

### Irodalom

- [1] ALADASVILI, N. Z.: O posztuplenii azota sz atmoszfernümi oszadkami politvünnümi vodami v progorodnoj zone Tbiliszi. Agrohimiya. (2) 129—130. 1968.
- [2] ALLEN, S. E. et al.: The plant nutrient content of rainwater. J. Ecol. 56. 497—504. 1968.
- [3] BABKO, A. K. & PILIPENKO, A. T.: Kolorimetriás analízis. Akad. Kiadó. Budapest. 1953.
- [4] BACSÓ, N., KAKAS, J. & TAKÁCS, L.: Magyarország éghajlata. Az O. M. I. kiadványa. Budapest. 1953.

- [5] BALASUBRAMANIAM, C. & JAYARAMAN, M. V.: Review of literature on rainfall as fertilizer. *Madras Agric. J.* **39**, 519–520. 1952.
- [6] BARRETT, E. & BRODIN, G.: The acidity of Scandinavian precipitation. *Tellus*, **7**, 251–257. 1955.
- [7] DE BARY, E. & JUNGE, C. E.: Distribution of sulfur and chlorine over Europe. *Tellus*, **15**, 370–381. 1963.
- [8] BELLIS, E.: Nitrogen in rainfall. *Kenya Dep. Agric. Rep.* 1951. 2. 30. 1953.
- [9] BETTRAMSON, B. R., FRIED, M. & TISDALE, S. L.: Sulphur studies of Indiana soils and crops. *Soil Sci.* **70**, 27–41. 1950.
- [10] BOBRICKAJA, M. A.: Posztuplenie azota sz atmoszfernümi oszadkami i vünosz ego iz lizimetriceszskimi vodami. *Pocsvovedenie*, (9) 21–30. 1963.
- [11] CARLISLE, A., BROWN, A. H. F. & WHITE, E. J.: The organic matter and nutrient elements in the precipitation beneath a sessile oak (*Quercus petraea*) canopy. *J. Ecol.* **54**, 87–98. 1966.
- [12] CHEVALIER, G.: Pluies à Alger au cours de la campagne 1949–50 et apports salins aux sols. *Ann. Inst. Agric. Algérie*, **6**, (3) 3–9. 1951.
- [13] CHOJNOCKI, A.: Wyniki badan skladu chemicznego wód opadowych w Polsce. I–IV. (1964–1967 r.) *Pam. Pulawski*, **24**, 1967., **29**, 165–170. 1967. **29**, 170–184. 1967. **34**, 163–172. 1968.
- [14] CHOJNOCKI, A. & KAC KACAS, M.: Badania nad zawartoscia niektorych skladnikow pokarmowych roslin w opadach atmosferycznych w rajonie Pulaw. I. Azot. II. Fosfor, potas, wapn, magnez, sódl. *Roczn. N. Roln.* **92**, A. **1**, 77–89. 1966. **93**, A. **1**, 79–90. 1967.
- [15] COOKE, G. W.: The control of soil fertility. Crosby, Lockwood & Son. London. 1967.
- [16] CRESSMAN, H. K. & DAVIS, J. F.: Sources of sulphur for crop plants in Michigan and the effect of sulphur fertilization on plant growth and composition. *Agron. J.* **54**, 341–344. 1962.
- [17] DENISZOV, P. V. & BUGAEV, A. L.: Himiceszkij szosztav atmoszfernüh oszadkov szevero-vosztocnoj czaszti Ukrainü. *Dokl. AN SSSR* **108**, 879–881. 1956.
