

N-műtrágyák átalakulásának vizsgálata talajérlelési kísérletekben

KÁDÁR IMRE és PUSZTAI ANTAL

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest

Az ásványi-N formák képződése aerob körülmények között az alábbi folyamattal jellemezhető a talajban: szerves N \rightarrow $\text{NH}_4\text{-N}$ \rightarrow $\text{NO}_2\text{-N}$ \rightarrow $\text{NO}_3\text{-N}$. Mivel a folyamat mikrobiális közreműködéssel valósul meg, érzékeny nemcsak a kiindulási szerves anyag mennyiségére és minőségére, hanem a külső körülményekre is. Az elmúlt évszázad kutatásai feltárták és azonosították a folyamatban részt vevő mikroorganizmusokat, valamint azok külső környezettel (hőmérséklet, nedvesség, pH-viszonyok stb.) szembeni optimumait.

Ismert, hogy az ammóniát oxidáló mikroszervezetek tevékenysége egyaránt csökken a talaj elsavanyodásával, vagy a pH túlzott emelkedésével. Utóbbi előállhat pl. a bőséges műtrágyázással (karbamid és ammóniatartalmú N források). Az $\text{NH}_4\text{-N}$ oxidációjakor keletkező NO_2 toxikus az élő szervezetekre, a talajbaktériumokra és a növényekre egyaránt. Az inkubációs kísérletek szerint a szántóföldi vízkapacitás körüli nedvességtartalomnál kaphatunk maximális nitrifikációs teljesítményt. A hőmérsékleti optimum 25-35 °C körül adódott a vizsgálatok többségében (NÉMETH et al., 1993, 1996). Talajainkban télen a nitrifikáció gátolt, az $\text{NH}_4\text{-N}$ formában késő ősszel adott N így nem mosódik ki (GYÓRI, 1984; NÉMETH, 1996; LATKOVICSNÉ, 1982; LOCH & NOSTICZIUS, 1983).

Rutin analitikai módszereinkkel általában az $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ formákat követjük nyomon a talajban, a N-forgalom egy része gyakran rejtve marad. Esetenként csak a N-mérleg egyenlegeinek hiányából következtethetünk az esetleges elillanásra, denitrifikációs veszteségekre. Nem, vagy nehezen becsülhető, ill. mérhető a talaj egyéb szerves vagy ásványi frakcióiba épült és megkötött N mennyisége is, bár az ^{15}N -nel jelzett műtrágyákkal végzett vizsgálatok számos részfolyamatba engedtek bepillantást. A hazai kísérletek, inkubációs vizsgálatok igazolták, hogy a különböző talajok N-szolgáltató képessége származásukból eredően eltérő, de a N-műtrágyák megfelelő megválasztásával minden talajon létrehozható a megfelelő $\text{NO}_3\text{-N}$ kínálat, ill. csökkenthető a N-veszteségek (LATKOVICSNÉ, 1979; SARKADI, 1975; NÉMETH, 1996; KÁDÁR, 1992).

A talajérlelési módszerek információt nyújtanak arról a N-mennyiségről, amely a tenyésztési idő során a növények számára felvehetővé válhat. Hazánkban az id. Várallyay-féle módszer terjedt el, mely a talajok 18 napos érlelésén alapuló szobahőmérsékleten. Amennyiben a $\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$ összege az inkubációs idő végén meghaladta a 40 ppm mennyiséget, úgy az adott talaj N-szolgáltatását kielégítőnek tekintették és trágyahatásokat nem valószínűsítettek. Az ásványi-N összege azonban csökkenhet is olyan esetben az inkubáció során, amikor a pentozánhatás kifejezett (BALLENEGGER & MADOS, 1944).

A talaj N-állapotának megítélése sokoldalú megközelítést igényel. Ismert a humusz %-a alapján történő N-szolgáltatás becslése. Az érleléssel a szerves kötésű N biológiai feltáródásának lehetőségére következtethetünk. Nem elhanyagolható az elővetemény által otthagyott tarlómaradvány mennyisége és minősége. A határértékek megállapítása nehézségekbe ütközik, hiszen az istállótrágyázás szerepét és a növény sajátos N-igényét is figyelembe kell venni a szaktanácsadás során. A napjainkban használt ún. N_{\min} módszernél táblaszinten határozzuk meg a felső 0-60 cm réteg $\text{NO}_3\text{-N}$ -készletét és annak mennyiségével csökkentjük a tervezett termés N-igényét (NÉMETH, 1995, 1996).

A bőséges N-trágyázást folytató üzemekben N-akkumuláció figyelhető meg a kötöttebb talajokon, az így felhalmozódó N-készlet a szaktanácsadás alapjául szolgálhat. A korábban alkalmazott id. Várallyay-féle talajérlelési módszer 40 ppm körüli ásványi-N-tartalma mintegy 120-150 kg/ha N-szolgáltatásnak felel meg a szántott rétegben, mely fedezhetné 4-6 t/ha gabonatermés N-igényét. Az akkori viszonyokat tekintve joggal valószínűsítették, gyakorlati megfigyelésekre is alapozva, hogy N-hatások ilyen N-szolgáltatású talajon már nem várhatók.

Amikor a talajba N-műtrágyákat keverünk, az érleléssel bepillantást nyerhetünk a N-műtrágyák átalakulásáról a talajban. Az érlelt kontroll egyben a talaj eredeti N-szolgáltatását jellemezheti. Munkánk során a tenyészedeny-kísérletekkel egy időben növény nélküli érlelési vizsgálatokat is végeztünk azonos kezelésekkel. A kezelések magukban foglalták a különböző N formákat, valamint eltérő P- és K-ellátottsági szinteket. A tenyészedeny-kísérletek eredményeit korábban már részletesen ismertettük (KÁDÁR & PUSZTAI, 1997a,b,c), melyeket eltérő talajokon és években kukorica jelzőnövényvel állítottunk be. Ezúton az érlelési vizsgálataink adatait foglaljuk össze. Kutatásainkat az OTKA T 014637 szerződés támogatásával folytattuk.

