

## Nitrogén-forgalmi vizsgálatok mészlepedékes csernozjom talajon modellkísérletben

PUSZTAI ANTAL és KÁDÁR IMRE

*MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest*

Talajaink tápanyagállapotában és termékenységében nagyobb változások történtek az elmúlt 15—20 év során, mint az ezt megelőző hosszú évszázadok alatt. Ez a rohamos fejlődés elsősorban az intenzív műtrágyázással kapcsolatos és nem problémamentes. A rendszeres és nagymérvű foszfor, valamint kálium műtrágyázás jelentősen megváltoztatta a talajok eredeti ellátottságát. A P és K felhalmozódott talajainkban, talajvizsgálatokkal ez a folyamat jól követhetővé vált és alapul szolgálhatott a műtrágya elosztáshoz, a szaktanácsadáshoz. Az intenzív műtrágyázás harmadik fő eleme a nitrogén. A nitrogén-műtrágyázás gyakorlata, tudományos szempontból, talán a legkevésbé megalapozott, annak ellenére, hogy a környezetre — a talajra és a növényre — gyakorolt sokoldalú hatásának figyelembevételét nemcsak a mezőgazdasági gyakorlat igényli, hanem nélkülözhetetlen a modern környezetvédelem szempontjából is.

Egyre több hazai kísérleti adat, megfigyelés utal arra, hogy az intenzív NPK műtrágyázás olyan mérvű beavatkozást jelent a talajba, amely jelentősen megváltoztathatja annak fizikai, kémiai, biológiai tulajdonságait. Ion-antagonizmusok és szinergizmusok révén, a talaj reakcióállapotán keresztül megváltoztathatja más fontos makro- és mikroelemek felvételét a növényben, oldhatósági viszonyait a talajban, [36, 48, 49] és termésnövekedéshez is vezethet [14, 19, 23, 24, 34, 35]. Ahhoz, hogy e változások irányát, mennyiségi és minőségi oldalait kellően felmérjük, az egyes tápelemek ilyenirányú hatásait elkülönítsük, a nitrogén hatásmechanizmusának a talaj foszfor, és káliumellátottságával való összefüggéseit bemutassuk, új típusú modellkísérlet beállítása vált szükségessé. Tenyészedény kísérletünkben olyan eltérő N, P és K ellátottsági szinteket és azok kombinációit hoztuk létre a talajban feltöltő trágyázással, amelyek részben a nagyüzemeink gyakorlatában is megtalálhatók, vagy a jövőben esetleg előfordulhatnak.

Tekintettel arra, hogy az intenzív műtrágyázás bevezetése még a fejlett mezőgazdasággal rendelkező országokban is csak a II. Világháború utáni években kezdődött, így az előzőekben felvetett problémák kutatása is meglehetősen újabb keletű, amely a külföldi irodalom tanulmányozásában is visszatükröződik. A foszfor-műtrágyázás, illetve a talaj P-ellátottsága és a N-forgalom összefüggéseire többen utalnak [5, 26, 47, 55, 68]. Így pl. PURCHASE [47] kimutatta, hogy P-hiányos talajon csökken a nitrifikáció,

mert a nitritoxidáló baktériumok tevékenységéhez kielégítő foszfor ellátottságra van szükség. BARSCSAK [5] kísérletében a szuperfoszfát alkalmazása a talaj pH-ját csökkentve a nitrifikációt is gátolta. FLEIGE et al. [16] szerint a talajoldat nagy  $\text{NH}_4$  koncentrációja azért vezet a nitrifikáció gátlásához, mert közbülső terméként keletkező  $\text{NO}_2\text{-N}$  halmozódik fel és erős elsavanyodást okoz. Amint arra többen rámutattak, az elsavanyodás önmagában is megakadályozza az erőteljesebb nitrifikáció kifejlődését [11, 18, 27, 28, 29] SCHENK és WEHRMANN [55] azt találta, hogy a közeg növekvő  $\text{NH}_4$ -tartalma a P és K felvételét visszavetheti, mert csökken a gyökér adszorbeáló képessége. VINES és WEDDING [68] a növekvő  $\text{NH}_4$ -koncentráció és a csökkenő P-felvétel összefüggéseit konstatálva megállapítja, hogy ez az összefüggés a gyökérlégzés gátlásán keresztül érvényesül. Az említett szerzők adatai arra utalnak, hogy nemcsak a közeg P(K)-ellátottsági szintje befolyásolhatja a növényi N-felvételt, hanem a talaj N-ellátottsága is visszahat a P és K felvételére.

Az  $\text{NH}_4^+$  és a  $\text{K}^+$  kationok, valamint a  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  és a  $\text{NO}_3^-$  anionok közötti konkurrencia-viszonyok régóta ismeretesek a növényi tápanyagfelvételben, a talaj szerves- és szervesetlen kolloidjainak felszínén végmenő adszorbeációs folyamatokban. A kálium-műtrágyázás, illetve a talaj K-ellátottsága és a N-forgalom kapcsolatát taglalva elsősorban a  $\text{K}^+$ -ionnak a kötött  $\text{NH}_4\text{-N}$  felvehetőségére gyakorolt hatását emelik ki [27, 30, 32, 37, 40, 42, 44, 45, 46, 50, 56, 57, 58, 64]. A hivatkozott szerzők szerint az előre adott K-trágyázás általában csökkenti a N fixációját. Ugyanakkor a N-trágyázást követő, vagy azzal együtt végzett K-adagolás elősegítheti a megkötődést és ezzel gátolhatja a növények N-felvételét [1, 3, 6, 51, 59].

A talajok kötött vagy fixált ammónium tartalmának meghatározására irányuló kutatások századunk 50-es éveitől vettek lendületet (ALLISON et al. [3]), majd az ezt követő időben kiteljesedtek, bővült a vizsgálatba vont talajok száma és gazdagodott a módszertan [12, 16, 30, 38, 39, 54]. Az irodalomban ma már számos adatot találunk arra vonatkozólag, hogy a talaj kötött ammónia tartalmát, illetve a N-trágya ilyen irányú fixációját, mely talajtényezők befolyásolják. Anélkül, hogy részleteznénk különböző szerzők idevágó közléseit megemlíthetjük, hogy a talaj típusa, agyagásvány összetétele, pH értéke, kationkicszerelő kapacitása és telítettsége, nedvességtartalma, szerves anyagban való gazdagsága, kálium-ellátottsága, valamint a vizsgálat időpontja is e szóban forgó faktorok között található [1, 2, 3, 4, 8, 11, 18, 22, 27, 32, 50, 69].

A „kötött” vagy „fixált” nitrogén tartalom nem állandó a talajban, az ökológiai feltételektől függően változik és kisebb-nagyobb része felvehető lehet a növények számára (pl. BASKIN és KUDEJAROV [7]). E nitrogénforma fixációs kapacitását a tápelemek közül csökkentheti a  $\text{K}^+$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{Rb}^+$ ,  $\text{Ba}^+$ ,  $\text{La}^+$ , míg a  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  és a  $\text{Na}^+$  növelheti [50]). Vizsgálatainkban a talaj nitrogén-, foszfor- és kálium-ellátottságainak, illetve az intenzív műtrágyázásnak ilyen irányú hatásait próbáltuk meg figyelemmel kísérni.

### Kísérleti rész

Tenyészedény kísérletünket 1978-ban állítottuk be egy löszön képződött mezőföldi mészlepedékes csernozjom talajjal, *MV-SC 580* fajtájú kukoricával. A kukoricát 6-leveles korig, kb. 25—30 cm magasságig neveltük, majd

1. táblázat

A kísérletben összesen adott tápelemek mennyiségei  
a két növedék tenyészideje alatt, 1978

NPK szintek	0	1	2	3	0	1	2	3
	mg/kg talajra számítva				mg/edényre számítva			
N	—	480	960	1440	—	864	1728	2592
P	—	218	436	654	—	392	785	1177
K	—	415	830	1245	—	747	1494	2241
(Ca)	—	254	508	762	—	457	914	1371

meghatároztuk a növényminták súlyát és ásványi tápelemtartalmát. Edényenként 1,8 kg talajban 5—5 növényt hagyunk meg. A növénykísérletet megismételtük. Növényvizsgálati- és termésadataink a két növedék összegére, illetve átlagára vonatkoznak. A két növedék betakarítása után az edények talaját átrostáltuk, eltávolítva a nagyobb gyökérmaradványokat, és átlagmintákat vettünk. A talajmintákban meghatároztuk az AL-oldható PK tartalmat (SARKADI et al. [53]), a BREMNER-féle kicserélhető  $\text{NH}_4\text{-N}$  és  $\text{NO}_3\text{-N}$  mennyiségét (VARGA [66] szerint).

A kiindulási talaj 5%  $\text{CaCO}_3$ -ot és 3% humuszt tartalmazott. A MÉM NAK által elfogadott módszerek és előzetes határértékek alapján igen jó mangán-, kielégítő magnézium- és réz-, közepes nitrogén és kálium-, valamint gyenge foszfor- és cink- ellátottsággal rendelkezik (Műtrágyázási irányelvek [41]). A tápanyagokat  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{KHCO}_3$  és  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  alakjában kevertük a talajba, hogy elkerüljük a szokásos műtrágyák alkalmazásakor fellépő erősebb savanyító hatásokat, illetve a vivőanyagok zavaró befolyását. Méréseink szerint az egyes kezelések között a kísérletek végén, a mérés hibáját meg nem haladó  $\pm 0,1$  értékű pH eltéréseket tapasztaltunk, elsavanyodás nem következett be.

Kísérletünk 4<sup>3</sup> típusú, 64 kezeléssel kísért, 2 ismétléssel, összesen 128 edénnyel, melyben mindhárom fő tápelemet 4—4 szinten alkalmaztuk. A P és K szinteket egyszeri feltöltéssel állítottuk be, míg a N szinteket kéthetenkénti trágyázással tartottuk fenn.

Az említett kísérleti tervvel sikerült olyan megbízható többtényezős modellkísérletet nyernünk, mellyel a finomabb kölcsönhatások is vizsgálhatókká váltak, illetve az irodalomban közölt ilyen irányú kísérletek [20, 21, 28, 29, 31]. teljesítőképességét, megbízhatóságát és informatív jellegét reprodukálhattuk. A kísérletben alkalmazott hatóanyagok mennyiségeit az 1. táblázatban mutatjuk be mg/kg talajra, illetve mg/edényre, elemre számítva. Zárójelben feltüntettük azt a Ca mennyiséget is, melyet a P-szintek kialakításához mint vivőanyagot felhasználtunk. A kísérlet tervezésében és az eredmények statisztikai kiértékelésében WELISCH PÉTER nyújtott segítséget. A talaj- és növényvizsgálatok adatait egységesen elembe kifejezve közöljük.