- [18] DROVER, D. P.: Accessions of sulphur in the rainwater at Perth and Nedlands. Western Australia. *J. roy. Soc. W. Aust.* **43**, 81–82. 1960.
- [19] DROZDOVA, V. M. & PETRENCUK, O. P., SELEZNEVA, E. S. et al.: Himiceszkij szosztav atmoszfernüh oszadkov na Evropejszkoj territorii SSSR. *Gidrometeoizdat. Leningrad*. 1964.
- [20] EGNÉR, H. & ERIKSSON, E.: Current data on the chemical composition of air and precipitation. *Tellus*, **7**, 137–139. 1955.
- [21] EMANUELSSON, A., ERIKSON, E. & EGNÉR, H.: Composition of atmospheric precipitation in Sweden. *Tellus*, **6**, 261–267. 1954.
- [22] ERDEY-GRUZ, T. & SCHAY, G.: *Elméleti fizikai kémia III*. Tankönyvkiadó. Budapest. 1962.
- [23] ERIKSSON, E.: Composition of atmospheric precipitation. I. Nitrogen compounds. II. Sulfur, chloride, iodine compounds. *Tellus*, **4**, 215–232.; 280–303. 1952.
- [24] ERIKSSON, E.: The yearly circulation of chloride and sulphur in nature: meteorological, geochemical and pedological implications. II. *Tellus*, **12**, 63–109. 1960.
- [25] GALLAGHER, P. A.: The effect of sulphur in fertilizer, rainwater and soils on crop nutrition. *Sci. Proc. Royal Dublin Soc. Ser. B.* **2**, 191–204. 1969.
- [26] GAMBELL, A. W. & FISHER, D. W.: Chemical composition of rainfall eastern North-Carolina and south-eastern Virginia. U. S. Geol. Survey Water-Supply Paper. 1535-K. 41 pp. US Gov. Print. Off. Washington. 1966.
- [27] GARGANO-IMPERATO, E.: Ammonia nitrite, nitrate, phosphate and sulphate contents of rainwater. *Ann. Fac. Agr. Portici*, **29**, 369–378. 1964.
- [28] GERICKE, S. & KURMEIS, B.: Pflanzennährstoffe in den atmosphärischen Niederschlägen. *Phosphorsäure*, **17**, 279–300. 1957.
- [29] HANLEY, P. K. & TIERNEY, S. L.: Sulphur studies. I. The contribution of sulphur in precipitation to crop production in Ireland. *Irish J. agric. Res.* **8**, 19–27. 1969.
- [30] HARPER, H. J.: Sulfur content of Oklahoma soils, rainfall and atmosphere. *Okla. agric. Exp. Sta. Bull.* B-536, 18 pp. 1959.
- [31] HEALY, T. V., MCKAY, H. A. C., PILBEAM, A. et al.: Ammonia and ammonium sulphate in the troposphere over the United Kingdom. *J. Geophys. Res.* **75**, 2317–2321. 1970.
- [32] JONES, E.: Contribution of rainwater to the nutrient economy of soil in Northern Nigeria. *Nature*, (London) **188**, 432. 1960.
- [33] JORDAN, H. V., BARDSLEY, C. E. JR., ENSMINGER, L. E. et al.: Sulfur content of