Anyag és módszer

A kísérletekhez használt talajok az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete Őrbottyáni, martonvásári és nyírlugosi kísérleti telepeinek szántott rétegeiből származtak, melyek fizikai és kémiai analízisének főbb eredményeit az 1. táblázat foglalja össze. Az adatokból látható, hogy a nyírlugosi homok erősen savanyú, humuszban és agyagos részben szegény, nitrogénnel és káliummal

igen gyengén, Cu és Mg elemekben gyengén ellátottnak minősülő kovárványos barna erdőtalaj. Az őrbottyáni homoktalaj meszes, 4 % körüli CaCO_3 -tartalommal, közepesen humuszos, K-ellátottsága alacsony.

A semlegeshez közeli löszös altalajon kialakult vályogot képviseli Martonvásár termőhelye 50 % leiszapolható frakcióval, 2,6 % humusztartalommal, ki-

1. táblázat

A kísérleti talajok fizikai és kémiai analízisének főbb adatai

(1) Vizsgált talajtulajdonságok	(2) Kísérleti talajok származási helye		
	Nyírlugos	Őrbottyán	Martonvásár
a) Fizikai homok	94	90	50
b) Fizikai agyag	6	10	50
c) Kötöttség (K_A)	25	27	40
d) Humusz, %	0,5	1,0	2,6
CaCO_3 , %	-	4,0	-
y_1	7,0	-	3,1
y_2	1,8	-	0,1
pH (KCl)	4,7	7,0	5,8
pH (H_2O)	5,5	7,7	6,6
AL-oldható P_2O_5 , ppm	114	164	59
AL-oldható K_2O , ppm	66	66	174
AL-oldható Ca, ppm	373	1260	362
AL-oldható Mg, ppm	33	666	346
AL-oldható Na, ppm	22	42	142
KCl+EDTA-Fe, ppm	121	100	139
KCl+EDTA-Mn, ppm	48	100	366
KCl+EDTA-Zn, ppm	2	2	4
KCl+EDTA-Cu, ppm	0,5	2	5

Nyírlugos: Kovárványos barna erdőtalaj, savanyú humusz-szegény homok, Nyírség;

Őrbottyán: Közepesen humuszos meszes homoktalaj, Duna-Tisza köze;

Martonvásár: Erdőmaradványos csernozjom, vályogtalaj, Dunántúl

elégítő tápelemkészlettel. Gyengének a P-ellátottsága minősíthető. A táblázatban az is megfigyelhető, hogy a talajok kötöttségével nő a humusz %-a, valamint a felvehető K-, N-, Mn- és Cu-készlete is. A homokos termőhelyek első sorban N- és K-igényesek, míg a vályog főként P-szegény. A talajérlelést általában a növénykísérletekkel párhuzamosan végeztük: 1991-ben Őrbottyán, 1992-ben Martonvásár, 1993-ban Nyírlugos talajaival.

Edényenként 1000 g kezelt talajt termosztátba helyeztünk és a szabadföldi vízkapacitás 70 %-ára nedvesítve különböző hőfokon tartottuk. Az érlelt talaj ásványi-N formáit eltérő időpontokban és gyakorisággal analizáltuk BREMNER

és KEENEY (1966) szerint. A kezelések száma 45, ismétlések száma 3, az összes edények száma évenként 135 volt. A kezelés 5 N-forma x 3 P-ellátás x 3 K-ellátás beállítását jelentette, az alkalmazott trágyaformákat és -adagokat az alábbiakban részletezzük:

N-trágyázás egységesen 250 mg/kg N. Felhasznált műtrágyák:

- | | |
|---|----------------|
| 1. Kontroll | = 0 g/edény |
| 2. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ | = 4,22 g/edény |
| 3. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ | = 2,44 g/edény |
| 4. NH_4NO_3 | = 1,43 g/edény |
| 5. $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ | = 1,08 g/edény |

P-trágyázás $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ összetételű 17 %-os őrlött szuperfoszfáttal:

- | | |
|--------------------------------------|-------------------------|
| 1. 0 mg/kg P_2O_5 | = 0 g/edény műtrágya |
| 2. 500 mg/kg P_2O_5 | = 1,45 g/edény műtrágya |
| 3. 1000 mg/kg P_2O_5 | = 2,91 g/edény műtrágya |

K-trágyázás 45 %-os K_2SO_4 formájában:

- | | |
|------------------------------------|-------------------------|
| 1. 0 mg/kg K_2O | = 0 g/edény műtrágya |
| 2. 500 mg/kg K_2O | = 0,46 g/edény műtrágya |
| 3. 1000 mg/kg K_2O | = 0,92 g/edény műtrágya |

Kísérleti eredmények

Mivel az érlelési vizsgálatok eredményeit az NxP, ill. NxK kölcsönhatások nem befolyásolták, adatainkat a N-kezelések függvényében mutatjuk be. Az *őr-bottyáni talajban* 25 °C-on az 1-55. napok között mértük a $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentrációit. Az $\text{NO}_2\text{-N}$ mennyisége általában alacsony maradt és nem változott az érlelés előrehaladtával. Ez alól kivételt a $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ műtrágya forma jelentett, ahol a 40. nap után a $\text{NO}_2\text{-N}$ mennyisége a 10-25 ppm tartományba emelkedett, többszörös dúsulást mutatva. A $\text{NO}_3\text{-N}$ készlete megduplázódott az idővel és az eredeti N-műtrágya formákat tükrözte. A bevitt $\text{NO}_3\text{-N}$ mennyiségének mintegy 2/3-át találjuk az első napokban kioldható formában. Az $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ és a karbamid nitrogénje nem nitrifikálódott (2. táblázat).