*A kukorica termése és tápanyagtartalma*

Tekintettel arra, hogy a tápelem szintek hatásainak és kölcsönhatásainak iránya a 6 leveles kukorica szárazanyag-hozamára, mindkét kísérletben megegyező vagy hasonló volt, így a 2. táblázatban a két növedék összegezett adatait mutatjuk be kezelésként. A kukorica fejlődésében, növekedésében

2. táblázat

Az NPK szintek hatása a 6 leveles kukorica két növedékének kumulatív szárazanyag-hozamára, g/edény, 1978

(1) NP szintek	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	SzD <sub>s</sub> %	(2) Átlag
<b>P<sub>0</sub> szinten</b>						
N <sub>0</sub>	3,16	3,98	4,38	3,92		3,86
N <sub>1</sub>	8,02	11,02	9,76	8,54		9,34
N <sub>2</sub>	7,08	10,02	12,12	8,54		9,44
N <sub>3</sub>	4,42	7,20	7,44	7,08		6,54
<b>P<sub>1</sub> szinten</b>						
N <sub>0</sub>	3,32	3,32	5,22	4,76		4,16
N <sub>1</sub>	8,22	7,68	8,40	7,62		7,98
N <sub>2</sub>	13,04	15,02	14,66	12,28		13,75
N <sub>3</sub>	12,82	13,22	13,20	11,56		12,70
<b>P<sub>2</sub> szinten</b>					4,46	
N <sub>0</sub>	2,08	4,28	4,06	4,74		4,04
N <sub>1</sub>	8,62	8,14	8,18	7,02		7,99
N <sub>2</sub>	13,96	14,96	16,06	18,26		15,81
N <sub>3</sub>	12,92	12,60	15,36	16,32		14,30
<b>P<sub>3</sub> szinten</b>						
N <sub>0</sub>	4,46	4,66	5,56	5,46		5,04
N <sub>1</sub>	7,88	8,02	8,40	9,46		8,44
N <sub>2</sub>	14,02	15,60	17,98	15,18		15,70
N <sub>3</sub>	12,02	11,36	22,32	15,80		15,38
<b>a) P-átlagában</b>						
N <sub>0</sub>	3,51	4,06	4,81	4,72		4,28
N <sub>1</sub>	8,19	8,72	8,69	8,16	2,24	8,44
N <sub>2</sub>	12,03	13,90	15,21	13,57		13,68
N <sub>3</sub>	10,55	11,10	14,58	12,69		12,23
<b>b) N-átlagában</b>						
P <sub>0</sub>	5,67	8,06	8,43	7,02		7,30
P <sub>1</sub>	9,35	9,81	10,37	9,06	2,24	9,65
P <sub>2</sub>	9,65	10,00	10,92	11,59		10,54
P <sub>3</sub>	9,60	9,91	13,57	11,48		11,14
SzD <sub>s</sub> %		2,24				1,12
<b>c) Átlag</b>	8,57	9,45	10,82	9,79	1,12	9,66

és a növény színében igen nagy különbségeket figyeltünk meg a vegetáció folyamán. Jól kifejezett nitrogén, foszfor és enyhe cink hiánytüneteket tapasztaltunk. A N hiánytünetek különösen az egyoldalú P-ral, a P hiánytünetek különösen az egyoldalú N-nel, a Zn hiánya pedig az egyoldalú P-ral igen jól ellátott edények növényeiben lépett fel. Megfigyeléseinket a későbbiekben végzett növényelemzések eredményei alátámasztották.

A szárazanyag-hozam eredményeit vágásonként külön-külön és együttesen is kiértékeljük varianciaanalízissel. Az első növedékben a trágyahatások még kevésbé voltak kifejezettek mint a másodikban, így a két vágás összevont variancia-analízisében a Vágás x Fő- és kölcsönhatások szignifikánsak. Maguknak a hatásoknak és kölcsönhatásoknak az iránya azonban a két vágásban nem változott. Az összevont értékelésben mindhárom fő tápelem főhatása 99,9%-os szinten bizonyítható, de statisztikailag igazolható az N×P kölcsönhatás is. Amint ugyanis a 2. táblázatból kitűnik, a talaj javuló P-ellátottsága N-trágyázás nélkül alig emelte a termést. A legmagasabb P-szintek enyhe Zn-hiányt indukáltak, de még nem vezettek termésesökkenéshez 6-



3. táblázat

Az N és P szintek hatása a 6 leveles kukorica N% tartalmára, valamint N/P arányára a két növedék átlagában, 1978

(1) P-szintek	N <sub>0</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	SzD <sub>s</sub> %	(2) Átlag
a) N%, K-átlagában						
P <sub>0</sub>	0,89	1,76	2,51	2,91		2,02
P <sub>1</sub>	1,25	1,81	2,75	3,15	0,29	2,24
P <sub>2</sub>	1,09	1,67	2,83	3,24		2,21
P <sub>3</sub>	1,32	2,09	3,08	3,20		2,42
SzD <sub>s</sub> %		0,29				0,15
b) Átlag	1,14	1,83	2,79	3,13	0,15	2,22
c) N/P arány, K-átlagában						
P <sub>0</sub>	6,0	14,2	20,1	18,9		14,8
P <sub>1</sub>	3,2	6,1	10,9	12,9		8,3
P <sub>2</sub>	2,4	4,5	9,2	10,8		6,7
P <sub>3</sub>	2,6	4,7	8,4	10,3		6,5
b) Átlag	3,6	7,4	12,1	13,2		9,1

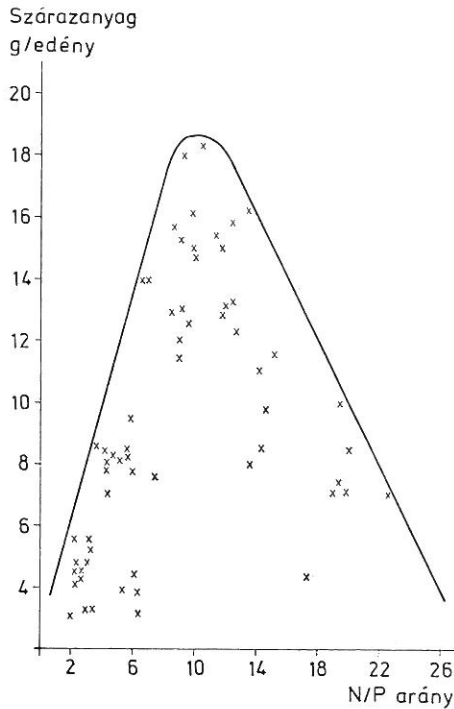
leveles korban. Ezzel szemben a legnagyobb N szinten már igazolható, míg a legnagyobb K szinten közel szignifikáns terméscsökkenés következett be. A kontrollhoz viszonyítva, a legkedvezőbb NPK-ellátottsági szinteken és optimális kombinációiban a termést 5-7-szeresére sikerült növelni. Legkifejezettebb hatása a N-nek volt, különösen P mellett. A K-hatások meglehetősen mérsékeltek voltak.

Az N és P szinteknek a 6-leveles kukorica N% tartalmára, valamint az N/P arányára gyakorolt hatásáról tájékoztat a 3. táblázat. Az adatokat a két növedék és a K kezelések átlagában tüntetjük fel, mivel a K ilyen irányú hatása nem volt kifejezett, a kölcsönhatások elhanyagolhatók voltak. Az N-trágyázás átlagosan megháromszorozta a kukorica N-tartalmát, növelte azonban a P-trágyázás is, átlagosan mintegy 20%-kal. Mint ismeretes, a fotoszintézis P-igényes folyamat, a növényi fehérjék képződéséhez a P elengedhetetlen. A talaj P-ellátottságának foka alapvetően befolyásolta a N-trágyák hasznosulását is. Így pl. a nitrogénnel trágyázott edényekben, az átlagosan adott 960 mg/kg talaj, illetve 1728 mg/edény N mennyiségének a P<sub>0</sub>-ellátottságon 14,2; a P<sub>1</sub>-ellátottságon 18,3; a P<sub>2</sub>-ellátottságon 20,0; míg a P<sub>3</sub>-szinteken 22,4%-át vették fel a növények, a két növedék és az NK-kezelések átlagában (lásd még 8. és 9. táblázat).

Ugyanezen a P-szegény mészlepedékes talajon korábban végzett szabadföldi kísérletünkben, ahol a jelzőnövény szintén kukorica volt, megállapítottuk, hogy a talaj P-ellátottságának emelkedése nemcsak a N felvételét segíti elő, hanem a növényen belüli érvényesülését is, beépülését az aminosav-szintézisbe. Hasonló adatokat nyertünk az őszi búzánál is (ELEK et al. [15]).

Amennyiben a 6 leveles kukorica N% tartalmait összevetjük az irodalmi optimumokkal, levéldiagnosztikai szempontból igen alacsony ellátottságot találunk még a nitrogénnel bőségesen trágyázott edények növényeiben is. BERGMANN és NEUBERT [10] által összeállított optimumok szerint a 6-leveles kukorica akkor ellátott kielégítően N-nel, ha az N% tartalma 3,5-5% között ingadozik. A már hivatkozott szabadföldi kísérletünkben ezeket a

határértékeket, e talajon is elfogadhatónak találtuk [23]. A tenyészedény kísérletben kapott alacsonyabb N-tartalmak arra utalnak, hogy az üvegházi vagy fedett tenyészházi megvilágítottság viszonyai között a N%-ok önmagukban nem képesek a növény, illetve a talaj N-ellátottságáról megbízható információt szolgáltatni. A fényerősség és a N-tartalom között ugyanis szoros összefüggés áll fenn, a fotoszintézis a  $\text{NO}_3$  redukciójával jár együtt. Ha pl. N-hiányos, alacsony N-tartalmú növényt árnyékba helye-



1. ábra

A 6 leveles kukorica szárazanyag hozamának, valamint N/P arányának összefüggése, két növedék átlaga, 1978

zünk, a hiány gyakran eltűnik, mert a lecsökkent fotoszintézissel az ásványi N-igény összhangba kerül. Ez a jelenség más elemeknél is fennáll, bár nem ilyen kifejezett mértékben (BERGMANN [9]).

Kielégítően jelezte a N-ellátottságot az N/P aránya a növényben. Mind az irodalmi, mind a korábbi saját adataink arra utaltak, hogy a fotoszintézis kiegyensúlyozott ásványi tápelemigénye 10-körüli N/P aránnyal jellemezhető a fiatal kukorica növényben. A 3. táblázatban bemutatott N/P arányok szemléletesen tükrözik a tápelem-kínálatban előállt aránytalanságokat. A maximális szárazanyag hozamokat valóban ott értük el, ahol az N/P aránya 8–12 között alakult. Ugyanakkor látható, hogy e két tápelem aránya rendkívül tág határok között ingadozhat, 8-szoros különbségeket is elérve a növényben, a 2–3-szoros N túlsúlytól a 19–20-szoros N túlsúlyig. Az 1. ábrán a 64 kezelés adatai szemléltetik az N/P arány és a szárazanyag hozam összefüggéseit, burkológörbével határolt optimumait.

A két növedék által felvett N mennyiségeiről a 4. táblázat adatai informálnak. A talajba adott 480, 960, 1440 mg/kg illetve 864, 1728 és 2592 mg/edény N felhasználáshoz viszonyítva a növények által felvett N mennyisége elenyésző. A N veszteségek mértéke igen nagyra tűnik. A N hatására kapott terméstartalmak, valamint a N%-ok és N/P arányok alapján ugyanis arra következtethetünk, hogy még az  $\text{N}_2$  szinteket képviselő 1728 mg/edény N adagjai sem vezettek túltrágyázás és az ezzel járó depresszió jelenségéhez. Sőt, a P-ral jól ellátott talajokon az  $\text{N}_2$  szinteket képviselő N-adagok hasznosulása sem csökkent, annak ellenére, hogy 4–5-szörösét adtuk a növény biológiai N-igényének. A N felvételét elsősorban a N, másodsorban a P és a  $\text{K}_2$  szintig enyhén a talaj növekedő K-ellátottsága is emelte. A felvett összes N mennyisége maximálisan mintegy 8–10-szeresére nőtt a kontroll edényekhez viszonyítva.