- rainwater and atmosphere in southern States as related to crop needs. USDA. Tech. Bull. **1196**. 1959.
- [34] JUNGE, C. E.: Air chemistry and radioactivity. Acad. Press. New. York. 1963.
- [35] KRZYSCH, G.: Der N-, P- und K-Gehalt der Niederschläge in Dahlem. Z. Pfl. Ernähr. Düng. **82**. 138—143. 1958.
- [36] LAG, J.: 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. 1968.
- [37] LELAND, E. W.: Nitrogen and sulfur in the precipitation at Ithaca. N. Y. Agron. J. **44**. 172—175. 1952.
- [38] MACHU, M., PODZIMEK, J. & SRÁMEK, L.: Results of chemical analyses of precipitation collected on territory of Czechoslovak Republic in I, G. Y. Geophys. Sbornik. **124**. 441—519. 1959.
- [39] MÉSZÁROS, E.: A csapadékvíz kémiai összetételének mérése. Beszámoló az O. M. I. 1964. évi tud. kut.-ról, 63—71. Budapest. 1965.
- [40] MÉSZÁROS, E.: Összefüggés a csapadékvíz mennyisége és kémiai összetétele között. Időjárás. **69**. 257—262. 1965.
- [41] MÉSZÁROS, E.: On the origin and composition of atmospheric calcium compounds. Tellus. **18**. 262—265. 1966.
- [42] MÉSZÁROS, E.: A csapadékvíz kémiai összetétele Magyarországon. Beszámoló az O. M. I. 1967. évi tud. kut.-ról, 216—221. Budapest. 1968.
- [43] MÉSZÁROS, E. & SIMON, A.: A mesterséges eredetű radioaktív részecskék száraz és nedves kihullása a troposzférából. Időjárás. **71**. 86—91. 1967.
- [44] MEYER, J. & PAMPFER, E.: Nitrogen content of rainwater collected in the humid central Congo basin. Nature (London.) **184**. 717—718. 1959.
- [45] MROSE, H.: Measurements of pH, and chemical analyses of rain-, snow- and fog-water. Tellus. **18**. 266—270. 1966.
- [46] NUCCIOTTI, F. & ROSSI, N.: Composizione chimica della precipitazioni atmosferiche nella Regione Emiliana. II. Azoto, nitroso, nitrico, ammoniacale e fosforo. Agrochimica. **12**. 540—548. 1968.
- [47] OLSEN, R. A.: Absorption of sulphur dioxide from the atmosphere by cotton plants. Soil Sci. **84**. 107—111. 1957.
- [48] OTTERMANN, A. & KRZYSCH, G.: Der Gehalt der Niederschläge in Dahlem an Stickstoff, Phosphor, Kalium, Calcium und Sulfatschwefel. (II. Beitrag). Z. Pfl. Ernähr. Düng. **111**. 122—131. 1965.
- [49] ØDELIN, M.: Kulturvekstenes svovelforsyning en oversikt. Forsok. landbr. **66**. 1—21. 1970.
- [50] PETRENCUK, O. P. & SELEZNEVA, E. S.: Chemical composition of precipitation in regions of the Soviet Union. J. Geophys. Res. **75**. 3629—3634. 1970.
- [51] RIEHM, H.: Die Bestimmung der Pflanzennährstoffe im Regenwasser und in der Luft unter besonderer Berücksichtigung der Stickstoffverbindungen. Agrochimica, **5**. 174—188. 1961.
- [52] ROSSI, N. & NUCCIOTTI, F.: Composizione chimica della precipitazioni atmosferiche nella Regione Emiliana. I. Zolfo. Agrochimica, **12**. 240—250. 1968.
- [53] SCHARER, K. & FAST, H.: Untersuchungen über die dem Boden durch die Niederschläge zugeführten Pflanzennährstoffe. Z. Pfl. Ernähr. Düng. **55**. 97—106. 1951.
- [54] SEAY, W. A.: Sulfur contained in precipitation in Kentucky. Agron. J. **49**. 453—454. 1957.
- [55] SHORROCKS, V. M.: Mineral nutrition growth and nutrient cycle of Hevea brasiliensis I. Growth and nutrient content. II. Nutrient cycle and fertilizer recommendations. J. Rubb. Res. Inst. Malaya. **19**. 32—47, 48—61. 1965
- [56] STEVENSON, C. M.: An analysis of the chemical composition of rainwater and air over the British Isles and Eire for years 1959—1964. Quart. J. Roy. Meteor. Soc. **94**. 56—70. 1968.
- [57] SYERS, J. K.: The relationship between the concentration of nitrate- and ammonia-nitrogen in precipitation. Tellus. **18**. 146—147. 1966.
- [58] TAMÉS, C., AGUIRRE, J. & PERAL, M. T.: Importancia de los compuestos nitrogenados aportados por las precipitaciones atmosféricas en el balance del nitrógeno de los suelos cultivados en los climas secos. Bol. Inst. Nac. Investig. Agron. **195**—231. 1952.
- [59] THORNTON, J.: Nutrient content of rainwater in the Gambia. Nature (London) **205**. 1025. 1965.
- [60] TURTON, A. G.: Atmospheric accessions. Aust. Conf. Soil Sci. Adelaide, **2**. 6—14. 1953.