Az $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentrációja minden kezelésben emelkedik az érlelési idővel, de alapvetően a N-műtrágya formákat tükrözi. A bevitt $\text{NH}_4\text{-N}$ mennyiségének 50-60 %-át találjuk az első napokban kicserélhető formában a talajban, éspedig az $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -, ill. az NH_4NO_3 -kezelésekben. A karbamid nitrogénje szintén $\text{NH}_4\text{-N}$ formájában követhető nyomon és az átalakulása folyamatos. Az érlelés kezdetén a talajban kimutatott ásványi-N összes mennyisége a bevitt műtrágya-N 71 %-ának felel meg a $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 57 %-ának a $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 64 %-ának az NH_4NO_3 és kereken 13 %-ának a karbamid esetén. A karbamid N-jének nagyobb része tehát elillanást szenvedhetett, vagy általunk nem vizsgált más frakciókba épült be a talajban, mert mennyisége az érlelés 55. napján sem érte el az adottét (2. táblázat).

2. táblázat

A kísérlet meszes homoktalajának (Őrbottyán) NO₂-N, NO₃-N, NH₄-N és (NO₂+NO₃+NH₄)-N-tartalma (Talajérlelés 1991. máj. 16. -júl. 10. között, P- és K-kezelések átlagában)

(1) Napok száma	(2) Kontroll N ₀	(3) N formák				(4) Átlag
		Ca(NO ₃) ₂	(NH ₄) ₂ SO ₄	NH ₄ NO ₃	CO(NH ₂) ₂	
NO ₂ -N, ppm						
1	3	7	4	3	4	4
5	1	6	1	3	2	3
7	2	6	2	3	2	3
11	3	4	3	4	2	3
40	6	25	3	3	2	8
42	2	10	1	7	2	4
46	2	10	2	3	3	4
49	2	11	2	4	1	4
55	3	20	2	8	2	7
a) Átlag	3	11	2	4	2	4
NO ₃ -N, ppm						
1	4	167	4	84	3	52
5	3	165	3	83	4	52
7	5	169	5	95	5	56
11	4	185	3	87	4	57
40	2	181	2	92	6	57
42	4	341	7	174	4	106
46	4	335	3	164	2	102
49	3	335	2	160	1	100
55	14	342	7	174	6	108
a) Átlag	5	247	4	124	4	77
NH ₄ -N, ppm						
1	6	4	136	73	25	49
5	6	5	147	74	68	60
7	9	10	141	76	73	62
11	13	15	151	84	108	74
40	20	22	127	75	103	69
42	15	22	291	165	127	124
46	15	20	298	169	178	136
49	23	29	283	172	201	142
55	34	42	310	187	229	160
a) Átlag	16	19	210	119	124	97

2. táblázat folytatása

(1) Napok száma	(2) Kontroll N ₀	(3) N formák				(4) Átlag
		Ca(NO ₃) ₂	(NH ₄) ₂ SO ₄	NH ₄ NO ₃	CO(NH ₂) ₂	
(NH ₄ +NO ₂ +NO ₃)-N, ppm						
1	12	178	143	159	32	105
5	10	177	151	159	74	114
7	16	185	148	174	81	121
11	19	203	157	175	114	134
40	27	228	133	171	110	134
42	21	374	299	346	133	235
46	22	364	303	336	183	242
49	29	375	286	337	204	246
55	51	404	319	369	236	276
a) Átlag	23	277	215	247	130	178

Kezelésátlag SzD_{5%} értéke: 3 ppm NO₂-N, 12 ppm NO₃-N, 17 ppm NH₄-N, ill. 29 ppm (NH₄+NO₂+NO₃)-N

A *semlegeshez közeli vályogon* - amint a 3. táblázat adatai bizonyítják - az NH₄-N mennyisége 3-5 ppm átlagosan a kontroll- és a Ca(NO₃)₂-kezelés talajában és nem nő az idő előrehaladtával. Felére csökken az (NH₄)₂SO₄- és NH₄NO₃-kezelés NH₄-N-tartalma a 22. napon, kezdeti növekedést követően hasonlóan változik a karbamidkezelés NH₄-N készlete is 15 °C érlelésnél. 25 °C-on az átalakulások még intenzívebben mennek végbe, a NH₄-N mennyisége a trágyázatlan kontroll talajéhoz közelít a 22. napon. A NO₂-N koncentrációi érdemi, nagyságrendi módosulást nem szenvednek, a változások általában statisztikailag nem bizonyíthatók.

A nitrifikáció látványos és gyorsan zajlik, de a Ca(NO₃)₂-kezelés NO₃-N-készletét egyetlen műtrágya forma sem képes elérni 22 nap alatt. Megemlíthető, hogy a karbamid átalakulása, nitrifikációs rátája eléri, sőt meghaladja a (NH₄)₂SO₄ formáét. Az összes ásványi (NH₄+NO₂+NO₃)-N mennyisége közel álló 15 és 25 °C-on, ill. a kezeléseik készletében sem nagyok a különbségek. Átlagosan a bevitt N formák mintegy 80 %-át tudjuk nyomon követni talajvizsgálatokkal. Feltehető, hogy a N kisebb része mikrobiális úton immobilizálódott, esetleg az agyagásványok rácsaiba épült be (3. táblázat).

