

A NO_3^- , SO_4^{2-} és a sóbemosódás vizsgálata műtrágyázási tartamkísérletben

NÉMETH TAMÁS, KOVÁCS GÉZA és KÁDÁR IMRE

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest

Az utóbbi időben hazánkban is nő a közvélemény aggodalma a mezőgazdaságban alkalmazott kemikáliák környezetre gyakorolt káros hatását illetően. A fejlett, sok műtrágyát használó országokban kutatási programok indultak a gazdálkodási, valamint talajhasznosítási módok és a talajvizek NO_3^- -tartalma közötti kapcsolatok tisztázására. A NO_3^- -terhelések forrásai az alábbiak lehetnek /ROHMANN, 1986/:

1. Helyi vagy pontszerű terhelésből származók:
 - szennyvizekből elszivárgó nitrát /ipari, kommunális, hígtrágya, stb./;
 - hulladék-lerakódóhelyekről elszivárgó nitrát.
2. Nagy felületen fellépő, diffúz vagy nem pontszerű terhelésből származók:
 - az altalaj geokémiai összetételéből eredő nitrát;
 - csapadékból és felszíni vizekből eredő nitrát;
 - talajhumusz ásványosodásából eredő nitrát;
 - szerves trágyákból és N-tartalmú műtrágyákból eredő nitrát.

A helyi források csak esetenkénti és területileg korlátozott jelentőséggel bírnak. Erre jó példák a falusi kutak, amelyekben gyakran 200–500 mg/l NO_3^- -tartalmat mérnek. Az NSZK-ban ezzel szemben az ivóvizekben 1985-től kezdődően az 50 mg/l NO_3^- , azaz 11 mg/l NO_3^- -N a megengedett /ROHMANN, 1986/.

A mezőgazdaságilag hasznosított területen, nem pontszerűen jelentkező N-terhelések közül a talaj szerves anyagaiból /humusz, gyökérmaraadványok/, a főként intenzív hasznosítás alatt álló talajokban a szerves- és műtrágyákból származó nitrogén mennyiségeit tekintik általában döntőeknek /AMBERGER, 1983; WEHRMANN és SCHARPF, 1983; PRATT, 1984/.

Mindaddig, amíg a talaj-N szerves formában van jelen, illetve mint NH_4^+ a kolloidok felületén van megkötve, kilúgzásról tulajdonképpen nem beszélhetünk. A vertikális úton fellépő N-veszteségek /a gyökérszónából a talajvízbe/ szinte kizárólag NO_3^- -formában történnek. Mint ismeretes, a kimosódás a klíma /a csapadék vagy öntözővíz mennyisége, eloszlása és gyakorisága/, a talaj /szerkezete és vízgazdálkodási tulajdonságai: átteresztő- és visszatartó képessége/, és az agrotechnika /növénytakaró milyensége/ függvénye. A trágyázás módja, adagja, ideje és formája egyaránt meghatározó lehet.

A talaj átmeneti víztelítettsége, és különösen a növényborítás, illetve az intenzív vízfelhasználás nélküli időszakokban a nitrát a mélyebb rétegekbe mosódik be. A tavasszal és nyár elején fellépő szárazabb periódusban, amikor a növényi növekedés és vízfogyasztás is jelentősebb, a NO_3^- -N egy része a felfelé áramló vízzel ismét emelkedhet. Általánosan elfogadott ezért, hogy

minél hosszabb a növény vegetációs periódusa, annál kisebb a kilúgzás. A legnagyobb N-veszteséggel a növényvel nem fedett ugaron számolhatunk.

Minél nagyobb egy talaj $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalma és minél nagyobb a vízáteresztő képessége, annál nagyobb $\text{NO}_3\text{-veszteség}$ jelentkezik. Mivel a nitrát a vízzel mozog, a kilúgzott NO_3 mennyisége végső soron az átszivárgott víz mennyiségétől és annak $\text{NO}_3\text{-koncentrációját}$ függ. AMBERGER /1979/ a németországi 36 éves liziméteres kísérleteiben 50-75 kg N/ha éves veszteséget talált, a különböző fizikai féleségű talajokon megközelítőleg azonos mennyiségben. A homokon ugyan gyorsabb volt a kilúgzás, de intenzív trágyázás nélkül alacsony volt a $\text{NO}_3\text{-N-készlet}$ is a kis humusztartalom miatt. A vályog és kötöttebb talajokon lassúbb volt a kilúgzás, de nagyobb volt a $\text{NO}_3\text{-N-tartalom}$ a mineralizációból eredően. Ha mind az átszivárgó víz mennyisége, mind annak N-tartalma nagy, igen jelentős lehet a N-veszteség is. Az átszivárgó víz mennyiségének ismerete nélkül azonban a $\text{NO}_3\text{-koncentráció}$ önmagában nem elegendő indikátora a tényleges kilúgzásnak. AMBERGER /1979/ előbb említett liziméteres kísérleteiben az évi átlagos csapadék mennyisége 800 mm körüli volt, az átszivárgó víz pedig 100-200 mm-t tett ki.

Általános az a vélemény, hogy a talajhasznosítás módja, valamint a gazdálkodás jellege döntően befolyásolhatja a talajvizek nitrátosodását. Az intenzív trágyázás öntözéssel - túlóntozás és túltrágyázás - párosulva jelenthet nagy veszélyt a talajvizekre /NIELSEN et al., 1979; PRATT, 1984/.

A jól szellőzött és jó vízáteresztő képességű talajokban a beszivárgó víz, amely elhagyja a gyökérzónát, áthalad egy telítetlen zónán mielőtt elérheti a talajvízszintet, a telített zónát. Az átszivárgás sebessége ebben a telítetlen talajrétegben arányos a beszivárgó víz mennyiségével és fordítottan arányos a talaj térfogatos víztartalmával. PRATT /1984/ szerint kaliforniai talajokon ez a becsült átlagos érték 0,5-1,8 m/év között ingadozott, azaz az adott öntözési gyakorlat mellett a 30 m mélyen elhelyezkedő talajvízbe jutáshoz 15-60 évre van szükség. Nagy az átszivárgás sebessége homokokon erősebb öntözéskor, mert e talajoknak kicsi a víztartó képességük.

Lássunk néhány adatot a lehetséges N-veszteség mértékéről kimosódás útján az intenzív öntözött és trágyázott gazdálkodás viszonyai között. PRATT és ADRIANO /1973/ a dél-kaliforniai Santa Anna folyó völgyében 25 helyről vett mintákat kísérleti és üzemi területekről, amelyeken a felhasznált összes N-mennyiség 111-1525 kg N/ha között ingadozott évente. A nagy N-felhasználás a nagyüzemi állattartó-telepek hígtrágyájának koncentrált kijuttatásából adódott. A kilúgzott $\text{NO}_3\text{-N}$ 25-912 kg N/ha/év volt, az átszivárgás sebessége pedig 18-76 cm/év e talajokon. Átlagosan 190 kg N/ha mosódott ki. Ha kizárták az extrém, pontszerű szennyeződésnek /400 kg N/ha felett/ kitett helyeket, az átlagos kilúgzás 99 kg N/ha mennyiség volt évente. A szivárgó víz $\text{NO}_3\text{-N}$ koncentrációja 12-123 mg/l között változott, átlagosan 52 mg/l volt. A 400 kg N/ha feletti helyek kizárásával az átlag 36 mg/l volt, ugyanakkor az USA-ban engedélyezett $\text{NO}_3\text{-N}$ -szint az ivóvizekben 10 mg/l.

RIBLE és munkatársai /1979/ ugyancsak Kaliforniában 83 helyet mintáztak és azt találták, hogy a nitrogénnel nem műtrágyázott talajokban az átszivárgó vízben 19 mg/l, míg átlagosan 41 mg/l volt a $\text{NO}_3\text{-N-koncentráció}$. LUND et al. /1978/ becslései szerint az egyik kaliforniai öntözött völgyben az öntözővízzel és a N-műtrágyával felhasznált nitrogén mintegy 24 %-a volt a termésben, 39 %-a kimosódott /128 kg N/ha évente/, míg 37 % számbavehetetlennek bizonyult. LUND /1979/ részletes méréseket végzett 7 üzemi táblán, ahol az átszivárgó víz $\text{NO}_3\text{-N-tartalma}$ a táblák átlagaiban 40-152 mg/l között ingadozott, és megállapította, hogy az évi kilúgzás az öntözött zöldség, borsó és cukorrépa növények alatt 90-260 kg N/ha volt.