- [61] VIJAYALAKSEMI, K. & PANDALAI, K. M.: Nutrient enrichment of the coconut soils of the humid Kerala coast through monsoon precipitations. *Nature (London)* **194**, 112—113. 1962.
- [62] VISSER, S. A.: Origin of nitrates in tropical rainwater. *Nature (London)* **201**, 35—36. 1964.
- [63] WETSELAAR, R. & HUTTON, J. T.: The ionic composition of rainwater at Katherine N. T., and its part in cycling of plant nutrients. *Aust. J. agric. Res.* **14**, 319—329. 1963.
- [64] WHITEHEAD, D. C.: Soil and plant nutrition aspects of the sulphur cycle. *Soils Fert.* **27**, 1—8. 1964.
- [65] YAALON, D. H.: The concentration of ammonia and nitrate in rain water over Israel in relation to environmental factors. *Tellus*, **16**, 200—204. 1964.

*Érkezett: 1971. július 19.*

### Chemical Composition of Rainwater in Hungary and its Agricultural Importance

M. KOZÁK and E. MÉSZÁROS

Research Institute of Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest and Central Institute for Atmospheric Physics of the Meteorological Service, Budapest (Hungary)

#### Summary

Chemical composition of rainwater in Hungary is demonstrated in the present paper for a three-year period (1968—1970), on the basis of data obtained by 8 observation points of Hungary. Electrical conductivity ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), pH, nitrate, nitrite, sulphate, chloride, ammonium, calcium, sodium and potassium ion-concentrations (mg/liter) of rainwater were determined. Data were indicated in iso-linear maps demonstrating the distribution in summer (April—September) and in winter (October—March). Regional distribution of the concentration values was also indicated besides the seasonal distribution. It can be stated that the maximum ion concentration in most of the parameters examined was found to be in winter periods and that the concentration of anions and cations increased in the direction of West-East and North-South. Explanation of distribution was proved by the regional distribution of  $\alpha$  calculated/ $\alpha$  measured, and  $\Sigma$  anion/ $\Sigma$  cation ratios. The  $\Sigma$  anions were lower than  $\Sigma$  cations, probably because the  $\text{HCO}_3^-$  and  $\text{CO}_3^{2-}$  anions were not analytically determined. The amount of chemicals brought down by rain to the surface of soil, native and cultural vegetation was calculated. The ion concentrations were generally reduced by the amount of rainwater, but the amount of chemicals falling on a unit area was increased. Besides the amount of rainwater, the antropogenic factors had an indirect influence on the chemical composition of rainwater even in regions relatively far from industrial and urban centres. Among the natural trace constituent sources of the rainwater the soil surface was the most significant one, especially during summer period (Ca, Na, S, etc.). According to the analytical data 14,6 kg/ha N, (9,1 kg/ha  $\text{NH}_4\text{-N}$ , 5,3 kg/ha  $\text{NO}_3\text{-N}$  and 0,2 kg/ha  $\text{NO}_2\text{-N}$ ) 23,6 kg/ha S, 9,0 kg/ha Cl, 28,0 kg/ha Ca, 9,4 kg/ha Na and 6,7 kg/ha K was brought down annually by rain. Ammonium-N : nitrate + nitrite—N ratios are 1,7 : 1 as averages but there are considerable deviations in it in the different sampling places. Phosphate-P content of rainwater does not exceed 0,1—0,2 kg P/ha/year. Rainwater, as nutrient source can have a considerable role in reducing the natural annual nutrient losses of soils on one hand and on the other hand it can increase the nutrient supply of native vegetation (i.e. forests). One of the most important natural S sources of plants is the sulphate-S content of rainwater.

In the present a detailed literature review is given. The opinions on the sources of nutrient elements in rainwater were summarised and completed with the conclusions drawn from the present observations.

*Table 1.* Chemical composition of rainwater from data in the literature, kg/ha/year. (1) Continent, country, region. (2) References.

*Table 2.* Amount of rainwater and its distribution in summer and winter (1968—1970). (1) Sampling place. (2) Summer. (3) Winter. (4) Annual (5) Average of three years. a) Average of sampling places.

*Table 3.* Average chemical composition of rainwater, kg/ha/year, 1968–1970. (1) Sampling place. (2) Year. *a)* Average. *b)* Average of sampling places.

*Table 4.* Distribution of chemical composition of rainwater in summer and in winter. Average data concerning 3 years, kg/ha/year. (1) Sampling place. (2) Season. *a)* Summer. *b)* Winter. *c)* Annual *d)* Average of sampling places.

*Table 5.* Average yield and sulphur uptake of some crops, (according to WHITE-HEAD [64]). (1) Crop. (2) Average yield, q/ha. (3) Sulphur uptake kg S/ha. *a)* Cereals. *b)* Potatoes. *c)* Sugar beet. *d)* Cabbage. *e)* Onions. *f)* Grass hay. *g)* Clover hay. *h)* Alfalfa hay.

*Fig. 1.* Sampling places for the analysis of chemical composition of rainwater.

*Fig. 2.* Regional distribution of electrical conductivity of rainwater in summer and in winter periods ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). *a)* Summer. *b)* Winter.

*Fig. 3.* Regional distribution of anion concentration of rainwater in summer and in winter periods (mg/l). *a)* Summer. *b)* Winter.