Savanyú homokon 25 °C-on történő érlelésnél viszonylag nagyobb NH₄-N-koncentrációk jelentkeztek a kontroll- és Ca(NO₃)₂-kezelés talajában, de az érlelés nem növelte készleteiket. A NH₄-N mennyisége alig változik az idő előrehaladásával az egyes kezeléseknél, ahol NH₄-N formát vagy karbamidot alkalmaztunk. A NO₂-N mennyiség a NO₃-N formával műtrágyázott talajokban emelkedett a 4-6 ppm átlagos tartományba, míg a kontroll és egyéb trágya-

3. táblázat

A kísérlet semleges vályog talajának (Martonvásár) $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ és $(\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_2 + \text{NO}_3)\text{-N}$ -tartalma 15 és 25 °C-on történő érleléskor (Talajérlelés 1992. március-április hóban, P- és K-kezelések átlagában)

(1) Napok száma	(2) Kontroll N_0	(3) N formák				(4) Átlag
		$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	NH_4NO_3	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	
$\text{NH}_4\text{-N}$, ppm, 15 ° C-on						
1	5	6	162	70	98	68
6	3	3	148	72	148	75
9	1	5	134	68	132	68
15	2	3	125	52	109	58
22	3	7	81	37	52	36
a) Átlag	3	5	130	60	108	61
$\text{NH}_4\text{-N}$, ppm, 25 ° C-on						
1	7	8	155	59	144	75
6	2	5	120	63	119	62
9	6	6	98	48	75	47
15	3	2	55	22	25	21
22	7	6	14	8	4	8
a) Átlag	5	5	88	40	73	43
$\text{NO}_2\text{-N}$, ppm, 15 ° C-on						
1	1	8	2	6	1	3
6	3	1	3	4	2	2
9	1	2	4	13	2	4
15	2	8	3	4	3	4
22	4	2	8	3	4	4
a) Átlag	2	4	4	6	2	3
$\text{NO}_2\text{-N}$, ppm, 25 ° C-on						
1	2	2	2	2	3	2
6	2	2	2	4	2	2
9	3	2	3	3	6	4
15	9	11	4	2	5	6
22	2	3	6	5	5	4
a) Átlag	4	4	3	3	4	4
$\text{NO}_3\text{-N}$, ppm, 15 ° C-on						
1	16	191	18	114	16	71
6	19	193	30	117	32	78
9	22	198	38	114	43	83
15	24	193	59	133	68	96
22	23	194	95	160	124	119
a) Átlag	21	194	48	128	57	89

3. táblázat folytatása

(1) Napok száma	(2) Kontroll N ₀	(3) N formák				(4) Átlag
		Ca(NO ₃) ₂	(NH ₄) ₂ SO ₄	NH ₄ NO ₃	CO(NH ₂) ₂	
NO₃-N, ppm, 25 ° C-on						
1	16	188	20	116	19	72
6	28	195	48	128	67	93
9	30	203	73	143	99	110
15	30	206	114	171	154	135
22	41	220	163	188	186	160
a) Átlag	29	202	84	149	103	114
(NH₄+NO₂+NO₃)-N, ppm, 15 ° C-on						
1	22	205	182	190	115	142
6	25	197	181	193	182	155
9	24	205	176	195	177	155
15	28	204	187	189	180	158
22	30	203	184	200	180	159
a) Átlag	26	203	182	193	167	154
(NH₄+NO₂+NO₃)-N, ppm, 25 ° C-on						
1	25	198	177	177	166	149
6	32	202	170	195	188	157
9	39	211	174	194	180	161
15	42	219	173	195	184	162
22	50	229	183	201	195	172
a) Átlag	38	212	175	192	182	160

Kezelésátlag SzD_{5%} értéke 15 °C-on: 7 ppm NH₄-N, 4 ppm NO₂-N, 8 ppm NO₃-N, ill. 14 ppm (NH₄+NO₃+NO₂)-N;

Kezelésátlag SzD_{5%} értéke 25 °C-on: 9 ppm NH₄-N, 2 ppm NO₂-N, 10 ppm NO₃-N, ill. 26 ppm (NH₄+NO₃+NO₂)-N.

formáknál 1 ppm alatt maradt. Megállapítható, hogy a nitrogén talajbani átalakulása gátolt, a nitrifikáció nem megy végbe (4. táblázat).

Erről tanúskodnak a 4. táblázat eredményei is. A NO₃-N mennyisége követi a trágyázás formáját és mennyiségét. Az (NH₄)₂SO₄- és CO(NH₂)₂-kezelések talajaiban a NO₃-N feldúsulása nem igazolható, bár tendenciájában megfigyelhető. Ami a talajban talált összes (NH₄+NO₂+NO₃)-N mennyiségét illeti, látható, hogy a műtrágyák formájától és az érlelési időtől szinte függetlenül közelálló az átlagos ásványi-N-készlet. Átlagosan a bevitt N mintegy 80-90 %-a található az általunk vizsgált frakciókban a talajban. A műtrágya-N kisebb része tehát nem volt nyomon követhető.

4. táblázat

A kísérlet savanyú homoktalajának (Nyírlugos) $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ és $(\text{NH}_4+\text{NO}_2+\text{NO}_3)\text{-N}$ -tartalma
(Talajérlelés 1993. november 2-23. között, P- és K-kezelések átlagában)