Összegezve az öntözött kaliforniai völgyekre kapott felvételezések adatait, PRATT /1984/ bemutatja a kilúgzás által okozott N-veszteség becsült nagyságát, amely évi 182 kg N/ha mennyiségnek adódott. Kalifornia 3,5 millió

ha öntözött területére extrapolálva ez 311 ezer tonna N-kilúgzást jelenthet, amely kb. 50 %-a az összes N-felhasználásnak /szerves + műtrágya/. A kilúgzott nitrogén egy része szárazhatott a talaj szerves anyagának bomlásából, mikrobiális N-megkötésből is, a szerző azonban megjegyzi, hogy valószínűleg csak a kisebb részük.

A gyepek növelik a talaj szervesanyag-készletét és ezzel N-tartalmát is. Ugyanazon temőhelyen a különbség akár a kétszerese is lehet a szántóhoz viszonyítva. A gyepek feltörésekor már az első években a fűvekben tárolt N-veszteség 20-30 %-a mobilizálódhat. Különösen nagy NO_3^- -terhelés léphet fel a szántóként használt mélylápokon, ahol évente 1-2 cm tözegcsökkenéssel akár 1500-3000 kg N/ha is felszabadulhat, ugyanakkor a humuszképződés igen lassú /KUNTZE, 1983/.

KREUTZER /1983/ az NSzK erdeiben végzett vizsgálatait összesítve megemlíti, hogy az erdők nagy része alatt a talajoldat, illetve az átszivárgó víz NO_3^- -tartalma 15 mg NO_3^-/l -nél alacsonyabb, azaz 3-4 mg NO_3^-/l . Esetenként azonban az erdő sem lát el "vízvédelmi" funkciót, mert 50-100 mg NO_3^-/l és e feletti értékek is előfordulnak, részben némely égerállományban, amely N-fixációra képes, valamint olyan erdőgazdálkodási beavatkozások hatására, mint a trágyázás, meszezés, irtás, felújítás.

A mezőgazdasági művelés alatt álló területeket tekintve a tartós gyepek, valamint a nem erősen trágyázott rétek és legelők alatt szinte nem beszélhetünk kimosódásról, mivel a talaj állandóan növényvel borított, és a fűvek még alacsonyabb hőmérsékleten is vesznek fel vizet és nitrogént. AMBERGER /1983/ Németországban 200 mm átfolyt vízben - 130 kg N/ha trágyázás esetén - agyagos talajon mindössze 3, homokon 7 kg N/ha veszteséget mért. Kalászosok alatt ez a veszteség mintegy 4-szeresére, míg a kapások alatt 6-szorosára nőtt ugyanazon a talajon.

A szántóföldi zöldségfélék alatt a talajok ásványi N-készlete - a kalászos forgóhoz viszonyítva - közel egy nagyságrenddel nagyobb lehet az intenzív trágyázás miatt. WEHRMANN és SCHARPF /1983/ az éves N-veszteségeket 100-300 kg N/ha-re becsülte németországi üzemi viszonyok között.

WALTER és RESCH /1983/ a németországi Mosel-vidéki szőlők alatti talajokat vizsgálva megállapítják, hogy az erőteljes túltrágyázás /200-400 kg N/ha/évi/ gyakori. Liziméteres vizsgálataik szerint az éves N-kilúgzás mértéke a 200 kg N/ha mennyiséget is elérheti vagy meghaladhatja. Az okok között említik:

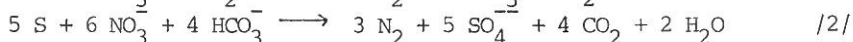
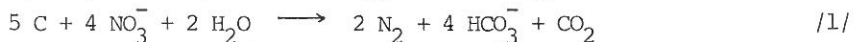
- a szőlő viszonylag rövid tenyészidejét /180-190 nap/;
- az alacsony tőszámot /4-5 ezer szőlőtőke ha-onként/;
- a megtermett biomassza nagy része a táblán marad, a gyümölcs N-tartalma 20-30 kg N/ha mindössze;
- a vázrészek magas arányát a talajban, ezzel összefüggésben a nagy vízelnyelő- és vízáteresztő képességet, a kapillárisnál nagyobb pórusok túlsúlyát;
- a könnyen melegedő, jól szellőző, magas humusztartalmú talajok gyors mineralizációját a kedvező pH-értéken.

A szerzők javasolták a talajvizsgálatok alapján való N-trágyázást, mely szerint 40-100 kg N/ha mennyiségnél nagyobb trágyaigény nem jelentkezik. A trágyafelhasználást a negyedére lehetne csökkenteni a termésnövekedés veszélye nélkül.

A Mosel völgyében a talajvizek, kutak vízminősége már az 1960-as évek végével leromlott a túltrágyázás miatt /RESCH és WALTER, 1986/. A szőlő N-trágyázásának intenzitása és a talajvizek nitrátosodása közötti kapcsolatot mind a tudomány, mind a gyakorlat a közelmúltig elutasította annak ellenére, hogy a liziméteres kísérletek eredményeit több szerző is publikálta. Ma már a Mosel völgye szinte teljesen külső vízforrásokra kell, hogy hagyatkozzon az ivóvízellátásban. A szerzők liziméteres kísérleteiben 4 évvel a N-trágyá-

zás beszüntetése után sem tapasztaltak N-hiányt, mert az ásványosodás elegendő nitrogént szolgáltatott. Csapadékosabb vidékeken a gyepesítést is javasolták a NO_3^- -kilúgzás csökkentésére.

A nitrát ugyanakkor könnyen redukálódhat, hiszen erős oxidálószerként ismert. Bizonyos talajokban ez a redukció végbemegy és nincs nitrát probléma. Az altalajban végbemenő denitrifikáció következményeként is romolhat a talajvíz minősége. Redukáló vegyületként ott a pirit és a szerves szén, barnaszén vagy lignit maradványai játszanak szerepet. A reakció eredményeképpen szulfátok, hidrogén-karbonátok, vasvegyületek szaporodhatnak fel a talajvizekben KÖLLE /1983/ szerint, az alábbi egyenletek alapján:



Az NSzK-ban, a Fuhrberg térségében elhelyezkedő vízművek vízgyűjtőin végzett felmérések szerint a gazdálkodás, illetve a trágyázás intenzitásával a vizek SO_4^{2-} - és Fe-tartalma, szennyeződése mutatott egyértelmű összefüggést, a NO_3^- -tartalom mindig alacsonyabb volt. KÖLLE /1983/ előbb említett munkájában megjegyzi, hogy ezidáig a denitrifikációs folyamatok miatt bekövetkező vízromlás még nem vezetett vízművek bezárásához. Egyes vízművek létét azonban már az említett "redukáló" talajokban és talajvizekben erősödő vízkeménység, a 250 mg SO_4^{2-} /l határkoncentráció esetenkénti túllépése, a Mn-, NH_4^+ -, Cl- és egyéb sók növekvő koncentrációja komolyan veszélyezteti.

A műtrágyák vívígyóanyagai ugyancsak jelentősen terhelik a talajt és hozzájárulhatnak a vizek szennyeződéséhez. A szuperfoszfát a szokásos 18-20 % P_2O_5 -tartalmán kívül még mintegy 13 % elemi kénként /kb. 40 % SO_4^{2-} /; a 40 %-os kálisó a 40 % K_2O -n kívül még 10 % Na- és 45 % Cl-tartalommal is rendelkezhet.

Korábbi munkánkban beszámoltunk arról, hogy a műtrágyák kísérőionjainak és tápelemeinek mozgását a talajprofilban jól jelezte az "összes só"-tartalom is. A szuperfoszfáttal végzett feltöltő P-trágyázást követően, a kísérlet első éve után a 0-20 cm-es rétegben maradt a foszfor, a 0-40 cm-es rétegben a SO_4^{2-} . A 40 %-os kálisóval végzett feltöltő trágyázás után a K^+ a szántott rétegben, míg a Na^+ az egész 0-80 cm-es profilban, a Cl^- pedig a 40-100 cm-es rétegben dúsult fel többszörösére a trágyázatlanhoz viszonyítva. A NO_3^- -N az aratás után, nyáron, alapvetően a 0-60 cm-es rétegben maradt /KÁDÁR et al., 1976/.

Hazai viszonyaink között, öntözés nélküli szántóföldi termesztésben igen kevés adatot találunk a nitrát talajszelvényben való lehetséges mozgásáról, felhalmozásáról. Egzakt, 11 éves szabadföldi műtrágyázási tartamkísérletben, ahol a trágyázás nyomán eltérő N-ellátottsági viszonyokat alakítottunk ki, nyomon kívántuk követni a NO_3^- -N mozgását. Felvetődik a kérdés, hogy egy jól szellőző meszes, humuszos vályog talajon mi történik a műtrágyával adott, de a növény által már fel nem vett nitrogénnel? Mely része található NO_3^- -formában, mely része mozdult el a gyökérszóna alá és fenyegetheti a kilúgzás veszélye?