4. táblázat

Az NPK szintek hatása a 6 leveles kukorica két növedékével felvett N mennyiségére, mg/edény, 1978

(1) NP szintek	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	SzD <sub>5</sub> %	(2) Átlag
<b>P<sub>0</sub> szinten</b>						
N <sub>0</sub>	26	32	40	36		33
N <sub>1</sub>	146	219	183	126		168
N <sub>2</sub>	203	230	339	210		245
N <sub>3</sub>	131	228	220	199		194
<b>P<sub>1</sub> szinten</b>						
N <sub>0</sub>	42	40	65	47		48
N <sub>1</sub>	162	138	150	149		150
N <sub>2</sub>	358	356	436	355		376
N <sub>3</sub>	423	431	441	350		411
<b>P<sub>2</sub> szinten</b>					131	
N <sub>0</sub>	36	41	43	40		40
N <sub>1</sub>	162	162	142	109		144
N <sub>2</sub>	368	424	470	488		437
N <sub>3</sub>	409	384	516	551		465
<b>P<sub>3</sub> szinten</b>						
N <sub>0</sub>	59	58	62	67		61
N <sub>1</sub>	183	148	184	199		178
N <sub>2</sub>	429	464	521	482		474
N <sub>3</sub>	396	370	744	467		494
<b>a) P-átlagában</b>						
N <sub>0</sub>	41	43	52	47		46
N <sub>1</sub>	163	166	165	146		160
N <sub>2</sub>	339	368	441	384	66	383
N <sub>3</sub>	340	353	480	392		391
<b>b) N-átlagában</b>						
P <sub>0</sub>	126	177	195	143		160
P <sub>1</sub>	246	241	273	225	66	244
P <sub>2</sub>	244	253	293	297		272
P <sub>3</sub>	267	260	378	304		302
SzD <sub>5</sub> %			66			33
<b>c) Átlag</b>	221	233	285	242	33	244

A talaj P és K állapotának változása

A továbbiakban megkíséreljük a talajban nyomon követni a N sorsát, a rendelkezésünkre álló agrokémiai-talajkémiai módszerek némelyikével. A N-forgalom eddig bemutatott adatai is arra utaltak, hogy a talaj egyéb tápelemekkel való ellátottsága alapvető befolyást gyakorolhat, esetünkben különösen a P-ellátottság javulása, a N-műtrágyázás hatékonyságára, a N-műtrágya átalakulására. Az irodalom taglalásánál arra is felhívtuk a figyelmet, hogy a talaj P és K ellátottsága, valamint a N-trágyázás közötti összefüggések nem egyirányúak, a N-trágyázás is visszahathat a P-és K-ellátottsági viszonyokra a talajban. Az 5. táblázatban számszerűen is tanulmányozhatjuk a N-, P-és K-trágyázásnak külön-külön, és azok kölcsönhatásainak hatását a talaj AL-oldható P és K-tartalmára.

Az AL-oldható elemi P-tartalom a legnagyobb P<sub>3</sub> szinteken mintegy 20-szorosára emelkedett, a kontroll edények talajához viszonyítva. A talaj

## 5. táblázat

Az NPK szintek hatása a talaj AL-oldható tápelem-tartalmára, mg<sup>0</sup>%, 1978

(1) NP-szintek	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	SzD <sub>5</sub> %	(2) Átlag
a) AL-P N-átlagában						
P <sub>0</sub>	2,5	2,4	2,4	2,5	4,0	2,5
P <sub>1</sub>	17,6	17,5	19,2	18,6		18,2
P <sub>2</sub>	34,6	36,9	38,0	34,4		36,0
P <sub>3</sub>	49,1	53,2	51,5	52,0		51,5
b) AL-P P-átlagában						
N <sub>0</sub>	24,8	26,1	26,5	25,3	4,0	25,7
N <sub>1</sub>	26,8	26,9	26,4	26,7		26,7
N <sub>2</sub>	25,7	26,0	27,8	27,1		26,7
N <sub>3</sub>	26,6	31,0	30,2	28,4		29,1
SzD <sub>5</sub> %		4,0				2,0
c) Átlag	26,0	27,5	27,8	26,9	2,0	27,1
d) AL-K N-átlagában						
P <sub>0</sub>	8,8	18,9	34,6	68,5	4,5	32,7
P <sub>1</sub>	9,0	17,8	33,9	57,6		29,6
P <sub>2</sub>	9,4	16,5	29,7	53,7		27,3
P <sub>3</sub>	9,4	20,4	29,5	57,4		29,2
e) AL-K P-átlagában						
N <sub>0</sub>	9,4	21,9	36,2	63,8	4,5	32,8
N <sub>1</sub>	9,3	18,4	34,0	63,6		31,3
N <sub>2</sub>	8,9	16,3	26,2	51,4		25,7
N <sub>3</sub>	9,0	17,2	31,2	58,5		29,0
SzD <sub>5</sub> %		4,5				2,2
c) Átlag	9,2	18,5	31,9	59,3	2,2	29,7

Megjegyzés: 1 mg P = 2,29 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 1 mg K = 1,20 mg K<sub>2</sub>O

AL—P-tartalma a műtrágya adagjaival megközelítően lineárisan nőtt. Ahhoz, hogy a talaj AL—P-tartalmát 1 mg<sup>0</sup>%-kal növeljük 13—14 mg/kg P-ra volt szükségünk. Az elméleti számítások szerint 1 kg, azaz 10<sup>6</sup> mg talajban minden mg P adagolásával 10 mg<sup>0</sup>% értékkel kellene növekednie a talaj P-tartalmának, amennyiben az adott módszer számára oldható formában maradt. Kísérletünkben tehát a talajba vitt műtrágya P-tartalmának 30—40%-a már nem volt követhető az AL-módszerrel.

Szabadföldi viszonyok között, ugyanezen a talajon végzett tartamkísérletekben azt találtuk, hogy a talajba juttatott műtrágya-P teljes mennyisége is AL-oldható formában maradhat a kísérlet első évében, míg a későbbi években e módszerrel ki nem mutatható vegyületekké alakul és mindössze fele-harmada növeli tartósan a talaj könnyen oldható P-tartalmát [17, 23, 52]. A műtrágya-P talajbani átalakulása, lekötődése, tehát gyorsabban végbemehet a tenyészedény kísérlet viszonyai — feltehetően kedvezőbb hő- és nedvességviszonyai — között, mint szabadföldi körülmények során.

Az AL-oldható P-tartalmakat azonban nemcsak a P-trágya szintje hanem statisztikailag igazolhatóan a N-trágyázás is befolyásolta, enyhén

növelte. A K-trágyázás ilyen irányú hatását nem lehetett tapasztalni. A N-trágyázás tehát nemcsak fiziológiai oldalról, a növény P felvételének serkentése, illetve a növényen belüli további transzformáció, a fotoszintézis során történő beépülés gyorsításával segítheti a P hasznosulását, hanem ez a jelenség talajkémiai oldalról is fennáll a talajba vitt P megkötődésének gátlásán keresztül (5. táblázat).

Az AL-oldható K-tartalom a legnagyobb  $K_3$  szinteken mintegy 6-szorosára emelkedett. A P-nál elmondottaktól eltérően a K-trágyázás nem lineárisan növelte a talaj könnyen oldható K-tartalmát. Így pl. az AL-K többletei az egyes K szinteken, mg%-ban a következőképpen alakultak:  $K_1 - K_0 = 9,2$ ;  $K_2 - K_1 = 13,4$ ;  $K_3 - K_2 = 27,7$  mg%. Ennek megfelelően a fajlagos feltöltés mutatói, azaz a talaj 1 mg% AL-K tartalmának növeléséhez szükséges műtrágya-K mennyiségei eltértek egymástól:  $K_1 - K_0$  tartományban 50,  $K_2 - K_1$  tartományban 34, míg a  $K_3 - K_2$  tartományban mindössze 17 mg K/kg talajra volt szükség. A talaj K-megkötő képessége, úgy tűnik, fokozatosan csökken a növekvő trágyaadagokkal, ez a feltehetően montmorillonit típusú agyagásványú talaj telítődési görbéjét és egyben illitesedési folyamatát tükrözi. Míg a  $K_3 - K_2$  tartományban mindössze a bevitt K 50%-a kötődött meg, addig a  $K_1 - K_0$  tartományban 3,5-szerese.

A már hivatkozott szabadföldi kísérletünkben a műtrágyázást követő első évben a felhasznált műtrágya-K mennyiségének mintegy fele, a későbbi években 1/4-e, 1/5-e volt kimutatható AL-módszerrel. Ismeretes, hogy jelentős változás következhet be a talajok K-tartalmának oldhatósági viszonyaiiban mind a kiszáradás, mind a felmelegedés hatására. A tenyészedény kísérlet kedvezőbb hő- és csapadékvizonyai minden bizonnyal elősegítették a talajba vitt K gyors megkötődését a rácsokban. A szabadföldi viszonyok között alkalmazott 0, 500, 1000 és 1500 kg  $K_2O$ /ha adagokkal a feltöltődés lineárisnak mutatkozott. Ezek az adagok ugyanis nem érték el a tenyészedény kísérletben alkalmazott adagok szintjét, illetve a maximális 1500 kg/ha  $K_2O$  adagja a tenyészedény  $K_1$  szintjének felelt meg [23, 24].

#### *A talaj ásványi N-formái*

A 6. táblázatban bemutatjuk az N-, P- és K-trágyázás hatását és kölcsönhatásait a BREMNER-féle kicserélhető  $NH_4-N$  és  $NO_3-N$  változására a talajban. Az irodalomból ismeretes, hogy a N-műtrágya oldatba kerülve, vagy közvetlenül, részben növényi tápanyagfelvételben vesz részt [33], részben a talajok szerves és szervesetlen frakciói tartósan vagy lazábban megkötik [2, 8, 25]. Ezen túlmenően a talajlélőlények is részt vesznek transzformációjában, a növények számára átmenetileg vagy véglegesen hozzáférhetetlenné tehetik, gáz alakú formában az atmoszférába kiválaszthatják a denitrifikáció során. Nem elhanyagolható veszteségek léphetnek fel a kimosódással [13]. Mindezen átalakulások alatt jelentősen változhat a talaj pH-ja helyileg, a különböző N-formák mennyisége és aránya, ezek felvehetősége a növény számára, stb. Az említett folyamatok dinamikusak [7].