(1) Napok száma	(2) Kontroll N_0	(3) N formák				(4) Átlag
		$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	NH_4NO_3	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	
$\text{NH}_4\text{-N}$, ppm						
1	12	15	201	99	129	91
6	20	32	209	124	213	120
9	17	16	188	102	188	102
21	17	22	191	108	190	105
30	26	29	211	126	210	121
35	27	32	209	119	196	116
42	27	31	200	120	201	116
a) Átlag	21	25	201	114	190	110
$\text{NO}_2\text{-N}$, ppm						
1	0	4	0	1	0	1
6	1	11	2	7	1	4
9	0	2	0	2	0	1
21	0	3	0	4	0	1
30	0	4	0	4	1	2
35	0	12	0	4	0	3
42	1	9	0	3	1	3
a) Átlag	0	6	0	4	0	2
$\text{NO}_3\text{-N}$, ppm						
1	4	184	7	96	6	59
6	5	179	7	98	12	60
9	2	172	4	87	4	54
21	3	169	8	83	7	54
30	3	201	9	94	17	65
35	5	168	5	92	13	56
42	8	172	6	89	18	59
a) Átlag	4	178	7	91	11	58
$(\text{NH}_4+\text{NO}_2+\text{NO}_3)\text{-N}$, ppm						
1	16	203	208	196	135	151
6	26	222	218	229	226	184
9	19	190	192	191	192	157
21	20	194	199	195	197	160
30	29	234	220	224	228	188
35	32	212	214	215	209	175
42	36	212	206	212	220	178
a) Átlag	25	210	208	209	201	170

Kezelésátlag $\text{SzD}_{5\%}$ értéke: 16 ppm $\text{NH}_4\text{-N}$, 2 ppm $\text{NO}_2\text{-N}$, 14 ppm $\text{NO}_3\text{-N}$, ill. 29 ppm $(\text{NH}_4+\text{NO}_2+\text{NO}_3)\text{-N}$

A nyírlugosi savanyú homoktalajjal korábban LATKOVICSNÉ (1992) végzett laboratóriumi érleléses kísérleteket. A mintavétel az 5., 12., 19., 27., 48., 84. és 112. napon történt. A kontrolltalajon mérsékelt $\text{NH}_4\text{-N}$ és $\text{NO}_3\text{-N}$ növekedés volt megfigyelhető, míg az NH_4NO_3 formában adott N nem alakult át, az $\text{NH}_4\text{-N}$ forma nem nitrifikálódott. A szerves N-forrás nitrogénje viszont gyorsan lebomlott és látványosan növelte a talaj $\text{NO}_3\text{-N}$ -készletét. A műtrágya tehát nitrifikációt gátló hatású lehet ezen a talajon. Szabadföldi viszonyok között ez a gátlás csak helyileg és átmenetileg jelentkezhet, hiszen mérsékeltőbb adagokat alkalmazunk és a talaj képes pufferni a helyileg fellépő gátlást, savanyodást.

Az 5. táblázatban a P- és K-ellátottsági szintek N formákra gyakorolt hatását tekinthetjük át a három vizsgált talajon, a N-kezelések átlagaiban. A P- és K-trágyázás drasztikus módosulásokat nem okozott a N formákban. Igazolhatónak tűnik a P-trágyázás $\text{NH}_4\text{-N}$, ill. összes ásványi-N növelő hatása meszes homokon. Meggyőzőbben mindhárom talajon jelentkezett a K/ NH_4 ionantagonizmus, a K-ellátás növelésével csökken a talaj kicserélhető $\text{NH}_4\text{-N}$ -készlete. Mindez többé-kevésbé az összes ($\text{NH}_4\text{+NO}_2\text{+NO}_3$)-N mennyiségben is tükröződik.

5. táblázat

Talajérlelés különböző talajokkal 1991-1993 között
(N-kezelések és az érlelési időpontok átlagai)

(1) Talaj	P_2O_5 , mg/kg talajra			K_2O , mg/kg talajra			(2) SzD _{5%}	(3) Átlag
	0	500	1000	0	500	1000		
$\text{NH}_4\text{-N}$, ppm								
Mh	90	93	110	111	97	85	15	97
Sv	44	41	42	48	42	37	7	43
Sh	110	111	109	114	116	100	12	110
$\text{NO}_2\text{-N}$, ppm								
Mh	4	4	5	5	5	4	2	4
Sv	5	3	3	5	3	4	3	4
Sh	3	2	2	3	2	2	2	2
$\text{NO}_3\text{-N}$, ppm								
Mh	74	77	79	78	77	75	6	77
Sv	115	110	116	112	117	112	8	114
Sh	62	58	55	56	63	56	7	58
$(\text{NH}_4\text{+NO}_2\text{+NO}_3)\text{-N}$, ppm								
Mh	168	174	194	194	179	164	20	178
Sv	164	154	161	165	162	153	11	161
Sh	176	171	166	173	182	158	14	179

Talajok jelölése: Mh: meszes homoktalaj (Órbottyán); Sv: semleges vályogtalaj (Mar-tonvásár); Sh: savanyú homoktalaj (Nyírlugos)

Az érleléses vizsgálatokkal párhuzamosan lefolytatott *kukorica tenyész-edény-kísérletekben meszes homoktalajon* 1991-ben a legnagyobb szárazanyag-hozamokat az erősen savanyító hatású $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -kezelés adta, míg a $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ műtrágya hatástalan maradt. Az NH_4NO_3 és a karbamid forma közbülső helyet foglalt el. A 7 körüli $\text{pH}_{(\text{KCl})}$ nem változott a kezelések függvényében, a talaj mésztartalma ellenállt a savasodásnak. Az egyoldalú nagyobb P- és K-terhelés azonban hozamcsökkenéshez vezetett ezen a koloidszegény homokon. Megállapítottuk, hogy a gyakorlatban célszerű savanyúan ható, Ca-mentes N formák használata mérsékelt, közepes adagú P- és K-trágyázással kiegészítve.