Anyag és módszer

A szabadföldi kísérletet 1973 őszén állítottuk be a MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete Nagyhörcsök-i Kísérleti Telepén. A telep átlagos középhőmérséklete $10,9^\circ\text{C}$, a csapadék évi átlagos mennyisége 576 mm, szárazságra hajló, az Alföldünkéhez hasonló. A löszön képződött mészlepedékes csernozjom talaj CaCO_3 -tartalma 5 %, humusztartalma 3 % a szántott rétegben. A talajvizsgálatok szerint a pH /KCl/ : 7,3; AL- P_2O_5 : 60-80 ppm; AL- K_2O : 140-160

ppm; Mg/KCl/: 150-180 ppm; Mn/EDTA/: 80-150 ppm; Zn/EDTA/: 1-2 ppm; Cu/EDTA/: 2-3 ppm. A MÉM NAK által elfogadott módszerek és határértékek alapján ezek az adatok a talaj igen jó Mn-, kielégítő Mg- és Cu-, közepes N- és K-, valamint gyenge P- és Zn-ellátottságáról tanuskodnak. A talajvíz szintje 13-15 m mélyen található.

A P- és K-műtrágyákat, valamint a N-adag felét ősszel szántás előtt, a N másik felét tavasszal szórtuk ki 25-28 %-os pétisó, 18 %-os szuperfoszfát, és 40-60 %-os kálisó formájában. A N-műtrágyázás 0, 100, 200, 300 kg N/ha mennyiséget jelentett évente. A termesztett növények sorrendje az alábbi volt az elmúlt 12 év alatt: őszi búza /2 év/, kukorica /2 év/, burgonya, őszi árpa, zab, cukorrépa, napraforgó, mák, repce és mustár. A kísérletet és egyéb eredményeit több helyen már ismertettük /KÁDÁR, 1980; ELEK és KÁDÁR, 1975; KÁDÁR et al., 1976/.

Kísérletünkben minden vizsgált tápelemet /NPK/ 4 szinten adagoltunk és minden lehetséges kombinációt beállítottunk 4 x 4 x 4 = 64 kezelésben, 2 ismétléssel, összesen 128 parcellában. Ezzel elértük, hogy minden olyan tápláltsági situációt /gyenge, közepes, jó és magas ellátottsági tartományokban - létrehozunk, mely a gyakorlatban az üzemi táblákon is előfordul, vagy előfordulhat a jövőben /1. és 2. táblázat/.

1. táblázat

1973 és 1984 között a kísérletben alkalmazott tápanyagok és műtrágyák /t/ha/11 év/ /Mészlepedékes csernozjom, Nagyhorcsók/

/1/ A ke- zelés jele	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	/K ₂ O/	/3/ Pétisó 25 %	/4/ Szuper- foszfát 18 %	/5/ Kálisó 50 %
	/2/ hatóanyagra számolva						
000	0	0	0	/0/	0	0	0 /0/
111	1,1	1,0	1,0	/1,5/	4,4	5,5	2,0 /3,0/
222	2,2	2,0	2,0	/3,0/	8,8	11,0	4,0 /6,0/
333	3,3	3,0	3,0	/4,5/	13,2	16,5	6,0 /9,0/

/K₂O/ = 1985-ben.

2. táblázat

A mészlepedékes csernozjom talaj AL-oldható P- és K-tartalmának változása /1984 augusztus/

/1/ Mintavétel mélysége, cm	/2/ A kezelés jele				/3/ SzD _{5%}	/4/ Átlag
	000	111	222	333		
AL-P ₂ O ₅ , ppm						
0-20	76	150	292	470	36	247
20-40	46	58	93	126	16	81
40-60	38	42	51	68	6	50
AL-K ₂ O, ppm						
0-20	130	144	186	263	7	181
20-40	103	98	114	138	13	113
40-60	75	73	78	77	9	76

A mélyfúrás céljaira az $N_0P_0K_0$, $N_1P_1K_1$, $N_2P_2K_2$ és $N_3P_3K_3$ /továbbiakban: 000, 111, 222, és 333/ parcellák 2 ismétlését, tehát összesen 8 parcellát választottunk, ahol a vizsgált tápelemek ellátottsági szintjei együtt emelkedtek. A repce betakarítását követően 1984 augusztusában került sor 20 cm-es rétegenként, parcellánként 3-3 pontban /összesen 6 pont kezelésként/ a 3 m mélységet érintő furásokra. A rétegenként 24, összesen 360 talajminta analízisét a Fejér megyei Növényvédelmi és Agrokémiai Állomás végezte a szokásos paraméterekre. Mintavételkor szárítószekrényes módszerrel a talajnedvességtartalmakat is meghatároztuk. A mintavételt a következő évben, 1985 augusztusában mustár jelzőnövény betakarítása után megismételtük, 6 m mélységig kiterjesztve a furásokat. Ezúton azonban csak 1-1 fúrásra került sor parcellánként és rétegenként, azaz $4 \times 6 \times 5 = 120$ minta analízisére. Tájékozódásra, illetve a mélyebb rétegek jellemzésére ezek a pontminták elegendőnek bizonyultak.

A MFM NAK a NO_2+NO_3 -N összegét határozza meg. Ezen a jól szellőzött talajon azonban ez az érték gyakorlatilag a NO_3 -N mennyiségének felel meg. A továbbiakban az egyszerűség kedvéért csak a NO_3 -ról beszélünk majd. Korábbi vizsgálatainkban ugyanis már utaltunk arra, hogy a műtrágyázás hatására a NO_3 -N-tartalom változik elsősorban a talajban, és bár jelentős szezondinamikát mutathat, szaktanácsadási célokra is alkalmas /NÉMETH és BUZÁS, 1984; KOVÁCS, 1982/.

3. táblázat

A vizsgált talaj néhány kémiai és fizikai sajátossága a 0-3 m-es rétegben /1984 augusztus/ /A 000-parcellák 3-3 pontmintájának átlagai/

/1/ A minta- vétel mélysége, cm	pH /KCl/ %	CaCO ₃ %	/2/ K _A	/3/ Humusz, %	AL-		EDTA-			KCl-	
					P ₂ O ₅	K ₂ O	Mn	Zn	Cu	Mg	Na
ppm											
0-20	7,26	3	51	3,00	80	163	89	1,5	1,8	188	39
20-40	7,28	5	52	2,68	62	137	44	1,2	1,4	181	41
40-60	7,35	11	53	1,82	48	98	17	0,6	0,7	179	61
60-80	7,37	18	53	1,30	46	87	9	0,7	0,9	183	66
80-100	7,40	19	50	0,98	40	83	9	0,7	1,0	225	63
100-120	7,49	21	43	0,78	34	85	8	0,4	1,0	271	68
120-140	7,59	21	41	0,61	33	90	11	0,4	1,0	324	72
140-160	7,60	20	39	0,45	32	88	12	0,6	1,3	354	69
160-180	7,66	20	38	0,40	28	68	11	0,4	1,1	362	71
180-200	7,68	18	37	0,30	33	75	12	0,3	0,9	372	67
200-220	7,73	17	37	0,25	21	63	17	0,5	0,9	373	64
220-240	7,78	17	36	0,25	20	62	18	0,4	0,8	370	61
240-260	7,76	21	36	0,27	25	54	19	0,4	0,9	373	64
260-280	7,78	18	36	0,26	29	55	14	0,5	0,9	377	61
280-300	7,80	17	37	0,24	24	58	18	0,6	0,9	408	60
0-100	7,33	11	52	1,89	55	114	34	0,9	1,2	191	54
100-200	7,60	20	40	0,51	32	81	11	0,4	1,1	337	69
200-300	7,77	18	36	0,25	24	58	17	0,5	0,9	380	62
a/ átlag	7,57	16	43	0,88	37	84	21	0,6	1,1	303	62

Az eredmények ismertetése

A 0-3 m-es talajréteg néhány agrokémiai szempontból fontosabb jellemzőjét a 3. táblázatban foglaltuk össze. Amint az adatokból látható, a mélységgel a pH/KCl/ és a CaCO_3 -tartalom emelkedik, míg a kötöttség és a humusztartalom csökken a löszre jellemző értékekkel a 2-3 m-es rétegben. A mészlepedékes csernozjomra jellemzően a humuszos szint viszonylag mély, 1 m mélyséig a humusztartalom 1 % felett van, és - mint a vízhatás alól mentes típusokban fokozatos átmenetet mutat.