A 2 M KCl-dal extrahálható  $NH_4$  tartalmak a talajkolloidok és agyagásványok felszínén lazán kötött, adszorbeált ammónium mennyiségéről informálnak. Ez a N-forma a talajok összes ásványi N-jéhez képest mennyiségileg nem jelentős [66], ennek ellenére az irodalomban adatokat találunk arra, hogy pl. a talaj K-ellátottsága, illetve a K-trágyázás mértéke befolyá-

6. táblázat

Az NPK szintek hatása a talaj kicserélhető  $\text{NH}_4\text{-N}$  és  $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalmára, mg%, 8 edény átlagai, 1978

(1) NP szintek	$K_0$	$K_1$	$K_2$	$K_3$	SzD <sub>5</sub> %	(2) Átlag
a) $\text{NH}_4\text{-N}$ N-átlagában						
$P_0$	1,64	1,51	1,84	1,90	1,0	1,72
$P_1$	1,60	1,87	1,73	2,02		1,81
$P_2$	2,13	2,64	2,22	1,97		2,24
$P_3$	2,21	2,73	1,87	3,22		2,53
b) $\text{NH}_4\text{-N}$ P-átlagában						
$N_0$	2,22	2,37	2,13	2,62	1,0	2,33
$N_1$	1,44	1,78	2,01	2,18		1,85
$N_2$	1,64	2,47	1,87	2,16		2,04
$N_3$	2,28	2,12	1,65	2,29		2,09
SzD <sub>5</sub> %		1,0				0,5
c) Átlag	1,90	2,19	1,92	2,31	0,5	2,08
d) $\text{NO}_3\text{-N}$ N-átlagában						
$P_0$	19,69	13,57	15,46	14,42	3,07	15,78
$P_1$	11,42	9,53	10,64	12,14		10,93
$P_2$	11,71	10,36	10,79	10,22		10,77
$P_3$	12,59	10,71	8,52	10,91		10,68
e) $\text{NO}_3\text{-N}$ P-átlagában						
$N_0$	3,36	3,90	4,83	5,32	3,07	4,35
$N_1$	2,73	4,67	3,50	5,53		4,11
$N_2$	11,05	7,46	10,11	8,33		9,24
$N_3$	38,25	28,14	26,97	28,53		30,47
SzD <sub>5</sub> %		3,07				1,53
c) Átlag	13,85	11,04	11,35	11,92	1,53	12,04

solhatja a kicserélhető  $\text{NH}_4\text{-N}$  mennyiségét (BASKIN [6]). A  $K^+$  és az  $\text{NH}_4^+$  ionok ionrádiusza közötti különbség miatt —  $K^+ = 0,097$  nm,  $\text{NH}_4^+ = 0,16$  nm — az ammónium kiszoríthatja a káliumot [44]. A talaj P-ellátottsága, valamint a kicserélhető ammónium mennyisége közötti kölcsönhatásokra az irodalomban utalásokat nem találtunk.

A kísérlet ideje alatt a nitrifikáció gyorsan lezajlott, melyre a 6. táblázat kicserélhető  $\text{NO}_3\text{-N}$  adatai meggyőzően utalnak. Míg a kicserélhető  $\text{NH}_4\text{-N}$  mennyisége elenyésző volt és a 3 mg% értéket ritkán érte el, addig a  $\text{NO}_3$  tartalomban a trágyahatások rendkívül kifejezettek, a 3–4 mg% értékektől a 30–40 mg%-ig váltakoznak.

Bár a kicserélhető ammónium-N mennyisége minimális volt a talajban, kimutatható volt változására a P-szintek pozitív hatása. Ennek oka a túl magas P-ellátottságnak a nitrifikáció folyamatait gátló befolyására vezethető esetleg vissza. A 6. táblázatban közölt  $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalom a talaj javuló P-ellátottsága függvényében igen erősen, 30–40%-ot is elérő mértékben csökkent. Ilyen mérvű csökkenés a P-ellátottság terménynövelő hatásával, illetve a nagyobb termések által felvett többlet-N a  $\text{NO}_3\text{-N}$  mennyiségét csökkentő hatásával magyarázható. A  $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalmának változása érzékenyen



7. táblázat

Az N és P szintek hatása a talaj kicserélhető, a fixált, valamint az összes ásványi N-tartalmára, mg%, 1978

(1) PK-szintek	N <sub>0</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	SzD <sub>5</sub> %	(2) Átlag
a) Kicserélhető NH <sub>4</sub> + NO <sub>3</sub> , K-átlagában						
P <sub>0</sub>	6,23	8,35	19,11	36,08		17,44
P <sub>1</sub>	5,03	4,32	10,49	30,90	3,50	12,69
P <sub>2</sub>	7,27	6,34	6,02	32,15		12,95
P <sub>3</sub>	7,96	4,57	8,14	31,10		12,95
SzD <sub>5</sub> %			3,50			1,75
b) Átlag	6,62	5,90	10,94	32,56	1,75	14,00
c) Fixált NH <sub>4</sub> -N K-átlagában						
P <sub>0</sub>	19,6	22,3	22,4	22,6		21,7
P <sub>1</sub>	19,0	20,7	23,2	23,2	1,8	21,5
P <sub>2</sub>	19,4	20,7	21,8	23,0		21,2
P <sub>3</sub>	20,2	22,3	21,4	21,7		21,4
SzD <sub>5</sub> %			1,8			0,9
b) Átlag	19,6	21,5	22,2	22,6	0,9	21,5
d) Összes ásványi N K-átlagában						
P <sub>0</sub>	25,8	30,6	41,5	58,7		39,2
P <sub>1</sub>	24,0	25,0	33,7	54,1	3,7	34,3
P <sub>2</sub>	26,6	26,8	27,8	55,2		34,1
P <sub>3</sub>	28,1	26,9	29,5	52,8		35,0
SzD <sub>5</sub> %			3,7			1,9
b) Átlag	26,1	27,3	33,4	55,2	1,9	35,5
e) Fixált NH <sub>4</sub> -N P-átlagában						
K <sub>0</sub>	22,9	22,4	23,4	23,8		23,1
K <sub>1</sub>	21,2	22,6	22,8	22,7	1,8	22,3
K <sub>2</sub>	17,4	21,0	21,8	22,2		20,6
K <sub>3</sub>	17,6	20,1	20,7	22,0		20,1
SzD <sub>5</sub> %			1,8			0,9
b) Átlag	19,8	21,5	22,2	22,6	0,9	21,5

tükrözte a N-trágyázás, különösen a nagyobb N-adagok, a N-túltrágyázás hatását a talajra. A növények által fel nem vett N, arányosan a fel nem vett többletekhez, NO<sub>3</sub> formájában halmozódott fel a talajban.

Tekintettel arra, hogy a talaj NO<sub>3</sub>-N-tartalmának meghatározása a szaktanácsadást is érinti, mint határértékes módszert már ma is több országban alkalmazzák trágyaigény becslésére, így különös fontosságúvá válik a kicserélhető NO<sub>3</sub>-N-tartalmat befolyásoló tényezők megismerése, e befolyásoló tényezők rangsorolása és esetleges figyelembevételük a jövő szaktanácsadásában. Elsősorban itt a talaj P- és K-ellátottságára kell utalnunk. Mind a P-mind a K-trágyázás csökkentette a NO<sub>3</sub>-N-tartalmakat. Ezek a megállapításaink összhangban vannak KNOP és VOSZTAL (cit. KORENKOV et al. [26]), és mások megfigyeléseivel [5, 6]. Az említett szerzőktől eltérően, e jelenség nálunk a meszes vályogtalaj pH-jának lényeges változása nélkül következett be, és összhangban van a N-mérleg egyenlegeivel.

8. táblázat

Az N és P szintek hatása a talaj N-forgalmára, mg/edény,  
illetve adott N%-ában kifejezve, 1978

(1) P-szintek	N <sub>0</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	SzD <sub>s</sub> %	(2) Átlag
a) Adott N, mg/edény	—	864	1728	2592		1728
b) Felvett N, többlet						
P <sub>0</sub>	—	135	212	161		169
P <sub>1</sub>	—	101	327	363	66	264
P <sub>2</sub>	—	104	397	425		309
P <sub>3</sub>	—	117	413	432		321
c) Átlag	—	114	338	345	32	266
d) Adott N %-ában	—	13	20	13		15
e) Bremner-N (NO <sub>3</sub> + NH <sub>4</sub> ) többlet						
P <sub>0</sub>	—	38	232	537		269
P <sub>1</sub>	—	—13	98	466		184
P <sub>2</sub>	—	—17	—22	448	63	136
P <sub>3</sub>	—	—61	3	417		120
c) Átlag	—	—15	78	467	32	177
d) Adott N %-ában	—	—2	5	18		10
f) Fixált NH <sub>4</sub> -N többlet						
P <sub>0</sub>	—	49	52	56		52
P <sub>1</sub>	—	31	76	76		61
P <sub>2</sub>	—	23	42	65	34	43
P <sub>3</sub>	—	39	22	28		30
c) Átlag	—	36	48	56	17	47
d) Adott N %-ában	—	4	3	2		3
g) Növényben és talajban talált összes N-többlet						
P <sub>0</sub>	—	222	496	754		490
P <sub>1</sub>	—	119	502	904		508
P <sub>2</sub>	—	110	417	938		488
P <sub>3</sub>	—	95	438	878		470
c) Átlag	—	137	463	868		489
d) Adott N %-ában	—	16	27	33		28

N többlet a kontrollhoz viszonyítva mg/edény

A 7. táblázatban a N és P szintek hatását, valamint kölcsönhatásait tanulmányozhatjuk a talaj összes kicserélhető és a fixált NH<sub>4</sub>-N-tartalmára. A kicserélhető NH<sub>4</sub>-N + NO<sub>3</sub>-N összegeire vonatkozó adatok lényegében a korábban a NO<sub>3</sub>-N-tartalom változásáról már elmondottakat tükrözi. Ez abból adódik, hogy kísérletünkben a kicserélhető N-tartalom döntő részét a NO<sub>3</sub>-N alkotta.

Saját vizsgálatunk eredményei adott viszonyok között csak gyengén igazolják azt a többek által vallott nézetet, hogy a N-trágyázással nőhet a talaj kötött ammónia-N tartalma. Ez a növekedés bár statisztikailag igazolhatónak bizonyult, nem volt jelentős és nem állt arányban a talajban visszamaradó N többlettel, a túltrágyázás mértékével, tehát környezetvédelmi szempontból nem jelenthet olyan mechanizmust, mely megakadályozza a növények által fel nem vett NH<sub>4</sub>-N nitrifikációját és esetleges kimosódását a gyökérszónából. A trágyázatlan talaj összes ásványi-N tartalmának azonban

9. táblázat

Az N és P szintek hatása a talaj N mérlegére,  
valamint az N trágya érvényesülésére, 1978

(1) P-szintek	N <sub>0</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	(2) Átlag
a) Adott N mg/edény	—	864	1728	2592	1728
b) N mérleg egyenlegei mg/edény					
P <sub>0</sub>	—33	696	1483	2398	1136
P <sub>1</sub>	—48	715	1352	2180	1050
P <sub>2</sub>	—40	720	1291	2127	1025
P <sub>3</sub>	—61	686	1254	2097	994
c) Átlag	—46	704	1345	2201	1051
d) Hasznosulási % mérleg- módszer szerint					
P <sub>0</sub>	—	20	14	8	14
P <sub>1</sub>	—	17	22	16	18
P <sub>2</sub>	—	17	25	18	20
P <sub>3</sub>	—	21	27	19	22
c) Átlag	—	19	22	15	19
e) Hasznosulási % különbség módszer szerint					
P <sub>0</sub>	—	16	12	6	11
P <sub>1</sub>	—	12	19	14	15
P <sub>2</sub>	—	12	23	17	17
P <sub>3</sub>	—	14	24	17	18
c) Átlag	—	13	20	13	15
f) Elbomlott cellulóz %-ban kifejezve					
P <sub>0</sub>	32	39	49	32	38
P <sub>1</sub>	26	37	57	66	47
P <sub>2</sub>	18	49	65	69	50
P <sub>3</sub>	24	56	68	76	56
SzD <sub>5%</sub>			6		3
c) Átlag	25	45	60	61	3

jelentős részét képezheti a fixált NH<sub>4</sub>-N mennyisége, így e meszes csernozjomon megközelítően háromszorosát tette ki az adszorbeált formáknak. Az erős N-trágyázással ez az arány a kicserélhető N-formák túlsúlyához vezetett. Az összes ásványi N-tartalom az eredeti 25 mg% körüli értékről 50–60 mg% értékre növekedett.

Szabadföldi viszonyok között azonban e talajon 80–100 cm mélységig figyelembe vehetjük az ásványi N-tartalmat, a növényi tápanyagfelvétel szempontjából, s így már jelentős ásványi N-készletről beszélhetünk [24, 63, 66].