Semleges vályogtalajon 1992-ben mind a 4 vizsgált N forma többszörösére növelte a hajtás tömegét, bár a $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ forma kevésbé bizonyult hatékonynak. A $\text{pH}_{(\text{KCl})}$ átlagosan 0,6 értékkel emelkedett a $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ -kezelésben és 1,4 értékkel süllyedt a $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -trágyázás nyomán erősen savanyú 4,4 középértéket mutatva. Nem jelentkezett az extrém P- és K-adagok negatív hatása sem. A kolloidban gazdag vályog képes volt a túltrágyázás által kiváltott ionstresszt pufferni, bár a N formák 2,0 $\text{pH}_{(\text{KCl})}$ -változást indukáltak a talajban. A gyakorlatban tehát alkalmazható a feltöltő vagy készlet-P- és -K-trágyázás, a forgó trágyázása. A N formák megválasztása is kisebb jelentőséggel bír, bár a Ca-tartalmú N forma használata rövid távon előnytelen.

Savanyú homoktalajon 1993-ban az $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ forma a növények pusztulásához vezetett, a $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ - és NH_4NO_3 -trágyák hatása elmaradt, csak a karbamid lúgosító műtrágya többszörözte meg a kukorica hajtásának tömegét. A P- és K-kínálat a N formák negatív hatásait nem tudta mérsékelni. A $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ műtrágyázás következtében a talaj erősen elsavanyodott, a $\text{pH}_{(\text{KCl})}$ 4,7-ről 3,8-ra süllyedt, míg a karbamidos kezelésben átlagosan 5,7-re emelkedett. A $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ -műtrágya ugyan néhányszorosára növelte a hajtás Ca %-át, de a talaj pH-t nem volt képes érdemben módosítani. A talaj termékenységének megőrzése a meszeztést és a kiegyensúlyozott tápelemellátást egyaránt igényli.

Összefoglalás

Érleléses kísérletben $5 \text{ N} \times 3 \text{ P} \times 3 \text{ K} = 45$ kezeléssel, 3 ismétlésben, összesen 135 edényben vizsgáltuk a $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, NH_4NO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ és $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ műtrágyák talajbani átalakulását eltérő P- és K-ellátottságon, három különböző talajon. A N formák adagja egységesen 500 mg N/kg, a P- és K-adagja 0, 500, 1000 mg P_2O_5 ill. K_2O /kg $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, ill. K_2SO_4 alakjában bekeverve. Az érlelés általában 25 °C-on, a semleges vályogon 15 és 25 °C-on történt maximumálisan 55 napig. A *semlegeshez közeli vályogtalaj* jellemzői: humusz: 2,6 %; $\text{pH}_{(\text{KCl})}$: 5,8; $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$: 6,6, foszforral gyengén, egyéb tápelemekkel kielégítően ellátott. A *meszes homoktalaj* jellemzői: humusz: 1 %; CaCO_3 : 4 %; $\text{pH}_{(\text{KCl})}$: 7,0; $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$: 7,7; N és K elemekkel gyengén ellátott. A *savanyú homoktalaj* jellemzői: humusz: 0,5 %; $\text{pH}_{(\text{KCl})}$: 4,7; $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$: 5,5; y_1 : 7,0; N, K, Ca és Mg elemekkel egyaránt gyengén ellátott. A talajokat a szántóföldi vízkapacitás 70 %-áig nedvesítettük.

Az inkubációs vizsgálatok főbb eredményei az alábbiakban foglalhatók össze:

1. Meszes homokon 1991-ben a növényre károsnak minősült $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ hatására többszörösére dúsult a $\text{NO}_2\text{-N}$ mennyisége a 40. nap után. A műtrágyával bevitt $\text{NO}_3\text{-N}$, ill. $\text{NH}_4\text{-N}$ közel 2/3-a mutatható ki az érlelés első napjaiban a talajban. A kimutatott $\text{NO}_3\text{-N}$ - és $\text{NH}_4\text{-N}$ -koncentrációk az eredeti műtrágya formákat tükrözték, nitrifikáció nem ment végbe. Az érlelés kezdetén a talaj összes ásványi ($\text{NH}_4+\text{NO}_2+\text{NO}_3$)-N növekménye az adott N 71 %-ának felelt meg a $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 57 %-nak az $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 64 %-nak az NH_4NO_3 és 13 %-nak a karbamid esetében.

2. Semlegeshez közeli vályogon a nitrifikáció látványos és gyors, különösen 25 °C-on, de nem fejeződik be az érlelés 22 napja alatt. A karbamid nitrifikációs rátája meghaladja az $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ formáét. A kimutatott összes ásványi ($\text{NH}_4+\text{NO}_2+\text{NO}_3$)-N mennyisége közelálló volt 15 és 25 °C-on és a kezelések között. A bevitt N formák mintegy 80 %-át tudtuk nyomon követni talajvizsgálatokkal az érlelés elején és végén egyaránt.

3. Savanyú homokon a nitrifikáció nem ment végbe, a $\text{NO}_3\text{-N}$ és $\text{NH}_4\text{-N}$ formák dúsulása a műtrágyakezeléseknek felelt meg. A talajban kimutatott összes ásványi ($\text{NH}_4+\text{NO}_2+\text{NO}_3$)-N mennyisége a műtrágya formától és az érlelési időtől szinte függetlenül közelálló és az adott N 80-90 %-át teszi ki. A műtrágya-N kisebb részét tehát nem tudtuk nyomon követni a talajban, mely általunk nem vizsgált frakciókba épülhetett a talajban, esetleg elillanást szenvedett.

4. A P- és K-trágyázás mérsékelten módosította a nitrogén talajbani átalakulását. Meszes homokon a P-ellátással nőtt az $\text{NH}_4\text{-N}$ koncentrációja, valamint mindhárom talajon a K-trágyázás csökkentette a talaj $\text{NH}_4\text{-N}$ mennyiségét, feltehetően a K/ NH_4 ionantagonizmus hatására. Ezek a változások statisztikailag is igazolhatók.