A kilúgzás itt nem jellemző - csupán kísérő - folyamat, amely a felső talajszintekből kioldja a szénsavas meszet, de csak csökkenti a karbonáttartalmat. A kilúgzás az ősztől tavaszig tartó átnedvesedéssel esik egybe. A mészlepedék nyáron a szárazság idején a 30-70 cm-es rétegben kiválhat, és amikor a mélyebbre mosódott sók egy része a talajvízzel a felszín felé vándorol, a kilúgzás visszafordul (STEFANOVITS, 1975; SZÜCS, 1965/).

A szántott réteg szerkezete a művelés hatására leromlott, elporosodott és az alján tömődöttebb réteg található, amelyben a kolloidok feldúsulhatnak az átiszapolás következtében. A kötöttség itt a legmagasabb ebből eredően. A növényi tápelemtartalmakat vizsgálva megállapítható, hogy a felső 0-40 cm-es rétegben dúsult fel a biológiai akkumuláció eredményeképpen a N /humusz/; a felvehető P, K, Mn, Zn és Cu. A kilúgzás, a lefelé való mozgás uralkodó jellege abban mutatkozik meg, hogy a könnyen oldható Mg- és Na-tartalom az alsóbb talajrétegekben dúsul fel.

A 4. táblázatban a 0-3 m-es szelvény nedvesség- és $\text{NO}_3\text{-N}$, valamint SO_4^{2-} tartalmának alakulását tanulmányozhatjuk. Megállapítható, hogy a talaj víz⁴ tartalma a beázás függvénye, az alsóbb rétegek víztartalma fokozatosan csökken. A nitrát a vízzel együtt mozog. Az évi 200-300 kg N/ha adagú kezeléseken a $\text{NO}_3\text{-N}$ gyakorlatilag a teljes vizsgált 3 m mélységben feldúsult. A 0-3 m-es réteg átlagában, a 333-as kezelésben tízszer akkora $\text{NO}_3\text{-N}$ -koncentrációt mértünk, mint a 11 éve nem trágyázott kontrollon.

A legtöbb szántóföldi növény a felső 0-1 m-es talajréteg víz- és tápanyagkészletét hasznosítja alapvetően. A tartós, évi 300 kg N/ha adagú trágyázás hatására az 1 m-es réteg $\text{NO}_3\text{-N}$ -készlete meghaladta a 450 kg N/ha, az 1-2 m-es rétegben elérte a 600 kg N/ha, míg a 0-3 m-es rétegben az 1300 kg N/ha mennyiségeket. Ez utóbbi N-mennyiség fedezhetné egy közepes gabonatermés N-igényét egy évtizeden át! A 11 éven át nitrogénnel nem trágyázott parcellákkal összevetve, a 333-as parcellák talajának $\text{NO}_3\text{-N}$ -készlete 1200 kg N/ha mennyiséggel haladta meg a kontrollt a 0-3 m-es rétegben.

A feleslegben levő $\text{NO}_3\text{-N}$ már nem áramlik felfelé tartóan az alsóbb rétegekből, az 1 m alatti rétegekből, túltrágyázás esetén, mert a 0-1 m-es rétegben is meghaladja mennyisége a növényi felvétel fiziológiai határait. Ez a nitrogén már nem válhat tápanyaggá, lassan lefelé mozog, mint a Cl⁻, Na⁺, stb. A 0-3 m-es mélységgel nem tudtuk a $\text{NO}_3\text{-N}$ bemosódásának alsó határát pontosan megítélni, így 1985-ben, a kísérlet 12. évében, mustár aratását követően augusztusban a fúrásokat 6 m mélyséig folytattuk. Az adatokból látható, hogy a kontroll és az évi 100 kg N/ha kezelése között nem volt eltérés a $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalomban, mert a növényi felvétel meghaladta az évi 100 kg N/ha mennyiséget. A $\text{NO}_3\text{-N}$ bemosódásának maximuma a 222-es és 333-as kezeléseken 60-200 cm között volt.

Jelentős különbségek adódtak a felvehető SO_4^{2-} -tartalomban is. A 0-3 m-es talajréteg SO_4/KCl -készlete mintegy megkétszereződött műtrágyázás hatására, 700 kg/ha mennyiségéről 1500-1600 kg/ha-ra emelkedett. A 000 és 333-as kezelés között 950 kg/ha különbség adódott e módszerrel becsülve. A lehetséges növényi felvételt véve alapul feltehető, hogy e talajban hosszú évekre, évtizedekre elegendő S-tápelem van jelen trágyázás nélkül is a növények szá-

4. táblázat

A nedvesség, a $\text{NO}_2 + \text{NO}_3\text{-N}$, valamint SO_4^{2-} -eloszlása a 0-3 m-es rétegben tartós N-műtrágyázás hatására /1984. augusztus, 6-6 fúrás átlagai/

/1/ A minta- vétel mélysége, cm	H_2O , %	$\text{NO}_2 + \text{NO}_3\text{-N}$					SO_4^{2-}						
		000	111	222	333	/2/ SzD _{5%}	/3/ Átlag	000	111	222	333	/2/ SzD _{5%}	/3/ Átlag
		ppm											
0-20	14,2	6,4	5,6	10,4	17,2	9,9	17,4	22,6	23,6	34,3		24,5	
20-40	14,8	4,9	7,5	12,4	16,8	10,4	11,0	19,0	19,8	33,8		20,9	
40-60	13,9	3,2	2,7	10,5	30,8	11,8	16,2	32,7	39,2	50,2		34,6	
60-80	11,7	4,3	2,4	20,0	43,1	17,4	20,2	49,3	58,3	54,4		45,6	
80-100	12,0	3,3	6,6	28,3	54,8	23,2	21,6	50,3	47,0	48,1		41,8	
100-120	11,5	2,5	8,4	25,4	45,3	20,4	20,7	30,5	33,8	40,0		31,2	
120-140	10,8	2,4	5,7	24,6	44,8	19,4	23,2	26,1	34,9	42,2		31,6	
140-160	11,1	2,5	4,0	27,0	49,4	4,8	20,7	18,8	27,1	37,2	48,6	7,2	32,9
160-180	10,0	2,5	4,3	28,2	46,0	20,2	14,8	32,7	41,6	48,5		34,4	
180-200	10,6	1,5	4,1	21,5	29,2	14,0	11,4	34,2	46,7	42,0		33,6	
200-220	10,1	1,8	4,4	15,4	25,3	11,7	14,6	29,6	38,7	40,3		30,8	
220-240	9,9	2,2	4,1	12,0	21,2	9,9	15,2	24,3	29,5	32,1		25,3	
240-260	9,9	3,2	4,2	9,2	19,3	9,0	16,0	22,1	24,5	35,6		24,6	
260-280	9,8	3,6	3,6	9,2	18,3	8,7	16,0	19,6	25,2	21,0		20,4	
280-300	9,9	3,7	3,5	9,8	16,9	8,5	15,7	20,5	23,4	20,7		20,1	
a/ SzD _{5%}			4,8			2,4		7,2				3,6	
b/ Átlag	11,5	3,2	4,7	17,6	31,9	1,8	14,3	16,8	29,4	34,9	39,4	30,1	
0-100	13,3	4,4	5,0	16,3	32,5	14,5	17,3	34,8	37,6	44,2		33,5	
100-200	10,8	2,3	5,3	25,3	42,9	18,9	17,8	30,1	38,8	44,3		32,8	
200-300	9,9	2,9	4,0	11,1	20,2	9,6	15,5	23,2	28,3	29,9		24,2	
A. kg/ha /Térfogatsúly 1,4; 1 ppm = 14 kg/ha/m/													
0-100	-	62	70	228	455	203	242	487	526	619		469	
100-200	-	32	74	354	600	265	249	421	543	620		459	
200-300	-	41	56	155	283	134	217	325	396	419		339	
0-300	-	135	200	737	1338	602	708	1223	1465	1658		1267	
B. kg/ha többlet a kontrollhoz viszonyítva													
0-100	-	-	8	166	393	-	-	245	284	377		-	
100-200	-	-	50	436	810	-	-	280	473	573		-	
200-300	-	-	65	602	1203	-	-	525	757	950		-	

mára elérhető talajmélységben. A SO_4^{2-} lefelé való mozgása jellemző /4. táblázat/.