*Fig. 4.* Regional distribution of cation concentration of rainwater in summer and in winter periods (mg/l). *a)* Summer. *b)* Winter.

*Fig. 5.* Regional distribution of pH of rainwater in summer and in winter periods. *a)* Summer. *b)* Winter.

*Fig. 6.* Regional distribution of calculated and measured electrical conductivity values and that of anion: cation ratio (gval) in summer and in winter periods. *a)* Summer. *b)* Winter.

## Über die chemische Zusammensetzung der Niederschläge und ihre landwirtschaftliche Bedeutung in Ungarn

M. KOZÁK und E. MÉSZÁROS

Forschungsinstitut für Bodenkunde und Agrikulturchemie der Ungarischen Akademie der Wissenschaften und Zentralinstitut für Physik der Atmosphäre des Meteorologischen Dienstes, Budapest

### Zusammenfassung

Die chemische Zusammensetzung der Niederschläge in Ungarn wurde aufgrund der Daten des aus 8, auf das ganze Gebiet des Landes verteilten Beobachtungsstationen für eine 3jährige Periode (1968–1970) zusammengestellt. Es wurde der pH-Wert, die elektrische Leitfähigkeit ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), sowie die Konzentration der Nitrat-, Nitrit-, Sulphat-, Chlorid-, Ammonium-, Calcium-, Natrium- und Kaliumionen (mg/l) bestimmt. Die Angaben wurden auf Abbildungen mit Isolinien in halbjähriger Aufteilung (Sommer: April–September; Winter: Oktober–März) veranschaulicht. Ausser der Aufteilung nach Jahreszeiten wurde auch die territoriale Verteilung der Konzentrationswerte untersucht und es konnte festgestellt werden, dass einerseits das Maximum der Ionenkonzentrationen hauptsächlich im Winter gemessen werden konnte, und andererseits die Ionenkonzentrationen von Westen nach Osten und von Norden nach Süden zunahmten. Die Deutung der Verteilung wurde mit der territorialen Verteilung der Verhältniszahlen  $\frac{\%_{\text{berechnet}}}{\%_{\text{gemessen}}}$  sowie  $\frac{\Sigma_{\text{Anion}}}{\Sigma_{\text{Kation}}}$  bewiesen. Das Defizit der Anionensummen rührt von den nicht bestimmten Anionen, höchst wahrscheinlich von  $\text{HCO}_3^-$  und  $\text{CO}_3^{2-}$  her.

Die Menge der mit den Niederschlägen auf die Bodenoberfläche, d. h. auf die natürliche und Kulturvegetation gelangenden chemischen Stoffe wurde auch angegeben. Während die Ionenkonzentration mit der Niederschlagsmenge abnahm, stieg die auf die Flächeneinheit zufallende Menge der chemischen Stoffe an. In der chemischen Zusammensetzung kamen die antropogenen Faktoren indirekt — auch in den von Städten und Industriezentren entfernten Gebieten — zur Geltung. Von den natürlichen Spurenstoffquellen wurde in unserem Falle vor allem der Einfluss der Bodenoberfläche erwiesen. Dieser Einfluss zeigte sich besonders in der Gestaltung der Sommermaxima (Ca, Na, S, uns.). Mit dem Niederschlag gelangen im Durchschnitt 14,6 kg/ha N (9,1  $\text{NH}_4\text{-N}$ , 5,3  $\text{NO}_3\text{-N}$  und 0,2  $\text{NO}_2\text{-N}$ ), 23,6 S, 9,0 Cl, 28,0 Ca, 9,4 Na und 6,7 kg/ha K pro Jahr auf die Bodenoberfläche. Das Verhältnis  $\text{NH}_4\text{-N} : \text{NO}_3(\text{NO}_2)\text{-N}$  ist im Durchschnitt 1,7 : 1,0, es zeigt sich aber in diesem Verhältnis eine recht bedeutende Schwankung je Standort. Der Phosphat-P-Gehalt des Niederschlages überschreitet die Menge von 0,1–0,2 kg P/ha/Jahr nicht. Der Nährstoffgehalt der Niederschläge kann in der Verringerung der jährlichen, natürlichen Nährstoffverluste der Böden und in der Nährstoffversorgung der natürlichen Vegetation (z. B. Wälder) als Nährstoffquelle in Betracht

kommen. Der Sulphat-S-Gehalt des Niederschlages gilt als eine der natürlichen Schwefelquellen der Pflanzen.