5. Az azonos kezelésekkel párhuzamosan folytatott kukorica tenyészfedénykísérletek eredményei alátámasztották az inkubációs vizsgálatok eredményeit. Meszes homokon célszerű Ca-mentes savanyúan ható N-műtrágyák használata mérsékelt P- és K-trágyázással egybekötve. Semlegeshez közeli vályogon követhető a feltöltő P- és K-trágyázás, a forgó trágyázása, míg a N formák megválasztása kisebb jelentőséggel bír. Savanyú, ill. a már erősen elsavanyodott homoktalajon a $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ -műtrágya a pH-t nem képes módosítani, a karbamid viszont igen. Itt szükséges az erősen lúgosító műtrágyák használata, ill. a meszezés, kiegyensúlyozott P- és K-ellátással együtt. Szabadföldön egy nagyságrenddel kisebb műtrágyaadagokat keverünk a szántott rétegbe, a nitrifikáció gátlása csak helyileg és átmenetileg jelentkezhet meszes homokon.

Irodalom

- BALLENEGGER R. & MADOS L. (Szerk.), 1944. Talajvizsgáló módszertan. MÁFI. Budapest.
- GYÓRI D., 1984. A talaj termékenysége. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- KÁDÁR I., 1992. A növénytáplálás alapelvei és módszerei. MTA TAKI. Budapest.
- KÁDÁR I. & PUSZTAI A., 1997a. N-műtrágyák hatásának vizsgálata tenyészedény-kísérletekben I. Meszes homoktalaj (Órbottyán). *Agrokémia és Talajtan.* 46. 217-230.
- KÁDÁR I. & PUSZTAI A., 1997b. N-műtrágyák hatásának vizsgálata tenyészedény-kísérletekben II. Semleges vályog talaj (Martonvásár). *Agrokémia és Talajtan.* 46. 231-244.
- KÁDÁR I. & PUSZTAI A., 1997c. N-műtrágyák hatásának vizsgálata tenyészedény-kísérletekben III. Savanyú homoktalaj (Nyírlugos). *Agrokémia és Talajtan.* 46. 245-258.
- LATKOVICS GY-NÉ, 1979. A nitrogénműtrágya hatása a termésre és a talaj termékenységre. In: Az intenzív műtrágyázás hatása a talaj termékenységre. Ankét. 37-71. MTA TAKI. Budapest.
- LATKOVICS GY-NÉ, 1982. A nitrogén átalakulása és mozgása a talajban. Akadémiai Doktori Disszertáció. Budapest.
- LATKOVICS GY-NÉ, 1992. A nyírlugosi talaj $\text{NO}_3\text{-N}$ és kicserélhető $\text{NH}_4\text{-N}$ tartalmának vizsgálata érleléses kísérletben. In: KÁDÁR I. & SZEMES I.: A nyírlugosi tartam-kísérlet 30 éve. 212-213. MTA TAKI. Budapest.
- LOCH J. & NOSTICZIUS Á., 1983. Alkalmazott kémia. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- NÉMETH, T., 1995. Nitrogen in Hungarian soils - Nitrogen management in relation to groundwater protection. *J. Contam. Hydrol.* 20. 185-208.
- NÉMETH T., 1996. Talajaink szervesanyag-tartalma és nitrogénforgalma. MTA TAKI. Budapest.
- NÉMETH, T. et al., 1993. Study of the ammonium-N and nitrate-N contents of different soils during incubation. *Agrokémia és Talajtan.* 42. 173-178.
- NÉMETH, T. et al., 1996. Effect of plant residues on ammonium and nitrate content of soils during incubation. In: Progress in Nitrogen Cycling Studies. (Eds.: VAN CLEEMPUT, O. et al.) 109-114. Kluwer Academic Publ. The Netherlands.
- SARKADI J., 1975. A műtrágyaigény becslésének módszerei. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.

Érkezett: 1997. május 2.

Study on the Transformation of N Fertilizers in Soil Incubation Experiments

I. KÁDÁR and A. PUSZTAI

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

Summary

In an incubation experiment with $5 \text{ N} \times 3 \text{ P} \times 3 \text{ K} = 45$ treatments in three replications, making a total of 135 pots, the transformation of $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NH_4NO_3 and $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ fertilizers in the soil was examined at various P and K supply levels in three different soils. The soils were: acidic sandy brown forest soil with thin interstratified layers of colloid and sesquioxide accumulation (Nyírlugos), moderately humous calcareous sandy soil (Órbottyán) and chernozem soil with forest residues (Martonvásár). The N forms were all applied at a rate of 500 mg N/kg, while the P and K rates were 0, 500 and 1000 mg P_2O_5 or K_2O /kg in the form of $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ and K_2SO_4 , respectively. Incubation was usually carried out at 25 °C (in the neutral loam at 15 and 25 °C) for a maximum of 55 days.

The characteristics of the *near-neutral loamy soil* (Martonvásár) were as follows: humus 2.6%, $\text{pH}_{(\text{KCl})}$ 5.8, $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$ 6.6, poorly supplied with P, with satisfactory supplies of other nutrients; the *calcareous sandy soil* (Órbottyán): 1% humus, 4% CaCO_3 , $\text{pH}_{(\text{KCl})}$ 7.0, $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$ 7.7, with poor supplies of N and K; the *acidic sandy soil* (Nyírlugos): 0.5% humus, $\text{pH}_{(\text{KCl})}$ 4.7, $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$ 5.5, $y_1 = 7.0$, poorly supplied with N, K, Ca and Mg. The soils were moistened to 70% field water capacity.