Az 5. táblázatban bemutatott, az elektromos vezetőképesség elve alapján becsült összes só-tartalom változása arra utal, hogy műtrágyázással az elektrolitok mennyisége nagyságrendekkel megnőhet a talajban. Ezzel az egyszerű mérésrel jól nyomon követhető a műtrágyák tápelemeinek és egyéb kísérő ionjainak mozgása, illetve feldúsulása. Korábbi ilyen irányú méréseink szerint feltehetően a NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , PO_4^{3-} anionok, valamint a Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+

5. táblázat

A műtrágyázás hatása a 0-3 m-es talajszelvény összes só-tartalmára, ‰ /1984 augusztus, 6 analízis átlagai/

/1/ A minta- vétel mélysége, cm	Kezelés				/2/ Átlag
	000	111	222	333	
0-20	0,15	0,17	0,30	0,57	0,30
20-40	-	-	0,23	0,33	0,14
40-60	-	-	0,15	0,58	0,18
60-80	-	0,07	0,40	0,87	0,34
80-100	-	0,08	0,60	0,95	0,41
100-120	-	0,07	0,63	1,05	0,44
120-140	-	0,07	0,73	1,10	0,48
140-160	-	-	0,82	1,08	0,48
160-180	-	0,07	0,72	0,98	0,44
180-200	-	0,03	0,73	0,87	0,42
200-220	-	-	0,57	0,72	0,32
220-240	-	-	0,53	0,53	0,26
240-260	-	-	0,47	0,57	0,26
260-280	-	-	0,45	0,57	0,25
280-300	-	-	0,35	0,60	0,24
0-100	0,03	0,06	0,34	0,66	0,27
100-200	-	0,05	0,73	1,04	0,45
200-300	-	-	0,47	0,60	0,27
<u>A. t/ha /térfogatsúly = 1,4/</u>					
0-100	0,42	0,84	4,76	9,24	3,84
100-200	-	0,70	10,22	14,56	6,30
200-300	-	-	6,58	8,40	3,78
0-200	0,42	1,54	14,98	23,80	10,14
0-300	0,42	1,54	21,56	32,20	13,92
<u>B. Különbség a kontrollhoz viszonyítva</u>					
	-	1,12	21,14	31,78	
<u>C. 1973-1984 között a műtrágyával a területre juttatott összes só, t/ha</u>					
a/ Pétisó	-	4,40	8,80	13,20	
b/ Szuperfoszfát	-	5,50	11,00	16,50	
c/ Kálisó	-	3,00	6,00	9,00	
d/ Összesen	-	12,90	25,80	38,70	

kationok játszhatnak szerepet a szokásos pétisó, szuperfoszfát és kálisó alkalmazásakor /KÁDÁR et al., 1976/.

Az így mért összes só mennyiségét t/ha-ban is kifejeztük, hogy a műtrágyázás hatását kézzelfoghatóbbá tegyük. A 222-es és 333-as kezelésekben, ahol már mindhárom tápelem /NPK/ tekintetében jelentős túltrágyázásra került

6. táblázat

A nedvesség, a $\text{NO}_2 + \text{NO}_3\text{-N}$, SO_4^{2-} , valamint az összes só tartalom eloszlása a 0-6 m-es rétegben tartós műtrágyázás hatására /1985 augusztus, 1-1 furás átlagai/

/1/ A minta- vétel mélysége, cm	H_2O , %	$\text{NO}_2 + \text{NO}_3\text{-N}$, ppm					/2/ Átlag	SO_4^{2-} /KCl/, ppm	/3/ Összes só, o/oo
		000	111	222	333	ppm			
0-20	14,6	4,6	3,5	2,5	11,3	5,5	13	0,2	
20-40	17,4	6,7	3,1	4,4	16,3	7,6	16	0,4	
40-60	16,2	3,0	3,8	9,0	32,9	12,2	34	1,0	
60-80	13,6	2,4	5,4	9,7	24,3	10,5	56	0,9	
80-100	13,3	4,0	4,2	6,1	21,6	9,0	57	0,7	
0-100		4,1	4,0	6,3	21,3	9,0	35,2		
100-120	13,3	3,9	4,8	18,4	29,9	14,3	59	0,6	
120-140	13,4	5,4	5,2	28,8	41,8	20,3	49	0,8	
140-160	12,6	4,8	4,2	36,4	52,5	24,5	42	1,0	
160-180	11,8	5,2	4,2	38,4	67,5	28,8	41	1,1	
180-200	12,5	3,4	9,3	37,1	73,6	30,9	45	1,3	
100-200		4,5	5,5	31,8	53,1	23,8	47,2		
200-220	10,6	4,2	6,8	26,1	62,9	25,0	40	1,0	
220-240	9,5	5,0	6,7	22,9	40,5	18,0	29	0,8	
240-260	8,9	2,8	5,8	16,7	22,6	12,0	22	0,5	
260-280	9,8	2,8	6,7	13,7	16,6	10,0	19	0,4	
280-300	9,4	2,9	5,7	11,2	17,4	9,3	16	0,4	
200-300		3,5	6,3	18,1	32,0	14,9	25,2		
300-320	9,0	3,8	5,5	8,7	16,3	8,6	16	0,5	
320-340	8,6	4,1	4,3	5,8	15,0	7,3	13	0,8	
340-360	9,0	4,1	4,0	5,4	13,7	6,8	12	0,6	
360-380	8,8	4,7	4,6	5,2	12,3	6,7	16	0,7	
380-400	8,6	4,5	4,1	5,3	8,9	5,7	16	0,5	
300-400		4,2	4,5	6,1	13,2	7,0	14,6		
400-420	7,7	4,1	3,6	4,9	6,4	4,8	15	0,4	
420-440	7,7	3,6	2,5	6,3	4,7	4,3	13	0,2	
440-460	7,2	5,1	3,0	4,6	4,2	4,2	13	-	
460-480	6,8	4,8	4,9	5,2	4,5	4,9	13	-	
480-500	5,6	5,0	4,9	5,2	4,5	4,9	12	-	
400-500		4,5	3,8	5,2	4,9	4,6	13,2		
500-520	5,5	5,2	4,9	5,4	5,2	5,2	14	-	
520-540	4,9	5,6	3,9	6,7	5,3	5,4	14	-	
540-560	4,4	3,4	4,4	5,8	6,3	5,0	12	-	
560-580	4,6	4,0	3,7	3,8	5,1	4,2	11	-	
580-600	3,9	3,7	3,6	4,4	5,2	4,2	12	-	
500-600		4,4	4,1	5,2	5,4	4,8	12,6		
a/ Átlag	9,6	4,2	4,7	12,1	21,6	10,6	25	0,5	
				<u>kg/ha</u>					
0-100		57	56	88	298	125	493		
100-200		63	77	445	743	333	661		
200-300		49	88	253	448	209	353		

6. táblázat folytatása

/1/ A minta- vétel mélysége, cm	H ₂ O, %	NO ₂ + NO ₃ -N, ppm				/2/ Átlag	SO ₄ ²⁻ /KCl/, ppm	/3/ Összes só, o/oo
		000	111	222	333			
300-400		59	63	85	185	98	204	
400-500		63	53	73	69	64	185	
500-600		62	57	73	76	67	176	
0-200		120	133	533	1041	458	1154	
0-300		169	221	786	1489	667	1507	
0-400		228	284	871	1674	765	1711	
0-500		291	337	944	1743	829	1896	
0-600		353	394	1017	1819	896	2072	

b/ Többlet a kon-
trollhoz viszo-
nyítva 0-600

- 41 664 1466 724 -

Megjegyzés: A SO₄, H₂O% a 4 kezelés átlagában megadva; az összes só o/oo a 333-ás kezelésre vonatkozik.

sor a növényi tápanyagfelvételen túlmenően, 21-32 t/ha összes só mennyiséget találtunk a 0-3 m-es rétegben. Ha ezzel szembeállítjuk a felhasznált műtrágyák mennyiségeit, nagyságrendileg hasonló mennyiségeket kapunk. Bár a talajban ilyen módon becsült "összes só" és a műtrágyák fizikai súlya között közvetlen kapcsolatot nem kereshetünk, megjegyezzük, hogy a talajban talált összes só mennyisége az összes NPK-műtrágya fizikai súlyának mintegy 80 %-át jelentette.

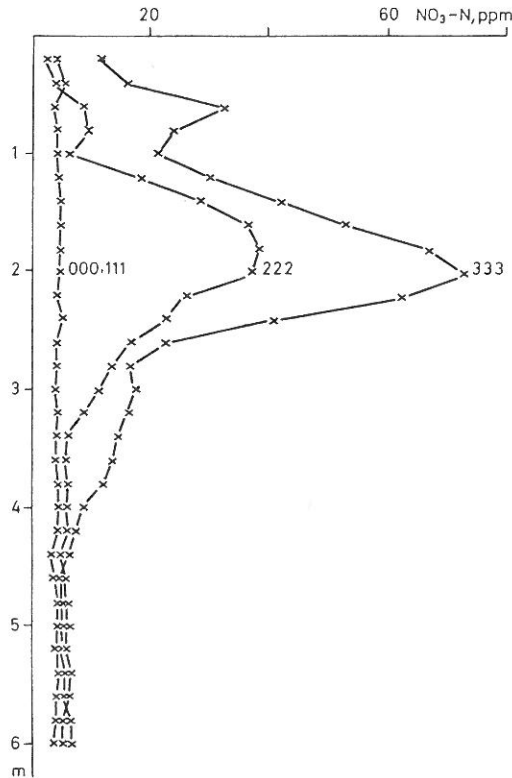
Kétségtelen tehát, hogy a műtrágyák növelik a talaj elektrolit-tartalmát, összes só-tartalmát és ezzel befolyásolhatják nemcsak a talaj, de a talaj-víz minőségét is.