#### A műtrágya N-hasznosulása

SZEBENINÉ [62] adatai arra hívják fel a figyelmet, hogy hasonló N-forgalom vizsgálatoknál nemcsak a talaj ásványi frakcióiban beálló változásokat kell nyomon követni műtrágyázás hatására, hanem a különböző mértékben hidrolizálható szerves N-frakciókat is, mert a N transzformáció alapvetően biológiai úton megy végbe és a szervesanyag-forgalomhoz kötődik.

Tenyészedény kísérletünkben, a bemutatott ásványi N-forgalom adataiból kitűnik, hogy a felhasznált műtrágya-N mennyiségének mindössze 14–22%-át vették fel a növények, és a talajban maradt N-nek csak meglehetősen kis része akkumulálódott szervesen  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$ , valamint nem kicserélhető  $\text{NH}_4\text{-N}$  frakciókban (8. táblázat). A tenyészedény kísérlet viszonyai között a kilúgzási, párolgási és denitrifikációs veszteségeket nem mértük, ugyanakkor a talaj kedvező hő-, csapadék- és levegőháztartása a talajmikroszervezetek tevékenységének kedvezett, feltehető, hogy a talajban maradt N jelentős része, melyet az ásványi formákban nem tudunk kimutatni, biológiai úton immobilizálódott. A talajmikroszervezetek a trágya-N 20–30%-át is megköthetik [61] illetve a talaj különböző mértékben hidrolizálható szerves N-frakcióiba építhetik [26, 43, 67].

Tenyészedény kísérletünkben a cellulóz-teszt ([65]) módszerével jellemeztük a talajbiológiai folyamatok intenzitását, a talaj tápelem-ellátottsági szintjeinek függvényében. Az ilyen irányú kutatásaink bizonyos részeredményeiről korábban már beszámoltunk [60]. A talaj K-ellátottsága, illetve a K-trágyázás nem befolyásolta a cellulózbontást, így az eredményeinket a K-szintek átlagaiban a 9. táblázatban tüntetjük fel. Adataink szerint az egyoldalú P-trágyázás, N nélkül, gátolta, míg a nitrogén trágyázással összhangban növelte az elbomlott cellulóz mennyiségét. A  $\text{P} \times \text{K}$  pozitív kölcsönhatás igen erősen kifejezett volt. A legnagyobb adagú N-trágyázás, P nélkül, szintén az elbomlott cellulóz mennyiségének csökkenéséhez vezetett. Megállapítható, hogy a talaj biológiai aktivitása a N-nel és P-ral egyaránt kedvezően ellátott edényekben, ahol a szárazanyag hozama is a legnagyobb volt, 2–3-szorosa a kontroll, illetve az egyoldalú N-nel vagy P-ral trágyázott talajokénak. Az elmondottak alapján feltételezhető, hogy az alacsony érvényesülése a N-trágyáknak, amely az N adagoktól többé-kevésbé függetlenül 20% körül alakult, a talajmikroszervezetek intenzív tevékenységével, a kukorica N-felvétele számára konkurens viszonyok létrehozásával függött össze.

### Összefoglalás

Mészlepedékes csernozjom talajjal beállított tenyészedény kísérletben, 1,8 kg-os edényekben vizsgáltuk az  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  formában adott N-műtrágya hatását a 6 leveles kukorica két növedékének szárazanyag hozamára, N-felvételére, a talaj BREMNER-módszerrel meghatározott kicserélhető  $\text{NH}_4\text{-N}$  és  $\text{NO}_3\text{-N}$  mennyiségére, a talaj nem kicserélhető (fixált)  $\text{NH}_4\text{-N}$  tartalmára. A talajbiológiai folyamatok intenzitását a cellulózbontó aktivitással jellemeztük. Jelen munkánkban célul tűztük ki, hogy adott viszonyok között a talajba kerülő műtrágya-N sorsát figyelemmel kísérjük, N-forgalmi vizsgálatokat végezzünk. Tekintettel arra, hogy napjaink intenzív műtrágyázási gyakorlata eltérő tápanyag-ellátottságú talajokat hoz létre egy tájon, vagy talajtípuson belül is, fontosnak tartottuk az említett N-forgalmi vizsgálatokat a talaj eltérő foszfor- és kálium-ellátottsági szintjeinek függvényében elemezni. Mindhárom tápelem 4–4 ellátottsági szintjének összes lehetséges kombinációját beállítottuk, 4<sup>3</sup> típusú, 64 kezeléssel modellben. Főbb megállapításaink az alábbiak:

1. A 6 leveles kukorica termését a legkedvezőbb NPK ellátottsági szinteken és azok kombinációiban 5–7-szeresére növeltük a kontroll, nem trá-

gyázott talajhoz viszonyítva. A legnagyobb K adagok közel szignifikáns terméscsökkenéshez vezettek. Az N×P kölcsönhatások kifejezettek voltak, a talaj javuló P-ellátottsága N-trágyázás nélkül alig emelte a termést (2. táblázat).

2. A N-trágyázás átlagosan megháromszorozta a kukorica növények N-tartalmát, növelte azonban a P-trágyázás is, megközelítően 20%-kal. A talaj P-ellátottságának foka alapvetően befolyásolta a N-műtrágya hasznosulását (3., 4. és 9. táblázat).

3. A növények N %-ai, levéldiagnosztikai szempontból, alacsony ellátottságot mutattak még a nitrogénnel kielégítően trágyázott edényekben is. Az alacsony N-tartalmak arra utalnak, hogy üvegházi, vagy fedett tenyészházi megvilágítottság viszonyai között a N %-ok önmagukban nem képesek a növény, illetve a talaj N-ellátottságáról megbízható információt szolgáltatni. Kielégítően jelezte a N-ellátottsági viszonyokat ugyanakkor az N/P aránya a növényben (3. táblázat).

4. A talaj AL-módszerrel meghatározott P-tartalma megközelítően lineárisan nőtt a P-adagokkal, azonban mintegy 30—40%-a már nem volt kimutatható e módszerrel, más formában lekötődött a talajban. Az AL-módszerrel meghatározott P-tartalmakat a N-trágyázás szintje bizonyíthatóan emelte (5. táblázat).

5. A K-trágyázás nem lineárisan növelte a talaj AL-K-tartalmát. Ahhoz, hogy a talaj AL-K-tartalmát 1 mg %-kal növelhessük a  $K_1$  tartományig 50, a  $K_1$ — $K_2$  tartományban 34, míg a  $K_2$ — $K_3$  tartományban mindössze 17 mg K/kg talajra volt szükség.

6. A talaj kicserélhető  $NH_4$ -N abszolút értéke általában elenyésző volt, ritkán érte el a 3 mg %-ot. A  $NO_3$ -N-tartalomban a N-trágyázás hatása erősen kifejeződött, abszolút mennyisége a 3—4 mg% körüli értékről 30—40 mg% értékre emelkedett. A növények által fel nem vett N egy része kicserélhető  $NO_3$ -N formájában halmozódott fel a talajban. Mind a P- mind a K-trágyázás számbavehetően, 10—30%-kal csökkentette a  $NO_3$ -N-tartalmakat (6. tábl.).

7. A nem kicserélhető kötésben található fixált  $NH_4$ -N mennyisége ugyan igazolhatóan nőtt a N-trágyázásra, azonban ez a növekedés nem volt jelentős és nem állt arányban a talajban visszamaradó N többleteivel, a túl-trágyázás mértékével. A talaj összes ásványi N-tartalmának azonban jelentős részét képezheti e N-forma mennyisége, közel 3-szorosát teheti ki az adszorbeált formáknak, a kicserélhető ( $NO_3 + NH_4$ ) összegeinek. Az erős N-trágyázással ez az arány azonban a kicserélhető N-formák túlsúlyához vezetett (7. táblázat).

8. A felhasznált műtrágya N mennyiségének mindösszes 14—22%-át vették fel a növények. Tekintettel arra, hogy bár a kilúgzási, a párolgási és a denitrifikációs veszteségeket nem mértük, a tenyészedeny kísérlet kedvező hő-csapadék-levegőházartási viszonyai a talajmikroszervezetek tevékenységeinek kedvezett, a fel nem vett N jelentős része biológiai úton immobilizálódhatott (8. és 9. táblázat).

## Irodalom

- [1] ALDAG, R.: Verfügbarkeit des Stickstoffs in Ackerböden. Bestimmungsprobleme aus der Sicht der Umverteilung der Stickstoffs-Bildungsformen durch Bebrütung. Landw. Forsch. Sonderh. Frankfurt/Maine. **32**. 1. 7—15. 1975.

- [2] ALLISON, F. E.: Soil Organic Matter and its Role in Crop Production. Elsevier Sci. Publ. Comp. Amsterdam-London-New York. 1973.
- [3] ALLISON, F. E., DOETSCH, I. H. & ROLLER, E. M.: Ammonium fixation and Availability in Harpster Clay Loam. Soil Sci. **72**. 187—200. 1951.
- [4] ALLISON, F. E., DOETSCH, I. H. & ROLLER, E. M.: Availability of fixed Ammonium in Soils Containing Different Clay Minerals. Soil Sci. **75**. 373—381. 1953.
- [5] BARSCSAK, T.: Vlijanje foszfátov na nitrifikaciju azotnih udobrenij. VIIth. Int. Fert. Congr. Sec. 3, 4, 5. Papers of foreign participants. **2**. 3—9. Moskva. 1976.
- [6] BASKIN, V. N.: O roli neobmennogo ammonija v azotnom rezsime poesv. Avtoreferat dizsertacii. MGU. Moskva. 1975.
- [7] BASKIN, V. N. & KUDEJAROV, V. N.: Izucenie kruglogodovoj dinamiki mineral'nogo azota v szeroj lesznoj poesve. Poesvovedenie. **3**. 41—48. 1977.
- [8] BARTHOLOMEW, V. W.: Mineralization and immobilization of nitrogen in the decomposition of plant and animal residues. In: Soil nitrogen. (Eds.: BARTHOLOMEW, V. W. & CLARK, E. F.) Agronomy N. 10. Amer. Soc. Agronomy. USA Madison. Wisconsin. 1965.
- [9] BERGMANN, W.: Termesztett növények táplálkozási zavarainak előfordulása és felismerése. Mezőgazd. Kiadó. Budapest. 1979.
- [10] BERGMANN, W. & NEUBERT, P.: Pflanzendiagnose und Pflanzenanalyse. VEB Fischer Verlag. Jena. 1976.
- [11] BHADURI, T. L., BAUERJEE, S. K. & GUPTA, S. K.: Native fixed  $\text{NH}_4^+$  and the Fixation of Applied  $\text{NH}_4^+$  in Some Soils of West Bengal. J. Ind. Chem. Soc. **54**. 822—825. 1977.
- [12] BREMNER, J. M.: Determination of fixed ammonium in soil. J. Agric. Sci. **52**. 147—160. 1959.
- [13] DINCSEV, D. & BADZSOV, K.: Poteri azota v poesve. In: Umwandlung des Stickstoffs im Boden und seine Ausnützung durch die Pflanzen. Ed.: MATZEL, W. Tag.-Ber. Akad. Landwirtsch.-Wiss. DDR. Berlin 89—129. 1978.
- [14] ELEK É. & KÁDÁR I.: A foszformútrágyázás hatása a makro- és mikro- tápanyagok felvételére. A mezőgazdaság kemizálása. VI. Ankét. Keszthely. **1**. 89—93. NEVIKI. Veszprém. 1975.
- [15] ELEK, É., BÁRTFAY, T-né & KÁDÁR, I.: Correlation Between Fertilizer Application and Winter Wheat Crop Quality. VIIth. Int. Fert. Congr. Sec. 5. **11**. 136—143. Moskva. 1976.
- [16] FLEIGE, H., MEYER, B. & SCHOLTZ, H.: Fraktionierung des Boden-Stickstoffs für N-Haushalts-Bilanzen. Göttinger Bodenkundliche Berichte. **18**. 1—37. 1971.
- [17] FÜLEKY Gy. & KÁDÁR I.: A talaj P-állapotának változása tartamkísérletben. I. Agrokémia és Talajtan. **24**. 291—302. 1975.
- [18] GUPTA, S. K., BAUERJEE, S. K. & MUKHERJEE, A. K.: Studies on the Effect of Humic Acid in the Fixation of Added Ammonium in some Soils of West Bengal. J. Ind. Chem. Soc. **54**. 826—828. 1977.
- [19] GYÓRI B.: Miért termett 1174 hektár átlagában 29,78 q kukorica? Magyar Mezőgazdaság. **34**. (15) 12—13. 1979.
- [20] IVANOVA, T. I. & KOZSEMJAKOVA, R. N.: Zakonomernoszt' gejsztvija azotnih, foszfornih i kalijnih udobrenij v mnogofaktornom polevom opüte sz sirokoj amplitudoj doz. Agrohimiya. (11) 53—64. 1970.
- [21] IVANOVA, T. I., KOZSEMJAKOVA, R. N. & PUSKENOV, V. Sz.: Oztüvesivoszt' jacszenja na vozrasztajusesih doz azota, foszfora i kalija v polevom mnogofaktornom opüte na dernovopodzolisztoj poesve. Agrohimiya. (7) 77—87. 1971.
- [22] JELENIČ, DJ., ALEKSIČ, Ž. & JAKOVLEVIČ, M.: Neizmenljivi ammonijačni azot i kapacitet fiksacije  $\text{NH}_4^+$  jona u parapodzolu, gajnjači i cernozemu. Agrohimiya. (1—2) 33—39. 1968.
- [23] KÁDÁR I. & ELEK É.: Mútrágyázás hatás a kukorica makro- és mikroelem felvételére. A mezőgazdaság kemizálása. Ankét. Keszthely. 71—81. NEVIKI. Veszprém. 1977.
- [24] KÁDÁR, I. et al.: Vlijanje vozrasztajusesih doz mineral'nih udobrenij na poesvu i rasztenija. Vth. Congr. Jug. Soc. Soil Sci. 409—416. Sarajevo. 1976.
- [25] KEENY, D. R. & BREMNER, J. M.: Mineralizable Nitrogen. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. **31**. 34—39. 1967.
- [26] KORENKOV, D. A., LAVROVA, I. A. & FILIMONOV, D. A.: Prevrascenie azota udobrenij v poesve. In: Umwandlung des Stickstoffs im Boden und seine Ausnützung durch die Pflanzen. Ed.: MATZEL, W. Tag.-Ber. Akad. Landwirtsch. — Wiss. DDR. Berlin. 47—78. 1978.