In dieser Arbeit wurde ein ausführlicher Überblick über die Feststellungen der einschlägigen Fachliteratur gegeben und die Anschauungen über den Ursprung der Spurenstoffe wurden — mit den eigenen Beobachtungen ergänzt — zusammengefasst.

*Tab. 1.* Chemische Zusammensetzung des atmosphärischen Niederschlagswassers aufgrund von Literaturangaben (kg/ha/Jahr). (1) Erdteil, Land, Ort. (2) Literaturangabe.

*Tab. 2.* Menge des Niederschlages und seine Verteilung auf Winter-, bzw. Sommerhalbjahr (1968—1970). (1) Ort der Probenahme. (2) Sommer. (3) Winter. (4) Jährliche Menge (5) Mittelwert von 3 Jahren. *a)* Mittelwert der Probenahmeorte.

*Tab. 3.* Durchschnittliche chemische Zusammensetzung des atmosphärischen Niederschlagswassers; kg/ha/Jahr; 1968—1970. (1) Ort der Probenahme. (2) Jahr. *a)* Mittelwert. *b)* Mittelwert der Probenahmeorte.

*Tab. 4.* Verteilung der chemischen Zusammensetzung des Niederschlagswassers im Sommer- und Winterhalbjahr, Mittelwerte von 3 Jahren, kg/ha/Jahr. (1) Ort der Probenahme. (2) Jahreszeit. *a)* Sommer. *b)* Winter. *c)* Jährliche Menge *d)* Mittelwert der Probenahmeorte.

*Tab. 5.* Durchschnittlicher Ertrag und Schwefelaufnahme einiger wichtigeren Pflanzen (nach WHITEHEAD [64]). (1) Pflanze. (2) Durchschnittlicher Ertrag. (3) Schwefelaufnahme, kg S/ha. *a)* Getreidearten. *b)* Kartoffel. *c)* Zuckerrübe. *d)* Kohl. *e)* Zwiebel. *f)* Wiesenheu. *g)* Heu von Schmetterlingsblütlern. *h)* Luzernenheu.

*Abb. 1.* Beobachtungsstellen zur Probenahme des Niederschlagswassers.

*Abb. 2.* Territoriale Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit des Niederschlagswassers im Sommer- und Winterhalbjahr. ( $\mu\text{S/cm}$ ). *a)* Sommer. *b)* Winter.

*Abb. 3.* Territoriale Verteilung der Anionenkonzentration im Sommer- und Winterhalbjahr (mg/l). *a)* Sommer. *b)* Winter.

*Abb. 4.* Territoriale Verteilung der Kationenkonzentration im Sommer- und Winterhalbjahr (mg/l). *a)* Sommer. *b)* Winter.

*Abb. 5.* Territoriale Verteilung des pH-Wertes des Niederschlagswassers im Sommer- und Winterhalbjahr. *a)* Sommer. *b)* Winter.

*Abb. 6.* Territoriale Verteilung der berechneten und gemessenen elektrischen Leitfähigkeit, sowie des Verhältnisses der Gesamtmengen von Anionen und Kationen (in gval.) im Sommer- und Winterhalbjahr. *a)* Sommer. *b)* Winter.

## Химический состав и сельскохозяйственное значение атмосферных осадков в Венгрии

М. КОЗАК и Э. МЕСАРОШ

Научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии А. Н. Венгрии, Будапешт  
и Центральный институт по физике атмосферы Метеорологической Службы, Будапешт  
(Венгрия)

### Резюме

В настоящей работе приводится химический состав атмосферных осадков, выпавших в Венгрии за трехлетний период (1968—1970), на основании данных восьми станций-обслуживающих всю территорию страны. Определили реакцию среды (pH) атмосферных осадков, электропроводность, содержание в них ионов нитратов, нитритов, сульфатов, хлоридов, аммония, кальция, натрия и калия в мг/л. Данные в подразделении на летний период (апрель—сентябрь) и зимний период (октябрь—март) приводятся на изолинейных графиках. Кроме распределения осадков по временам года показали территориальное распределения осадков различной концентрации и установили, что с одной стороны, у большинства изученных параметров максимум концентрации ионов наблюдался в зимний период, с другой стороны, концентрация анионов и катионов увеличивается в направлении с запада на восток и с севера на юг. Объяснение распределения подтвердили территориальным распределением соотношения  $\Sigma$  вычсл. ( $\Sigma$  измер., а также  $\Sigma$  анион/ $\Sigma$  катион. Дефицит в суммa анионов вызван тем, что мы не определяли содержание таких анионов как  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{CO}_3^{2-}$ .