A 6. táblázatban a 0-6 m-es réteget érintő fúrások adatait összegeztük. A SO₄²⁻ /KCl/ adatok 4 analízis /000, 111, 222, 333-as kezeléseket/, a nedvesség 2 fúrás /000, 333-as kezelés/, az összes só pedig 1 analízis /333-as kezelés/ eredménye. A SO₄²⁻ /KCl/ felhalmozódása, bemosódásának maximuma itt is a 60-200 cm-es rétegben adódik. A 0-2 m-es réteg nedvességtartalma szemmel láthatóan magasabb, mint az előző 1984. év hasonló időszakában volt, összevetve a 4. táblázatban közltekkel.

Az előző év mérési eredményeivel egyezően nincs különbség a 000 és 111-es parcellák NO₃-N-tartalmában, ezért az 1. ábrán is az átlagaikat tüntettük fel. A növényi tápelemfelvételt meghaladó N-trágyázás eredményeképpen, a 222-es és 333-as parcellák alatt, a 40-240 cm-es rétegben jelentős a NO₃-N-feldúsulás. Úgy tűnik, hogy a feldúsulás maximuma lefelé húzódik, két csúcs is látható /60 cm kis csúcsa és a 2 m "nagy" csúcsa/. Kétségtelen, hogy a kísérlet 12. évében a NO₃-N bemosódása elérte a 3-3,5 m mélységet, közeledve a 4 m felé. Ez megfelelne évi 20-30 cm lefelé irányuló mozgásnak. További mérésekkel szükséges igazolnunk a jövőben e mozgás sebességét, határát.

A 6. táblázatban a jobb áttekinthetőség érdekében m-es rétegenként összegezve, valamint kg/ha-ban is kifejezve közöljük az 1985. évi 0-6 m fúrás SO₄²⁻ /KCl/ és NO₃ /KCl/ eredményeit. Mind a SO₄²⁻; mind a NO₃ átlagos koncentrációja az 1-3 m-es rétegben a legnagyobb, elsősorban az 1-2 m-ig terjedő mélységben. A vizsgált 6 m-es mélységig található SO₄²⁻ összes mennyisége 2072 kg/ha volt. Trágyázás nélkül a 12. év után mintegy 350, évi 100 kg N/ha adagnál

400, 200 kg N/ha adagnál 1000, míg a 300 kg N/ha/év adagnál 1800 kg $\text{NO}_3\text{-N}$ /ha mutatható ki. A kontrollhoz képest a 0-6 m-es réteg $\text{NO}_3\text{-N}$ -készlete 664³/222-es kezelés/, ill. 1466 /333-as kezelés/ kg/ha-ra nőtt. Ezek az adatok alátámasztják az előző évben a 0-3 m-es rétegben nyert és a 4. táblázatban közölt eredményeket.



1. ábra

A $\text{NO}_3\text{-N}$ eloszlása a 0-6 m-es talajrétegben tartós műtrágyázás hatására /Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörcsök, 1985 augusztus, 1-1 analízis adatai/

Ahhoz, hogy a talaj N-forgalmáról megbízhatóbb képet alkothassunk, szükséges a növények által felvett tápelemek mennyiségének, ill. a talaj tápelem-mérlegének ismerete. Kísérletünkben rendszeres növényvizsgálatokat végeztünk. A 7. táblázatban a műtrágyával a talajba juttatott /adott/, valamint a növény által felvett /kivont/ tápelem mennyiségéből becsültük a talajban maradt /egyenleg/ mennyiségeket. Az egyes kezelések talajában, N-állapotukat tekintve, jelentős különbségek adódtak a mérleg szerint, melyet összevethettünk a $\text{NO}_3\text{-N}$ formában talált mennyiségekkel.

A kísérlet 11 éve alatt a 333-as kezelésben például 3300 kg/ha műtrágya-N-t adtunk, a növényi felvétel mintegy 1800 kg/ha volt. Ismeretes, hogy a műtrágya-N-nek csak egy részét, szabadföldi viszonyok között általában mintegy felét, veszik fel abban az évben a növények. A nitrogén másik, közvetlenül fel nem vett része bizonyos átalakuláson megy végbe a talajban, pl. $\text{NH}_4\text{-N}$

a talajkolloidokon és a kristályrácsokban megkötődhet, a N mikrobiális transzformáció útján átmenetileg lekötődhet, stb. Hosszabb időszakot tekintve azonban /amennyiben jól szellőzött talajokon a denitrifikáció nem számottevő/ a legfontosabb N "fogyasztók" a talajban a növényi N-felvétel és a kilúgzás. Mérlegszámításainkban feltesszük, hogy a növényi felvétel a műtrágya-N rovására történt. Amennyiben ilyen N-forrás nem volt, illetve nem fedezte a N-felvételt /negatív mérlegű parcellákon/, úgy a talaj eredeti N-készlete csökkent.

7. táblázat

A kísérlet N- és SO_4^{2-} -mérlegének becsült egyenlegei, kg/ha /1984/1985/

/1/ A mérleg tételei	/2/ A kezelés jele							
	000	111	222	333	000	111	222	333
	A. 1984 augusztus /a 11. év végén/				B. 1985 augusztus /a 12. év végén/			
a/ Adott N	-	1100	2200	3300	-	1200	2400	3600
b/ Kivont N	1221	1646	1752	1839	1318	1804	1941	2043
c/ Egyenleg	-1221	-546	+448	+1461	-1318	-604	+459	+1557
d/ Különbség a 000-hoz	-	675	1669	2682	-	714	1777	2875
e/ Talajban								
/O-3 m/	-	65	602	1203	-	-	-	-
/O-6 m/	-	-	-	-	-	41	664	1466
f/ Talajban %/	-	10	36	45	-	6	37	51
g/ Adott SO_4	-	2000	4000	6000	-	2000	4000	6000
h/ Kivont SO_4	610	823	876	920	659	902	970	1022
c/ Egyenleg	-610	+1177	+3124	+5080	-659	+1098	+3030	+4978
d/ Különbség a 000-hoz	-	1787	3734	5690	-	1757	3689	5637
e/ Talajban								
/O-3 m/	-	525	757	950	-	-	-	-
/O-6 m/	-	-	-	-	-	663	1410	1419

Az előbb említett példánkban tehát 1984-ben a 333-as kezelésben közel 1500 kg N/ha maradt a talajban, a növényi felvételen túl az évi 300 kg/ha túltrágyázásból eredően. A 000-parcellák talajaihoz viszonyítva 2680 kg nitrogénnel gazdagodott a talaj hektáronként. A talajvizsgálatok szerint ebből, a 0-3 m-es rétegben, 1200 kg/ha mennyiséget ki tudtunk mutatni NO_3 -N formában, amely 45 %-nak felelt meg. A kisebb mérvű túltrágyázás kevésbé volt ki-mutatható talajvizsgálatokkal. Feltehető, hogy a talaj "pufferolta" ezt a kisebb N-többletet, részben megkötötte NH_4 -formában, és beépülhetett a talaj humuszanyagába, a növényi gyökérmaradványokba, stb. /7. táblázat/.

Az 1985. évi N-forgalom adatai jól egyeznek az 1984. évi 3 m-es fúrás adataival. Lényegében tehát a 0-3 m-es fúrás is elegendőnek bizonyult a N-forgalom nyomon követésére. Megkíséreltük a S-forgalmat is megbecsülni, bár ez talán egy nagyságrenddel nagyobb hibával járhat. Abból indultunk ki saját analízis híján, hogy a szuperfoszfát átlagos SO_4^{2-} -tartalma kb. 40 % volt. Az egyes kezelésekből 0, 1000, 2000, 3000 kg P_2O_5 /ha, tehát 18-19 % P_2O_5 esetén

0, 5500, 11000, 16500 kg/ha szuperfoszfátot alkalmaztunk. Kísérő ionként így megközelítően 0, 2000, 4000, 6000 kg/ha SO_4^{2-} -felhasználással számolhatunk a 11, ill. 12 év alatt.