The major results of the incubation experiments can be summarized as follows:

1. On the calcareous sandy soil (Órbottyán) in 1991 the application of $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, which was found to cause damage to the plants, led to an enormous increase in the quantity of $\text{NO}_2\text{-N}$ after the 40th day. Approximately two-thirds of the $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ added as fertilizer could be demonstrated in the soil during the first few days of the incubation. The $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ concentrations recorded reflected the original fertilizer forms, indicating the absence of nitrification. At the start of the incubation the total increment in mineral ($\text{NH}_4 + \text{NO}_2 + \text{NO}_3$)-N amounted to 71% of the added N in the case of $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 57% for $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 64% for NH_4NO_3 and 13% for carbamide.

2. In the near-neutral loamy soil (Martonvásár) nitrification took place extremely rapidly, especially at 25 °C, but was still not complete on the 22nd day of incubation. The nitrification rate of carbamide was greater than that of $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. The total quantity of mineral ($\text{NH}_4 + \text{NO}_2 + \text{NO}_3$)-N was much the same at 15 and 25 °C and for the various treatments. Some 80% of the N forms added could be traced through soil analyses both at the beginning and end of incubation.

3. In the acidic sandy soil (Nyírlugos) no nitrification was observed; the accumulation of $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ forms corresponded to the fertilizer treatments. The total quantity of mineral ($\text{NH}_4 + \text{NO}_2 + \text{NO}_3$)-N demonstrated in the soil was

much the same irrespective of fertilizer forms and incubation times and made up 80-90% of the added N. This means that a small quantity of the fertilizer N could not be traced in the soil, indicating that it was either incorporated into soil fractions not included in the present examinations, or evaporated into the atmosphere.

4. P and K fertilization had a moderate effect on the transformation of N in the soil. In the calcareous sandy soil (Órbottyán) P application increased the $\text{NH}_4\text{-N}$ concentration, while in all three soils K fertilization reduced the $\text{NH}_4\text{-N}$ quantity, probably due to the K/NH_4 ion antagonism. These changes were statistically significant.

5. The results of pot experiments on maize carried out using the same treatments confirmed the results of the incubation experiments.

On calcareous sandy soil (Órbottyán) it is advisable to apply Ca-free N forms with an acidifying effect, supplemented with moderate P and K fertilization.

On neutral loamy soil (Martonvásár) P and K should be replenished by fertilizing the crop sequence, but it is less important which N form is chosen.

On acidic or already intensely acidified sandy soil (Nyírlugos) $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ fertilizer was unable to modify the soil pH. This was only possible using carbamide. The application of strongly alkalizing fertilizers is recommended, together with liming and balanced P and K supplies.

In the field the fertilizer rates added to the ploughed layer are an order of magnitude lower. The inhibition of nitrification is only likely to occur in places for a short period on calcareous sand.

Table 1. Major physical and chemical properties of the experimental soils. (1) Soil properties. a) Physical sand, b) Physical clay, c) Upper limit of plasticity according to Arany (K_A), d) Humus, %. AL-oldható = Ammonium-lactate soluble. (2) Site of origin of the experimental soils. Experimental sites: Nyírlugos: Sandy brown forest soil with thin interstratified layers of colloid and sesquioxide accumulation, acidic sand poor in humus (Eastern Hungary). Órbottyán: Moderately humuous calcareous sand (Region between the Danube and the Tisza). Martonvásár: Chernozem soil with forest residues, loamy soil (Transdanubia).

Table 2. The $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$ and total ($\text{NO}_2 + \text{NO}_3 + \text{NH}_4$)-N content of the calcareous sandy soil (Órbottyán) used in the soil incubation experiment. (Soil incubation from May 16 to July 10, 1991, averaged over P and K treatments.) (1) Number of days. a) Mean. (2) Control. (3) N forms. (4) Mean. Remarks: $\text{LSD}_{5\%}$ for treatment mean is: 3 ppm $\text{NO}_2\text{-N}$, 12 ppm $\text{NO}_3\text{-N}$, 17 ppm $\text{NH}_4\text{-N}$ and 29 ppm ($\text{NO}_2 + \text{NO}_3 + \text{NH}_4$)-N.

Table 3. The $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ and total ($\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_2 + \text{NO}_3$)-N content of the neutral loamy soil (Martonvásár) used in the soil incubation experiment. (Soil incubation in March and April 1992, averaged over P and K treatments.) (1) Number of days. a) Mean. (2) Control. (3) N forms. (4) Mean. Remarks: $\text{LSD}_{5\%}$ for treatment mean at 15 °C is: 4 ppm $\text{NO}_2\text{-N}$, 8 ppm $\text{NO}_3\text{-N}$, 7 ppm $\text{NH}_4\text{-N}$ and 14 ppm ($\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_2 + \text{NO}_3$)-N. $\text{LSD}_{5\%}$ for treatment mean at 25 °C is: 2 ppm $\text{NO}_2\text{-N}$, 10 ppm $\text{NO}_3\text{-N}$, 9 ppm $\text{NH}_4\text{-N}$ and 26 ppm ($\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_2 + \text{NO}_3$)-N.

Table 4. The $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ and total ($\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_2 + \text{NO}_3$)-N content of the acidic sandy soil (Nyírlugos) used in the soil incubation experiment. (Soil incubation between Nov. 2 and 23, 1993, averaged over P and K treatments.) (1)

Number of days. a) Mean. (2) Control. (3) N forms. (4) Mean. Remarks: $LSD_{5\%}$ for treatment mean is: 16 ppm NH_4-N , 2 ppm NO_2-N , 14 ppm NO_3-N , and 29 ppm $(NH_4 + NO_2 + NO_3)-N$.

Table 5. Soil incubation experiment on various soils between 1991 and 1993 (averaged over N treatments and incubation periods). (1) Soils. (2) $LSD_{5\%}$. (3) Mean. Soils: Mh: calcareous sandy soil (Órbottyán), Sv: neutral loamy soil (Martonvásár), Sh: acidic sandy soil (Nyírlugos).