- [27] KUDEJAROV, V. N. & BASKIN, V. N.: O szvjazi agrohimiceszkih szvojsztv pocsv sz szoderzsaniem neobmennogo ammonija i jomkosztju ego fikszacii. Pocsvovedenie. (4) 119—124. 1975.
- [28] KUDEJAROV, V. N. & BASKIN, V. N.: Izucsenie dejsztvija azotnogo udobrenija na rasztenija i pocsvu v mnogofaktornom polevom opüte. Szobcsesenie 2. Agrohimija. (11) 3—9. 1976.
- [29] KUDEJAROV, V. N. & BASKIN, V. N.: Izucsenie dejsztvija azotnogo udobrenija na rasztenija i pocsvu v mnogofaktornom polveom opüte. Szobcsesenie 3. Agrohimija (5) 3—9. 1977.
- [30] KUDEJAROV, V. N. & POTKIN, A. I.: K methodike opredelenija fikszirovannogo ammonija v pocsv. Agrohimija. (11) 132—138. 1971.
- [31] KUDEJAROV, V. N., SZOKOLOV, O. A. & BOCSKAREV, A. N.: Izucsenie dejsztvija azotnogo udobrenija na rasztenija i pocsvu v mnogofaktornom opüte. Szobcsesenie 1. Agrohimija. (10) 3—12. 1976.
- [32] KUDEJAROV, V. N., TRUBIN, A. I. & BASKIN, V. N.: O formah poglasesennogo montmorillonitom ammonija. Pocsvovedenie. (12) 147—153. 1975.
- [33] LATKOVICS, I.: Koefficient iszpol'zovanija azota mineralnüh udobrenij. In.: Umwandlung des Stickstoffs im Boden und seine Ausnützung durch die Pflanzen. Ed.: MATZEL, W. Tag.-Ber. Akad. Landwirtsch. — Wiss. DDR. Berlin. 9—46. 1978.
- [34] LÁSZTITY, B., KÁDÁR, I. & ELEK, É.: A foszfor és kálium műtrágyázás növényre gyakorolt hatásának vizsgálata karbonátos homokon. Agrokémia és Talajtan. 27. 130—140. 1978.
- [35] MÁNDI, Gy.: Tisztázzuk a „biológiai háttér” fogalmát! Magyar Mezőgazdaság. 30. (41) 8—9 1975.
- [36] MÁTÉ, F. & PUSZTAI, A.: Műtrágyázás és a talaj elsavanyodása. A mezőgazdaság kemizálása. Ankét. Keszthely. 11—16. NEVIKI. Veszprém. 1977.
- [37] MELA, P.: Fixation of Ammonium by Clay Minerals in Relations to some Probable Effects on the Vegetative Development of Plants. Soil Sci. 93. 189—194. 1962.
- [38] MOGÜLEVKINA, I. A.: Fikszirovannij ammonij v pocsv e metod ego opredelenija. Pocsvovedenie. (2) 94—104. 1964.
- [39] MOGÜLEVKINA, I. A.: Szravnenie metodov opredelenija fikszirovannogo ammonija v pocsv. Agrohimija. (3) 117—127. 1969.
- [40] MOGÜLEVKINA, I. A.: Izucsenija dosztupnoszti rasztenijam fikszorovannogo ammonija pocsvü. Agrohimija. (5) 34—42. 1970.
- [41] Műtrágyázási irányelvek és üzemi számítási módszer. MÉM NAK. Budapest. 1979.
- [42] NIELSEN, J. D.: Fixation and release of potassium and ammonium ions in Danish Soils. Plant and Soils. 36. 71—88. 1972.
- [43] NIKITISEN, V. I. et al.: Balansz azota pri intenzivnom primenenii udobrenij. Agrohimija. (3) 3—8. 1977.
- [44] NOMMIK, H.: Ammonium fixation and Other Reactions Involving a Nonenzymatic Immobilization of Mineral Nitrogen in Soil. „Soil Nitrogen” publ. Amer. Soc. Agronomy. Madison. Wisconsin. 198—258. 1966.
- [45] NOMMIK, H.: Particle size effect on the rate of nitrification of nitrogen fertilizer materials with special reference to ammonium fixing soils. Plant and Soils. 24. 181—200. 1966.
- [46] PETERBURGSZKIJ, A. V. & KORCSAGINA, JU, I.: Iszpol'zovanie <sup>15</sup>N pri opredelenii NH<sub>4</sub> fikszirujuscsej szposzobnoszti pocsv. In: Primenenie sztabilnogo izotopa <sup>15</sup>N v isszledovanijah. Izd. „Kolosz”. Moszkva. 1973.
- [47] PURCHASE, B. S.: The influence of phosphate deficiency on nitrification. Plant and Soil. 41. 541—547. 1974.
- [48] PUSZTAI, A.: Talajaink elsavanyodása és a meszezés. Magyar Mezőgazdaság. 32. (44) 8. 1977.
- [49] PUSZTAI, A., KÁDÁR, I. & BICZÓK, Gy.: Adatok a kiegyensúlyozatlan tápanyagellátás káros hatására kukoricán. A mezőgazdaság kemizálása. Ankét. Keszthely. NEVIKI. Veszprém. 1979.
- [50] RAJKOVIĆ, Z.: Značaj i osobenosti azota u sistemu Kontrole plodnosti zemljišta i primene dubriva. Bilten za Kontrolu plodnosti. 2. (2) 5—49. 1978.
- [51] RAJKOVIĆ, Z. & UBAVIĆ, M.: Prilog proučavanju azota u zemljištima Srbije. Agrohimija. (11—12) 37—55. 1970.
- [52] SARKADI, J. & KÁDÁR, I.: The Interaction Between Phosphorus Fertilizer Residues and Fresh Phosphate Dressings in a Chernozem Soil. Agrokémia és Talajtan. 23. Suppl. 93—100. 1974.

- [53] SARKADI, J., KRÁMER, M. & THAMM, F-né: Kalcium- és ammoniumlaktátos talajkivonatok P-tartalmának meghatározása aszkorbinsav ónkloridos módszerrel melegítés nélkül. *Agrokémia és Talajtan*. **14**. 75—82. 1965.
- [54] SCHACHTSCHABEL, P.: Bestimmung des fixierten Ammoniums in Boden. *Z. Pfl Ernähr. Düng. u. Bodenk.* **93**. 125—136. 1961.
- [55] SCHENK, M. & WEHRMAN, T.: Potassium and phosphate uptake of cucumber plants at different ammonia supply. *Plant and Soil*. **52**. 415—526. 1979.
- [56] SILOVA, E. I.: Vlijanie kalija na dosztupnoszt' fikszirovannogo ammonija rasztenijam. *Agrohimiya*. (12) 25—33. 1966.
- [57] SILOVA, E. I.: Dosztupnoszt' rasztenijam fikszirovannogo pocsvoj ammonija v polevüh uszlovijah. *Agrohimiya*. 2. 3—11. 1969.
- [58] SILOVA, E. I. & BRONNIKOV, V. I.: Vlijanie kalija na iszpol'zovaniye fikszorovanogo ammonija ovsvom i psenicej. *Dokl. TSZHA*. (154) 27—41. 1970.
- [59] STEVANOVIĆ, D.: Fiksacija ammonijačnog azota u gajnjačama Srbije i njegova pristupačnost biljkama. *Archiv. za poljoprivredne nauke*. **102**. 83—110. 1975.
- [60] SÜLYÖK, L. et al.: Csernozjom talaj termékenységének jellemzése a cellulózbontó aktivitással és kapcsolata a terméssel. A mezőgazdaság kemizálása. Ankét. Keszthely. 171—177. *NÉVIKI. Veszprém*. 1979.
- [61] SZAPOZSNIKOV, N. A. et al.: Isszledovanija transformacii azota v pocsve i azotnogo pitanita rasztenij (Po rezultatam rabot sz primeneniem <sup>15</sup>N). *Trudü X. Mezsd. Kongr. Pocsvov*. **9**. 30—38. Moszkva. 1974.
- [62] SZEKENI, I.: Vlijanie mineral'nüh udobrenij na frakcii azota v pocsvah. V. Naucs. Konf. SZEVA. Transformacija azota v pocsve i effektivnoszt' azotnüh udobrenij. Bulgária. Szofija. 26—30. IX. 1978. (Megjelenés alatt)
- [63] SZEKENI, SZÉNÉ: Mútrágyzás és a talaj felvehető-N tartalma közötti összefüggés vizsgálata többéves szabadföldi kísérletben. *Egyet. Dokt. Dissz. Kézirat. MTA TAKI. Budapest*. 1980.
- [64] SZMIRNOV, P. M. & SILOVA, E. I.: Immobilizacija azota v pocsve pri vneszenii mecsennüh <sup>15</sup>N azotnüh udobrenij. *Izv. TSZHA*. (6) 92—99. 1970.
- [65] UNGER, H.: Der Zellulosetest eine Methode zur Ermittlung der zellulolytischen Aktivität des Bodens in Feldversuchen. *Z. PflErnähr. Düng. Bodenk.* **91**. 44—52. 1960.
- [66] VARGA, GY.: A talajokban előforduló különböző N vegyületek elemzése Bremner szerint. *Agrokémia és Talajtan*. **18**. 479—484. 1969.
- [67] VARJUSKINA, N. M., KIRPAEVA, L. I. & NIKITINA, M. M.: Rol' azota udobrenij v balansze azota pocsvü. *Agrohimiya*. (7) 10—16. 1974.
- [68] VINES, H. M. & WEDDING, R. T.: Some effects of ammonia on plant metabolism and a possible mechanism for ammonia toxicity. *Plant Physiol*. **35**. 820—825. 1960.
- [69] WELCH, L. F. & SCOTT, A. D.: Nitrification of fixed Ammonium in Clay Minerals as Affected by Added Potassium. *Soil Sci*. **90**. 79—83. 1960.