A növényi S-felvétel durva becslése az alábbiak szerint történt. Általánosan elfogadott, hogy a kén és a foszfor koncentrációja megközelítően azonos a legtöbb növényben. Saját vizsgálat híján feltételeztük, hogy növényeink átlagosan annyi ként vehettek fel, mint amekkora P-felvételük volt. A N-felvételt 100-nak véve a föld feletti összes terméssel, a foszfor felvétele elemben kifejezve 17 %-os volt. Így a $3xS \approx SO_4^{2-}$ alapján a felvett N mintegy 50 %-ának adódott a becsült, felvett SO_4^{2-} mennyisége.

Amint a 7. táblázat adataiból kitűnik, a felvett SO_4^{2-} mennyisége 600-900 kg/ha közötti nagyságrendű lehetett a 11. év végén. A 333-as kezelésben ugyanakkor mintegy 6000 kg/ha volt a felhasználás, azaz 5000 kg/ha mennyiséget meghaladta a talajgazdagítás. A talajban 3 m-es mélységet átfogva ebből mintegy 20 %-a volt kimutatható átlagosan $SO_4^{2-}/KCl/$ formában. A trágyaadaggal csökkenni látszott a KCl-oldható SO_4^{2-} -frakció, amely a trágyából származott. Az 1985. évi 0-6 m-es mélységet érintő vizsgálat szerint hasonlóképpen csökkent az adaggal az e módszerrel kimutatható, talajban visszamérhető SO_4^{2-} mennyisége, bár a visszakapott %-os mennyiség átlagosan a 30 % fölé emelkedett.

Összefoglalás

Egy mezőföldi mészlepedékes csernozjom talajon beállított NPK-műtrágyázási tartamkísérletben vizsgáltuk a NO_3^- , SO_4^{2-} és az ún. "összes só" mélységi eloszlását a talajprofilban. A kísérlet 11. és 12. évében, 1984 és 1985 augusztusában az aratást követően, 20 cm-enként talajmintákat vettünk az eltérő tápelem-ellátottságú /gyenge, közepes, jó és igen jó vagy magas/ parcellák talajából. Az 1984-ben vett minták összesen 6 fúrás átlagait és 3 m mélységet jelentettek, míg 1985-ben a mintavételeket 6 m mélységig kiterjesztettük 1-1 fúrással. A 360, illetve 120, azaz összesen 480 minta analízisét a velencei NAA végezte el a MÉM NAK által elfogadott szokásos 14 paraméterre. A vizsgálatok eredményeit az alábbiakban foglaljuk össze:

-- A talaj nedvesség-tartalma a vizsgált 3, ill. 6 m mélységig a beázás függvényeként a szántott rétegben mért 14-17 %-ról fokozatosan csökkent 4-5 %-ra az 5-6 m mélységben /4. és 6. táblázat/.

-- A NO_3^- -N felhalmozódási maximuma a 60-200 cm-es rétegben volt az intenzíven műtrágyázott kezeléseknél és a görbék szignifikánsan eltértek. Az évi 300 kg N/ha kezelésben a 0-1 m-es réteg NO_3^- -N készlete 455, az 1-2 m-es rétegé 600, míg a 0-3 m-es rétegé az 1300 kg N/ha mennyiséget is meghaladta, tízszerese volt a kontrollnak /4. táblázat/.

-- A kontroll és az évi 100 kg N/ha adagu kezeléseknél talajaiban a mélyebb rétegek NO_3^- -N-feldúsulása, bemosódás nem figyelhető meg. Csak a növény által fel nem vett műtrágya-N-t, a túltrágyázás által okozott N-többletet fenyegetheti a kilúgzás veszélye.

- A mozgékony $SO_4^{2-}/KCl/$ felhalmozódási maximumát szintén a 60-200 cm-es rétegben találtuk, a NO_3^- -N profilhoz hasonlóan. A 11 év alatt felhasznált 10-15 t/ha szuperfoszfát műtrágyázás hatására a 0-3 m-es réteg $SO_4^{2-}/KCl/$ -készlete a kontrollhoz viszonyítva 2-2,5-szeresére, 700 kg/ha-ról 1500-1600 kg/ha-ra emelkedett /4. és 6. táblázat/.

-- A kísérlet 12. évében a NO_3^- -N bemosódási, felhalmozódási zónája elérte a 3,5-4 m mélységet. Ez megfelelne évi 20-30 cm lefelé irányuló mozgásnak. További mérések szükségesek e mozgás sebességének és határának megismerésére.

-- Az "összes só" mérés adatai az erős túltrágyázás hatását nyomon követték a 0-440 cm rétegben, utalva a műtrágyák tápelemeinek és egyéb kísérő ionjainak mozgására. Korábbi vizsgálatainkból arra következtethetünk, hogy az elektrolitok a NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- anionok, valamint a Na^+ , K^+ , Ca^{2+} kationok jelenlétére utalnak elsősorban /KÁDÁR et al., 1976/.

-- A N-mérleg adatai szerint a N-trágyázott parcellák éves N-felvétele 150-160 kg N/ha volt. A növények által felvett N-mennyiséget meghaladó nitrogénnek 30-50 %-a volt kimutatható a talajban NO_3^- -N formában. A túltrágyázás mértékével a talajban kimutatott nitrogén részaránya nőtt. A növények által fel nem vett SO_4^{2-} mennyiségének ugyanakkor 20-40 %-a volt csak megtalálható a talajban $\text{SO}_4^{2-}/\text{KCl}$ -formában és az adaggal a talajban kimutatott SO_4^{2-} részaránya csökkenni látszott /7. táblázat/.

-- Minden olyan eljárás, amely növelheti a nitrogén növény általi hasznosulását, hatékony eszköz lehet a talajvizek NO_3^- -szennyeződése ellen. A gyakorlati trágyázási szaktanácsadás során a tervezett termés N-igényének, valamint a talaj NO_3^- -N készletének ismeretében elkerülhető a túltrágyázás.

Irodalom

- AMBERGER, A., 1979. Pflanzenernährung. UTB. Verlag Eugen Ulmer. Stuttgart.
- AMBERGER, A., 1983: Stickstoffaustrag in Abhängigkeit von Kulturart und Nutzungsintensität im Ackerbau und Grünland. In: Nitrat ein Problem für unsere Trinkwasserversorgung? Arbeiten der DLG. 177. 83-94. DLG-Verlag. Frankfurt/Main.
- ELEK É. és KÁDÁR I., 1975. A foszforműtrágyázás hatása a makro- és mikroelemek felvételére. A mezőgazdaság kemizálása. NEVIKI-KAE Ankét. 89-93. Keszthely.
- KÁDÁR I., 1980. A kálium jelentősége földművelésünkben és egy csernozjom talaj termékenységében. Agrokémia és Talajtan. 29. 577-594.
- KÁDÁR, I. et al., 1976. Vlijanie vozrastajuscsih doz mineral'nuh udobrenij na poscvu is raszteniija. 5th Cong. Yug. Soc. Soil Sci. 409-416. Sarajevo.
- KOVÁCS G. J., 1982. A kukorica víz- és tápanyagdinamikájának kritikus ökológiai kapcsolata. Növénytermelés. 31. 355-365.
- KÖLLE, W., 1983. Auswirkungen von Nitrat in einem reduzierenden Grundwasserleiter. In: Nitrat ein Problem für unsere Trinkwasserversorgung? Arbeiten der DLG. 177. 156-167. DLG-Verlag. Frankfurt/Main.
- KREUTZER, K., 1983. Stickstoffaustrag in Abhängigkeit von Kulturart und Nutzungsintensität in der Forstwirtschaft. In: Nitrat ein Problem für unsere Trinkwasserversorgung? Arbeiten der DLG. 177. 69-82. DLG-Verlag. Frankfurt/Main.
- KUNTZE, H., 1983. Zur Stickstoff-Dynamik in landwirtschaftlich genutzten Böden. In: Nitrat ein Problem für unsere Trinkwasserversorgung? Arbeiten der DLG. 177. 25-37. DLG-Verlag. Frankfurt/Main.
- LUND, L. J., 1979. Nitrogen studies for selected fields in the Santa Maria Valley. A. Nitrate leaching and nitrogen balances. In: Nitrate in effluents from irrigated lands. /Ed.: PRATT, P. F./ 355-415. Report to the National Science Foundation, National Technical Information Service, Springfield, USA.
- LUND, L. J. et al., 1978. Nitrogen balances for the Santa Maria Valley. In: National Conference on Management of Nitrogen in Irrigated Agriculture. /Ed.: PRATT, P. F./ 395-413. Dept. Soil Environm. Sci. University of California, Riverside.
- NÉMETH, T. and BUZÁS, I., 1985. Characterization of the mineral nitrogen content of soils for fertilization advices. Proc. 9th World Fert. Congress of CIEC. 2. 220-224. Goltze Druck, Goettingen.