В статье приведено количество химических веществ, попадающих на поверхность почвы и растений с атмосферными осадками. В то время как количество выпадающих осадков снижает величину концентрации ионов, количество химических элементов, приходи-

щихся на единицу площади увеличивается. На химический состав атмосферных вод, кроме количества осадков, непосредственное влияние оказывают антропогенные факторы, даже на территориях относительно удаленных от городских и промышленных центров. В нашем случае, среди источников природных загрязнений, находящихся в незначительных концентрациях, мы установили, в первую очередь, влияние почвенной поверхности, которое проявляется прежде всего в формировании летних максимумов (Ca, Na, S и т. д.). В среднем со всех мест взятия образцов и в среднем за все годы наблюдений с атмосферными осадками за год вносится 14,6 кг/га азота ( $9,1 \text{ NH}_4\text{-N}$   $5,3 \text{ NO}_3\text{-N}$  и  $0,2 \text{ NO}_2\text{-N}$ ) 23,6 S, 9,0 Cl, 28,0 Ca, 9,4 Na, 6,7 K. Соотношение аммонийного и нитратного (нитритного) азота, рассчитанное на средние величины, было 1,7 : 1, но по отдельным местам взятия образцов могут наблюдаться значительные расхождения. Содержание P в атмосферных осадках не превышает 0,1—0,2 кг/га/год. Атмосферные осадки, как источник питательных элементов, могут играть значительную роль при снижении годовых потерь природных питательных элементов в почве, а также могут способствовать обеспечению питательными элементами естественной растительности (например леса). Содержание в атмосферных осадках сульфатов служит одним из основных естественных источников серы, необходимой для растений.

В статье дается подробный литературный обзор по данной теме, обобщаются концепции в отношении веществ малых концентраций (загрязнение) в дополнении собственными данными.

*Табл. 1.* Химический состав атмосферных осадков на основании литературных данных (кг/га/год). (1) Континент, страна, место. (2) Ссылка на литературный источник.

*Табл. 2.* Количество осадков и их распределение между летним и зимним сезонами (1968—1970). (1) Место взятия образца. (2) Лето. (3) Зима. (4) Год. (5) Среднее за три года. а) Среднее по всем местам взятия образцов.

*Табл. 3.* Химический состав атмосферных осадков в кг/га/год, 1968—1970. (1) Место взятия образцов. (2) Год. а) Среднее. б) Среднее по всем местам взятия образцов.

*Табл. 4.* Химический состав атмосферных осадков в летний и зимний периоды, средние данные за три года, кг/га/год. (1) Место взятия образцов. (2) Время года. а) Лето. б) Зима. с) Год. д) Среднее по всем местам взятия образцов.

*Табл. 5.* Средние урожаи некоторых главных сельскохозяйственных культур и усвоение серы (по Whitehead). (1) Растение. (2) Средние урожаи ц/га. (3) Усвоение серы, кг/га. а) Зерновые. б) Картофель. с) Сахарная свекла. д) Капуста. е) Лук. ф) Луговое сено. г) Бобовое сено. h) Сено люцерны.

*Рис. 1.* Места взятия образцов для определения химического состава атмосферных вод

*Рис. 2.* Территориальное распределение атмосферных вод с различной электропроводностью в летнее и зимнее полугодие. а) Лето. б) Зима.

*Рис. 3.* Территориальное распределение атмосферных вод с различной концентрацией анионов в летнее и зимнее полугодие, мг/л. а) Лето. б) Зима.

*Рис. 4.* Территориальное распределение атмосферных осадков с различной концентрацией катионов в летнее и зимнее полугодие, мг/л. а) Лето. б) Зима.

*Рис. 5.* Территориальное распределение атмосферных осадков с различной реакцией среды в летнее и зимнее полугодие. а) Лето. б) Зима.

*Рис. 6.* Территориальное распределение вычисленной и измеренной электропроводности, а также соотношение анионов и катионов (граммэквивалентное) в летнее и зимнее полугодие. а) Лето. б) Зима.