

A nitrogénműtrágya vertikális mozgásának vizsgálata szabadföldi kísérletben ¹⁵N indikációval

VARGA GYULA és SZŰCS LÁSZLÓ

MTA Izotóp Intézete és MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest

A tápanyag-vesztésekre vezető anyagátalakulási és transzport folyamatok vizsgálata napjaink egyik szükségszerű és sürgető kutatási feladata. A kérdés fontossága túlnő a mezőgazdasági tudományok keretein, mivel bizonyos tápanyagok kedvezőtlen mértékű akkumulációja a táplálékláncon keresztül kihat az állat és az ember egészségére, valamint más úton kedvezőtlen hatást gyakorolhat a természeti környezetre is.

A nemzetközi szakirodalomban közzétett kísérleti adatok alapján egyértelműen megállapítható és általánosan elfogadott tény, hogy a nitrogén migrációja elsősorban a könnyű mechanikai összetételű talajokon lehet jelentős [5, 6, 9]. Mivel hazánkban kiterjedt homokterületeken folytatunk növénytermesztést [1, 4] és a termések növelésében a nitrogénműtrágyák fokozott használatának is döntő jelentősége van [8], így a nitrogéntápanyag kilúgozódásának potenciális lehetősége elvileg nálunk is fennáll.

Ezért célul tűztük ki, hogy a stabilis ¹⁵N izotópjelzés módszerét alkalmazva vizsgáljuk laboratóriumi és szabadföldi kísérletekben a nitrogénműtrágyák mozgását és az azt befolyásoló főbb tényezőket.

Egy korábbi közleményben a laboratóriumi modellkísérletek módszerét már ismertettük [11]. Jelen munkában a szabadföldi kísérletek céljára kialakított eljárásról és e vizsgálatok eredményeiről adunk számot.

Kísérleti anyag és módszer

A kísérlet elsődleges célja annak megállapítása volt, hogy az ammónium-nitrát-műtrágya mélységirányú mozgását a könnyű mechanikai összetételű talajon a természetes nyári és téli csapadék, továbbá az öntözővíz és a jelző-növény hogyan befolyásolja.

A talajt úgy választottuk meg, hogy tulajdonságai a tápanyagmozgás szempontjából ne legyenek szélsőségesek (pl. futóhomok). A talajszelvényben a víz mozgását vízzáró réteg (pl. kovárványcsík) ne akadályozza. A talajvíz a felszín alatt lehetőleg mélyen helyezkedjen el (3—4 m), hogy a felfelé irányuló tápanyagmozgás lehetősége minimális legyen. A kísérlet talaja e szempontoknak megfelelően könnyű mechanikai összetételű talaj, mely a MTA Talajtani

és Agrokémiai Kutató Intézetének Órbottyáni Kísérleti Telepén egy 12 éves tartamkísérlet kb. 6×40 méteres szegélyén terül el.

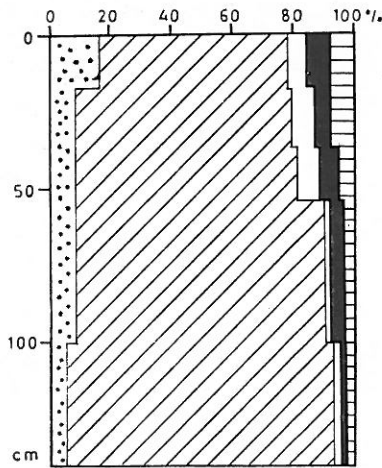
Tekintettel a talajtakaró heterogenitására, valamint arra, hogy a laboratóriumi modellkísérletekhez is ugyanennek a talajnak különböző szintekből vett mintáit használjuk [11], egy talajszelvény feltárását és teljes analizését is elvégeztük, melyet röviden ismertetünk:

A talajszelvény leírása:

- A 0—37 cm Nedves állapotú, sötét (gesztenye) barna színű, humuszos homok. Hajszálgökökkel gyengén átszőve.
- B 37—54 cm Nedves állapotú, sötét (gesztenye) barna színű, a C szintből bekevert gilisztajáratos homok. Kevés hajszálgökök-maradványal.
- C₁ 54—97 cm Nedves állapotú, gyengén szürkés világossárga színű, helyenként humuszfoltos (krotovinás) homok.
- C₂ 97— Szürkés világossárga, nedves homok. Elszórtan világosabb foltokkal tarkítva.

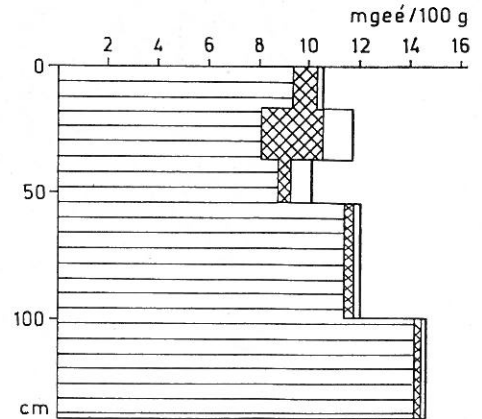
Talajtípus: Csernozjom barna erdőtalaj. Erdőmaradványos csernozjom homokon.