- NIELSEN, D. R., SIMMONS, C. S. and BIGGAR, J. W., 1979. Flux of nitrate from a spatially variable field soil. In: Nitrate in effluents from irrigated lands. /Ed.: PRATT, P. F./ 487-501. Report to the National Science Foundation, National Technical Information Service, Springfield, USA.
- PRATT, P. F., 1984. Nitrogen use and nitrate leaching in irrigated agriculture. Nitrogen in crop production. ASA-CSSA-SSSA Publication. 319-333. Madison, Wisc.
- PRATT, P. F. and ADRIANO, D. C., 1973. Nitrate concentrations in the unsaturated zone beneath irrigated fields in southern California. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 37. 321-322.
- RESCH, H. N. und WALTER, B., 1986. Einschränkung der Nitratverluste im Weinbau. In: Bodenschutz mit der Landwirtschaft. Arbeiten der DLG. 185. 114-126. DLG-Verlag. Frankfurt/Main.
- RIBLE, J. M. et al., 1979. Nitrates in the saturated zone of freely drained fields. In: Nitrate in effluents from irrigated lands. /Ed.: PRATT, P. F./ 297-320. Report to the National Science Foundation, National Technical Information Service, Springfield, USA.
- ROHMANN, U., 1986. Landwirtschaftsbedingte und Landwirtschaftsunabhängige Stoffeinträge - wie einschränken? Grundwasserschutz vor überhöhten Nitrateinträgen, aus der Sicht der Wasserwirtschaft. In: Bodenschutz mit der Landwirtschaft. Arbeiten der DLG. 185. 92-103. DLG-Verlag. Frankfurt/Main.
- STEFANOVITS P., 1975. Talajtan. Mezőgazd. Kiadó. Budapest.
- SZÜCS L., 1965. A mészlepedékes csernozjomok osztályozásának továbbfejlesztése és alkalmazása. Agrokémia és Talajtan. 14. 153-170.
- WALTER, B. und RESCH, H. N., 1983. Stickstoffaustrag in Abhängigkeit von Kulturart und Nutzungsintensität im Weinbau. In: Nitrat ein Problem für unsere Trinkwasserversorgung? Arbeiten der DLG. 177. 114-120. DLG-Verlag. Frankfurt/Main.
- WEHRMANN, J. und SCHARPF, H. C., 1983. Stickstoffaustrag in Abhängigkeit von Kulturart und Nutzungsintensität in Intensivkulturen. In: Nitrat ein Problem für unsere Trinkwasserversorgung? Arbeiten der DLG. 177. 95-113. dlg-Verlag. Frankfurt/Main.

Érkezett: 1987. január 19.

NO_3^- , SO_4^{2-} and "Water Soluble Salts" Accumulation in the Soil Profile of a Long-Term Fertilization Experiment

T. NÉMETH, G. KOVÁCS and I. KÁDÁR

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

Summary

The distribution of KCl-soluble NO_3^- and SO_4^{2-} and of "Total salt" /estimated on the basis of electrical conductivity/ in the soil profile was examined on a calcareous chernozem soil formed on loess, at various levels of N, P and K fertilization. At the growing site the average mean temperature was 10.9 °C and the average annual quantity of precipitation was 550-600 mm. The groundwater was located at a depth of 13-15 m and had no effect on the profile studied. During the 11th and 12th years of the long-term fertilization experiment, after harvesting /in August 1984 and 1985/ samples were taken from the profile at every 20 cm to a depth of 3 /1984/ or 6 /1985/ metres. The results of the analyses can be summarized as follows:

- As a function of seepage, the moisture content of the soil gradually decreased from the 14-17 % measured in the ploughed layer to 4-5 % at a depth of 5-6 m /Tables 4 and 6/.
- The maximum NO_3^- -N accumulation was found between 60 and 200 cm in the intensively fertilized treatments and the curves differed significantly from each other. In the 300 kg N/ha/year treatment, for example, 455 kg/ha NO_3^- -N accumulated in the 0-1 m layer, 600 kg/ha in the 1-2 m layer, and more than 1300 kg N/ha in the 0-3 m layer /this was 10-times more than was measured in the control plots/ /Table 4/.
- The maximum SO_4^{2-} /KCl/ accumulation was observed again between 60 and 200 cm. As the result of the 10-15 t/ha superphosphate fertilizer application in the course of 11 years, the SO_4^{2-} accumulated in the 0-3 m layers were 2-2.5-times as great as those in the control plot, rising from 700 kg/ha to 1500-1600 kg/ha /Tables 4 and 6/.
- No NO_3^- -N enrichment could be observed in the deeper layers of soils in the control and 100 kg N/ha/year treatments. The data of N balances indicates that on N-fertilized plots the average annual N uptake by the plants was around 150-160 kg N/ha. 30-50% of the surplus N was found in the investigated soil layer, in the form of NO_3^- -N. The proportion of NO_3^- -N accumulated in the soil increased parallel to the degree of over-fertilization.
- Estimations show that 20-40% of the SO_4^{2-} quantity not taken up by the plants can accumulate in the form of SO_4^{2-} /KCl/ in the soil. There appeared to be a decrease in the proportion of SO_4^{2-} found in the soil as the fertilizer rate increased /Table 7/.
- In the 11th and 12th years of the experiment the accumulation zone of NO_3^- , SO_4^{2-} and "total salt" reached a depth of 3.5-4 m. This is equivalent to an annual downward movement of 20-30 cm. Further measurements will be required to determine the speed of this movement and any possible depth limit.
- Only N surpluses due to over-fertilization and those not taken up by the plants are in danger of leaching. Increasing the utilization of N by the plant could be an efficient means of preventing the NO_3^- pollution of groundwaters. Over-fertilization can be avoided by considering the N requirements of the projected crop and the measuring of the available NO_3^- -N reserves of the soil. This mechanism may also hold good for other elements and ions.

Table 1. Nutrients and fertilizers used in the experiment between 1973 and 1984, t/ha/11 years. /Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök/. /1/ Treatment. /2/ In terms of active ingredient. /3/ Calcium ammonium nitrate, %. /4/ Superphosphate, %. /5/ Potassium chloride, %.

Table 2. Changes in the AL-soluble /ammonium-lactate/ P and K contents of the calcareous chernozem soil /August 1984/. /1/ Depth of sampling, cm. /2/ Treatment. /3/ $LSD_{5\%}$. /4/ Average.

Table 3. Chemical and physical properties in the 0-3 m layer of the studied soil /August 1984/. /Averages of 3 point samples of the 000 plots/. /1/ Depth of sampling, cm. a/ Average. /2/ Upper limit of plasticity according to ARANY. /3/ Humus, %.

Table 4. Distribution of moisture, NO_2+NO_3-N and SO_4^{2-} in the 0-3 m layer as the result of long-term N fertilization. /August 1984, averages of 6 samples/. A. kg/ha /Volume weight 1,4; 1 ppm = 14 kg/ha/m/. B. kg/ha surplus compared to the control. /1/ Depth of sampling, cm. a/ $LSD_{5\%}$; b/ Average. /2/ $LSD_{5\%}$. /3/ Average.

Table 5. Effect of fertilization on the "total salt" content of the 0-3 m soil profile, ‰ /August 1984, averages of 6 analyses/. A. t/ha /Volume weight = 1.4/. B. Difference compared to the control. C. "Total salt" added as fertilizer between 1973 and 1984, t/ha. /1/ Depth of sampling, cm. a/ Calcium ammonium nitrate; b/ Superphosphate; c/ Potassium chloride; d/ Total. /2/ Average.

Table 6. Distribution of NO_2+NO_3-N in the 0-6 m layer as the result of long-term N fertilization /August 1985, data of 1 sample each/. /1/ Depth of sampling, cm. a/ Average; b/ Surplus compared to the control. /2/ Average. /3/ Total salt, ‰. Note: SO_4^{2-} , H_2O % given as the average of 4 treatments; "total salt" ‰ in terms of treatment 333.

Table 7. Estimated balances of N and SO_4^{2-} in the experiment, kg/ha /1984/1985/. A. August 1984 /at the end of the 11th year/. B. August 1985 /at the end of the 12th year/. /1/ Items in the balance. A/ N applied; b/ N extracted; c/ Balance; d/ Difference compared to 000; e/ In the soil; f/ In the soil, %; g/ SO_4^{2-} applied; h/ SO_4^{2-} extracted. /2/ Treatment.

Fig. 1. Distribution of NO_3-N in the 0-6 m soil layer as the result of long-term fertilization /Calcareous chernozem, Nagyhörcsök, August 1985, data of one analysis each/.