*Érkezet: 1979. november 16.*

## Studies on the Nitrogen Transformation in a Lime Coated Chernozem Soil in a Model Experiment

A. PUSZTAI and I. KÁDÁR

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

### Summary

The effect of N fertilizer applied in the form of  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  on the dry matter yield and N uptake of two growths of maize in the 6-leaf stage, and on the available  $\text{NH}_4\text{-N}$  and  $\text{NO}_3\text{-N}$  and the fixed  $\text{NH}_4\text{-N}$  content of the soil was examined in a pore experiment using lime coated chernozem soil with lime deposits. The intensity of the soil biological processes was characterised by means of the cellulose-decomposing activity. The investigations were then extended to include varying supplies of P and K in the soil, so that any possible interactions could be taken into account in the 4<sup>3</sup> type NPK fertilizer trials, carried out with 64 treatments in 2 replications. The main conclusions reached are as follows.

The yield of maize in the 6-leaf stage was increased 5-7 times by fertilization, compared to the non-fertilized control. Yield surpluses were caused principally by combined N and P fertilization; there were well-defined  $N \times P$  interactions. N fertilization tripled the N content of the plant on average, while P fertilization also increased it by about 20%. The recovery of N fertilizer utilisation was 14% at the  $P_0$  level and 20-22% at higher P levels. From a leaf diagnostic point of view the N content of the plants remained at a low level under greenhouse illumination conditions even in pots well supplied with N, but the N/P ratio gave a satisfactory indication of the extent of N supply in the plants.

The AL-P content of the soil increased linearly with the P doses, but around 30-40% of the P used, could not be recovered in the soil using this method. Nevertheless, N fertilization could be proved to increase the AL-P contents by reducing the P fixation. According to the AL-method, K fixation decreased with increasing doses of K, whereas the N fertilization level did not affect K fixation.

The absolute quantity of exchangeable  $NH_4$ -N in the soil remained low, rarely reaching 3 mg%. The  $NO_3$ -N content, however, increased from 3-4 mg% to 30-40 mg% due to the effect of fertilization; some of the N not taken up by the plants accumulated in the soil in this form. The amount of fixed  $NH_4$ -N demonstrably rose as the result of N fertilization, but the increase was not significant and was not proportionate to the surplus of N which remained in the soil.

Only 14-22% of the fertilizer N applied was taken up by the plants. An approximately identical amount could be demonstrated in mineral form in the soil, basically in the form of available  $NO_3$ -N +  $NH_4$ -N determined by BREMNER's method. Under the given conditions, 70-72% of the fertilizer N applied could not be traced. Considering the fact that the heat, precipitation and air-balance conditions in the pot experiment were favourable for the activity of soil microorganisms, it can be assumed that some of the N which was neither taken up by the plants nor could be demonstrated in mineral form by soil analysis was immobilised biologically. This seems to be indicated by the results of measurements on the cellulose-decomposing activity, which show that at satisfactory P levels the decomposition of cellulose increased 2-3 times due to the effect of N.

*Table 1.* Total amounts of nutrients applied in the experiment during the vegetation period of the two growths, 1978. Calculated as mg/kg soil and mg/pot.

*Table 2.* Effect of NPK levels on the cumulative dry matter yield of two growths of maize in the 6-leaf stage, g/pot, 1978. (1) NP levels: a) over the mean of P levels; b) over the mean of N levels; c) Mean. (2) Mean.

*Table 3.* Effect of N and P levels on the N% content and N/P ratio of maize in the 6-leaf stage over the average of the two growths. (1) P levels: a) N % over the mean of K levels; c) Mean. (2) Mean.

*Table 4.* Effect of NPK levels on the amount of N taken up by two growths of maize in the 6-leaf stage, mg/pot, 1978. For symbols, see Table 2.

*Table 5.* Effect of NPK levels on the AL-soluble nutrient content of the soil, mg%, 1978. (1) NP levels: a) AL-P over the mean of N levels; b) AL-P over the mean of P levels; c) Mean; d) AL-K over the mean of N levels; e) AL-K over the mean of P levels.

*Table 6.* Effect of NPK levels on the exchangeable  $NH_4$ -N and  $NO_3$ -N contents of the soil, 8-pot means, mg %, 1978. (1) NP levels: a)  $NH_4$ -N over the mean of N levels; b)  $NH_4$ -N over the mean of P levels; c) Mean; d)  $NO_3$ -N over the mean of N levels; e)  $NO_3$ -N over the mean of P levels. (2) Mean.

*Table 7.* Effect of N and P levels on the exchangeable, fixed and total mineral N content of the soil, mg %, 1978. (1) PK levels: a) exchangeable  $NH_4$ -N +  $NO_3$ -N over the mean of K levels; b) Mean; c) Fixed  $NH_4$ -N over the mean of K levels; d) Total mineral N over the mean of K levels; e) Fixed  $NH_4$ -N over the mean of P levels. (2) Mean.

*Table 8.* Effect of N and P levels on the N transformations in the soil, expressed as mg/pot or % N applied. (1) P levels: a) N applied, mg/pot; b) Surplus N taken up compared to control; c) Mean; d) N applied, as %; e) Bremner-N ( $NO_3$  +  $NH_4$ ) surpluses compared to control; f) Fixed  $NH_4$ -N surplus compared to control; g) Total N surplus found in plants and soil. (2) Mean.

*Table 9.* Effect of N and P levels on N balance in the soil and on recovery of N fertilizer, 1978. (1) P levels: a) N applied, mg/pot; b) Sheets of N balance, mg/pot; c) Mean; d) Recovery % by the balance method; e) Efficiency % by the difference method; f) Decomposed cellulose, as %. (2) Mean.

*Fig. 1.* Correlation between dry matter yield of maize at the 6-leaf stage and the N/P ratio over an average of two growths, 1978. Vertical axis: dry matter, g/pot.

## Untersuchung des Stickstoffumsatzes in einem Tschernozjomboden mit Kalkhüllen, im Modellversuch

A. PUSZTAI und I. KÁDÁR

Forschungsinstitut für Bodenkunde und Agrikulturchemie der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, Budapest

### Zusammenfassung

Es wurde die auf den Trockensubstanzertrag und die N-Aufnahme der 6-blättrigen Maispflanzen ausgeübte Wirkung des in Form von  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  gegebenen N-Mineraldüngers in einem auf einem Tschernozjomboden mit Kalkhüllen durchgeführten Gefäßversuch untersucht. Die Testpflanzen wurden zweimal nacheinander gepflanzt und bis zum 6-blättrigen Alter gezogen. Nach Ablauf des Versuches wurde auch der leichtlösliche  $\text{NH}_4\text{-N}$ , sowie  $\text{NO}_3\text{-N}$ , bzw. der fixierte  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gehalt des Bodens festgestellt. Die Intensität der bodenbiologischen Vorgänge wurde durch die Aktivität des Zelluloseabbaus gekennzeichnet. Die Untersuchungen wurden als Funktion der abweichenden P- und K-Versorgungsstufen des Bodens ausgewertet, um die möglichen Wechselwirkungen in diesem NPK-Versuch vom Typ 4<sup>3</sup> (= 64 Varianten) mit 2 Wiederholungen in Betracht ziehen zu können. Die wichtigsten Feststellungen sind die folgenden:

Wir haben den Ertrag des 6-blättrigen Maises mittels Düngung auf das 5–7-fache erhöht im Verhältnis zu der ungedüngten Kontrolle. Die Mehrerträge, wurden hauptsächlich durch die mit N und P zugleich durchgeführten Düngung bestimmt. Die N × P-Wechselwirkungen waren deutlich. Der N-Gehalt der Pflanzen wurde durch die N-Düngung im Mittel verdreifacht, durch die P-Düngung aber auch um rund 20% erhöht. Die Verwertung des N-Düngers betrug auf der P<sub>0</sub>-Stufe durchschnittlich 14%, auf den höheren P-Stufen 20–22%. Der N-Gehalt der Pflanzen blieb – vom blattdiagnostischen Standpunkt beurteilt – auch in den mit N gut versorgten Gefässen unter den Beleuchtungsverhältnissen des Gefäßhauses niedrig, das N/P-Verhältnis in den Pflanzen konnte dagegen die Stufen ihrer N-Versorgung geeignet widerspiegeln.

Der AL-P-Gehalt des Bodens stieg mit den P-Gaben linear an. Etwa 60–70% des verbrauchten P konnte somit nachgewiesen werden. Gleichzeitig erhöhte die N-Düngung die AL-P-Werte nachweisbar, d. h. die P-Adsorption wurde durch die N-Düngung vermindert. Nach der AL-Methode beurteilt verringerte sich die K-Bindung mit dem Anstieg der K-Gaben, die Menge der N-Düngung übte aber auf die K-Bindung keinen Einfluss aus.

Die absolute Menge des austauschbaren  $\text{NH}_4\text{-N}$  des Bodens blieb niedrig, sie erreichte nur selten 3 mg%. Der  $\text{NO}_3$ -Gehalt stieg von 3–4 mg% mit der N-Düngung auf 30–40 mg%. Ein Teil des von den Pflanzen nicht aufgenommenen N akkumulierte als Nitrat im Boden. Als Folge der N-Düngung stieg die fixierte  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Menge nachweisbar, diese Zunahme war aber gering und in keinem Verhältnis zum im Boden verbliebenen N-Überschuss.

Nur 14–22% der verwendeten N-Mineraldüngermenge wurden von den Pflanzen aufgenommen. Nahezu ähnliche Mengen konnten im Boden als mineralisierter Stickstoff in Form von leichtlöslichem  $\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$  mit Hilfe der BREMNER-Methode nachgewiesen werden. 70–72% der angewendeten N-Mineraldüngermenge konnten wir unter den gegenwärtigen Umständen nicht verfolgen. Da die günstigen Wärme-, Wasser- und Luftaushaltsverhältnisse des Gefäßversuches die Tätigkeit der Boden-Mikroorganismen förderten, kann angenommen werden, dass ein Teil des von den Pflanzen nicht aufgenommenen und mittels Bodenuntersuchungen in mineralisierter Form nicht auffindbaren N-Gehaltes des Bodens auf biologischem Wege immobilisiert wurde. Dafür sprechen die gefundenen Zelluloseabbauaktivitäten, die durch die Anwendung von N, nebst entsprechender P-Versorgung, auf das 2–3-fache stiegen.

Tab. 1. Gesamte Nährstoffgaben während der Vegetationsperiode der 2 Mais-Zuwächse, 1978. mg/kg Boden, bzw. mg/Gefäss.

Tab. 2. Wirkung der NPK-Stufen auf den kumulativen Trockensubstanzertrag der 2 Zuwächse des 6-blättrigen Maises, g/Gefäss, 1978. (1) NP-Stufen: a) im Mittel aller P-Stufen; b) im Mittel aller N-Stufen; c) Mittelwert. (2) Mittelwert.

Tab. 3. Wirkung der N und P-Stufen auf den N%-Gehalt und auf das N/P-Verhältnis des 6-blättrigen Maises im Mittel der beiden Zuwächse. (1) P-Stufen: a) N% im Mittel aller K-Stufen; b) Mittel; c) N/P-Verhältnis im Mittel aller K-Stufen. (2) Mittelwert.

Tab. 4. Wirkung der NPK-Stufen auf die durch die beiden Zuwächse des 6-blättrigen Maises aufgenommene N-Menge, mg/Gefäss, 1978. Bezeichnungen: s. unter Tab. 2.

*Tab. 5.* Wirkung der NPK-Stufen auf den AL-löslichen P-, sowie K-Gehalt des Bodens, mg%, 1978. (1) NP-Stufen: a) AL-P im Mittel aller N-Stufen; b) AL-P im Mittel aller P-Stufen; c) Mittel; d) AL-K im Mittel aller N-Stufen; e) AL-K im Mittel aller P-Stufen.

*Tab. 6.* Wirkung der NPK-Stufen auf den austauschbaren  $\text{NH}_4\text{-N}$ - und  $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalt des Bodens, Mittelwerte von je 8 Gefässen, mg%, 1978. (1) NP-Stufen: a)  $\text{NH}_4\text{-N}$  im Mittel aller N-Stufen; b)  $\text{NH}_4\text{-N}$  im Mittel aller P-Stufen; c) Mittel; d)  $\text{NO}_3\text{-N}$  im Mittel aller N-Stufen; e)  $\text{NO}_3\text{-N}$  im Mittel aller P-Stufen. (2) Mittelwert.

*Tab. 7.* Wirkung der N- und P-Stufen auf den austauschbaren, den fixierten, sowie den gesamten mineralischen N-Gehalt des Bodens, mg%, 1978. (1) PK-Stufen: a) austauschbares  $\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$  im Mittel aller K-Stufen; b) Mittel; c) fixiertes  $\text{NH}_4\text{-N}$  im Mittel aller K-Stufen; d) gesamtes mineralisches N im Mittel aller K-Stufen; e) fixiertes  $\text{NH}_4\text{-N}$  im Mittel aller P-Stufen. (2) Mittel.

*Tab. 8.* Wirkung der N- und P-Stufen auf den N-Umsatz des Bodens, mg/Gefäss, bzw. im % der N-Gaben. (1) P-Stufen: a) N-Gaben, mg/Gefäss; b) Überschuss im aufgenommenen N verglichen mit der ungedüngten Variante; c) Mittel; d) in % der N-Gabe; e) Überschuss im Bremner-N ( $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ ) verglichen mit der ungedüngten Variante; f) Überschuss im fixierten  $\text{NH}_4\text{-N}$  verglichen mit der ungedüngten Variante; g) gesamter N-Zuwachs in der Pflanze und im Boden. (2) Mittelwert.

*Tab. 9.* Wirkung der N- und P-Stufen auf die N-Bilanz des Bodens und auf die Verwertung des N-Düngers, 1978. (1) P-Stufen: a) N-Gaben, mg/Gefäss; b) Saldos der N-Bilanz, mg/Gefäss; c) Mittel; d) Verwertungsprozent nach der Bilanzmethode; e) Verwertungsprozent nach der Differenzmethode; f) Menge der zersetzten Zellulose, in %. (2) Mittelwert.

*Abb. 1.* Zusammenhang zwischen dem Trockensubstanzertrag des 6-blättrigen Maises und seinem N/P-Verhältnis, im Mittel der 2 Zuwächse, 1978. Ordinate: Trockensubstanz, mg/Gefäss.

## Изучение в модельных опытах круговорота азота в мицелярном черноземе

А. ПУСТАИ и И. КАДАР

Научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии Венгерской Академии Наук, Будапешт

### Резюме

В вегетационных опытах на мицелярном черноземе изучали влияние N-минерального удобрения, вносимого в форме  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , на урожай сухой массы двух отростков кукурузы в возрасте 6-ти листьев, усвоение азота растениями, на содержание в почве легкорастворимых  $\text{NH}_4\text{-N}$  и  $\text{NO}_3\text{-N}$ , а также фиксированного  $\text{NH}_4\text{-N}$ . Интенсивность почвенно-биологических процессов характеризовали целлюлозоразрушающей активностью. В опыте по внесению NPK — минеральных удобрений заложенном по типу 4<sup>3</sup>, в 64 вариантах и двух повторностях, для изучения возможных взаимосвязей исследования проводили на различных уровнях обеспеченности почвы фосфором и калием. На основании полученных результатов можно сделать следующие основные заключения:

Удобрения в 5—7 раз увеличили урожай сухой массы кукурузы в возрасте 6-ти листьев по сравнению с неудобренным контролем. Прибавки урожая получили, в основном, за счет совместного внесения азота и фосфора, взаимосвязи N/P были хорошо выраженными. Азотные удобрения в среднем утроили содержание азота в растениях, фосфорные удобрения увеличили его содержание на 20%.

В среднем усвоение азота на уровне  $P_0$  проходило на 14%, на более высоких уровнях внесения фосфорных минеральных удобрений — на 20—22%. Содержание азота в растениях с точки зрения диагностики листьев, при оранжерейном освещении оставалось низким даже на вариантах хорошо обеспеченных азотом, однако, соотношение N/P в достаточной мере характеризовало обеспеченность растений азотом.

Содержание в почве  $\text{AL-P}$  линейно возрастало с увеличением доз фосфора, надо заметить, что использованный нами метод не позволяет выявить 30—40% внесенного фосфора. В то же время под влиянием внесения азотных удобрений достоверно повысилось содержание  $\text{AL-P}$ , его связывание снизилось. Фиксация калия, определенного  $\text{AL}$ -методом, снижается по мере увеличения доз калия, уровень внесения азотных минеральных удобрений не влияет на его фиксацию.



Абсолютное содержание обменного  $\text{NH}_4 - \text{N}$  остается низким, редко достигает 3 мг%. В то же время под влиянием внесения удобрений содержание  $\text{NO}_3$  увеличивается с 3–4 мг% до 30–40 мг%, некоторая часть не усвоенного растениями азота накапливается в почве в этой форме. Достоверно увеличилось содержание фиксированного  $\text{NH}_4 - \text{N}$  под влиянием азотных минеральных удобрений, но это увеличение было незначительным и не было пропорционально избытку азота, остающемуся в почве.

Растения усвоили всего 14–22% от внесенных азотных минеральных удобрений. Примерно такое же количество, в основном легкорастворимых  $\text{NO}_3\text{N} + \text{NH}_4 - \text{N}$ , определенных по методу Бремнера, оставалось в почве в минеральной форме. В условиях данного опыта мы не могли проследить за судьбой 70–72% вносимых азотных минеральных удобрений. Поскольку благоприятная температура, осадки и влажность воздуха в опыте безусловно способствовали деятельности почвенных микроорганизмов, можно предполагать, что одна часть азота не усвоенного растениями и не определяемого в минеральной форме данными методами почвенного анализа, иммобилизовалась биологическим путем. Об этом говорят результаты измерения целлюлозоразрушающей активности, показывающие, что под влиянием азота, на благоприятном уровне обеспеченности фосфором целлюлозоразрушающая активность увеличилась в 2–3 раза.

*Табл. 1.* Общее количество питательных элементов, внесенных в вегетационные периоды двух поколений растений, 1978. В мг/кг почвы и мг/вегетационный сосуд.

*Табл. 2.* Влияние уровней внесения NPK на общий урожай сухой массы двух отростков кукурузы в возрасте 6-ти листьев, г/сосуд, 1978. (1) Уровни внесения азота и фосфора: а) В среднем по фосфору; б) В среднем по азоту; в) Среднее. (2) Среднее.

*Табл. 3.* Влияние уровней внесения азота и фосфора на процентное содержание азота в кукурузе в возрасте 6-ти листьев и на соотношение N/P в среднем по двум поколениям растений. (1) Уровни фосфора: а) Процент азота в среднем по калию; б) Среднее. в) Соотношение азота и фосфора, в среднем по калию; (2) Среднее.

*Табл. 4.* Влияние уровней внесения NPK на количество азота, усвоенного двумя отростками кукурузы в возрасте 6-ти листьев, мг/сосуд, 1978. Обозначения смотри в таблице 2.

*Табл. 5.* Влияние уровней внесения NPK на содержание питательных элементов, растворимых в АЛ, мг%, 1978. (1) Уровни внесения: а) АЛ–Р, в среднем по азоту; б) АЛ–Р, в среднем по фосфору; в) Среднее; д) АЛ–К, в среднем по азоту; е) АЛ–К, в среднем по фосфору.

*Табл. 6.* Влияние уровней внесения NPK на содержание в почве обменных  $\text{NH}_4 - \text{N}$  и  $\text{NO}_3 - \text{N}$ , среднее из 8 сосудов, мг%, 1978. (1) Уровни внесения азота и фосфора: а)  $\text{NH}_4 - \text{N}$  в среднем по азоту; б)  $\text{NH}_4 - \text{N}$  в среднем по фосфору; в) Среднее; д)  $\text{NO}_3 - \text{N}$  в среднем по азоту; е)  $\text{NO}_3 - \text{N}$  в среднем по фосфору. (2) Среднее.

*Табл. 7.* Влияние уровней внесения азота и фосфора на содержание в почве обменного, фиксированного и общего минерального азота, мг%, 1978. (1) Уровни РК: а) Обменные  $\text{NH}_4\text{N} + \text{NO}_3 - \text{N}$  в среднем по калию; б) Среднее; в) Фиксированный  $\text{NH}_4 - \text{N}$  в среднем по калию; г) Среднее; д) Фиксированный  $\text{NH}_4 - \text{N}$  в среднем по калию; е) Общий минеральный азот в среднем по калию; в) Фиксированный  $\text{NH}_4 - \text{N}$  в среднем по фосфору. (2) Среднее.

*Табл. 8.* Влияние уровней внесения азота и фосфора на круговорот азота в почве, мг/сосуд или в процентах от внесенного азота. (1) Уровни фосфора: а) Внесенный азот, мг/сосуд; в) Дополнительно усвоенный азот по сравнению с контролем; г) Среднее; д) Внесенный азот в %, е) Прибавки азота, определенного по Бремнеру ( $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ ) по сравнению с контролем; ф) Прибавка фиксированного  $\text{NH}_4 - \text{N}$  по сравнению с контролем; г) Общие прибавки азота в растении и в почве. (2) Среднее.

*Табл. 9.* Влияние уровней внесения азота и фосфора на баланс азота в почве, а также на усвоение азотного удобрения, 1978. (1) Уровни фосфора: а) Внесенный азот в мг/сосуд; б) Составные балансы азота мг/сосуд; в) Среднее. д) Процентное усвоение определенное по балансу; е) Процентное усвоение, определенное по методу разниц; ф) Разрушившаяся целлюлоза в %. (2) Среднее.

*Рис. 1.* Связь между урожаем сухой массы кукурузы в возрасте 6-ти листьев и соотношением азота и фосфора, в среднем по двум отросткам, 1978. По вертикальной оси: Сухое вещество в г/сосуд.