A laboratóriumi vizsgálatok közül a mechanikai elemzés adatait az 1. ábrán, az A-szintre vonatkozó alapvizsgálat adatait az 1. táblázatban, az adszorpciós viszonyokra jellemző adatokat a 2. ábrán, míg a talajszelvény humusz és mészfóliáját a 3. ábrán mutatjuk be. Az adatok alapján megállapítható,



1. ábra

A talajszelvény mechanikai összetétele.



2. ábra

A talajszelvény kicserélhető kationjai.

I. táblázat

A kísérletben felhasznált talaj agrokémiai szempontból fontosabb jellemzői

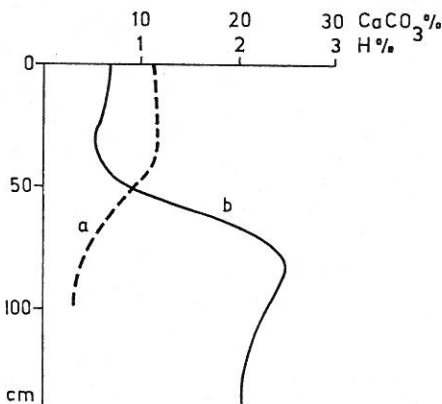
(1) Talajtípus	(2) Fizikai talaj- léleség	(3) Minta- vételi mély- ség, cm	pH		CaCO ₃ %	hy	(4) Hu- musz, %	(5) T-érték, mgeé/ 100 g	(6) Összes N, mg%	(7) AL (Domingo)	
			H ₂ O	KCl						P ₂ O ₅	K ₂ O
Erdőmarad- ványos csernozjom homokon	homok	0—17 17—37	8,1	7,8	6,69	0,80	1,11	14,62	61,6	5,8	5,2
			8,1	7,8	5,02	0,82	1,16	14,62	56,5	4,9	8,0

hogy a kísérletben felhasznált talaj az ismertett kísérleti célkitűzéseknek mindenben megfelel.

A jelzőnövény kiválasztásánál az volt a fő szempont, hogy a nitrogén-tápanyagot jól hasznosítsa, lehetőleg tökéletes fedettséget biztosítson, gyökérzete dús legyen és viszonylag sekély rétegben helyezkedjen el. E szempontok miatt választottuk jelzőnövényül a bojtos gyökérzetű angol perjét.

Az öntözővíz mennyiségét úgy választottuk meg, hogy az nagyságrendileg a kísérlet időtartama alatt várható természetes csapadék mennyiségével azonos, illetve annak kétszerese legyen. Az öntözött parcellák ezt figyelembe véve kaptak 200, ill. 400 mm csapadéknak megfelelő öntöző vizet.

A mikroparcellák talajait „Humofina” homokkötő anyaggal bevont acél csövekkel határoltuk el egymástól. A 12 db 40 cm átmérőjű csöveket egy sorban, egymástól 2—2 m-es távolságban helyeztük el a 4. ábrán látható módon. Így elértük, hogy a talajszelvény nem sérült meg és nem is tömörült. Ezután a felső 5 cm-es talajréteget eltávolítottuk. A mindkét csoporton ¹⁵N-ben 10,466 atom %-ra dúsított ammóniumnitrát-műtrágyát 2512 mg N/edény mennyiségben [200 kg N/ha.] 6170 mg szuperfoszfáttal [100 kg P₂O₅/ha.] és 5000 mg kálióval [160 kg K₂O/ha.] összekevertük és egyenletesen a parcellák felületére szórtuk. Ezután az 5 cm-es talajréteget visszahelyeztük. A kísérleti területen váltakozva két növény nélküli és két angol perjével bevetett sávot létesítettünk. A kontroll mintákat ezekről a sávokról vettük. Az egyes parcellákat a négy blokkban véletlen elrendezés szerint a következő módon kezeltük:

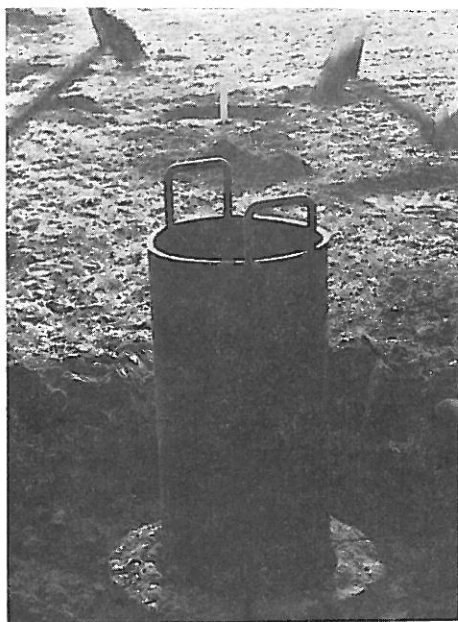


3. ábra
A szelvény humusz (a) és műtrágyaszétválasztási (b) görbéi.

- No. 1 és 8 NPK, természetes csapadék,
- No. 2 és 9 NPK, természetes csapadék
+ 200 mm öntözővíz,

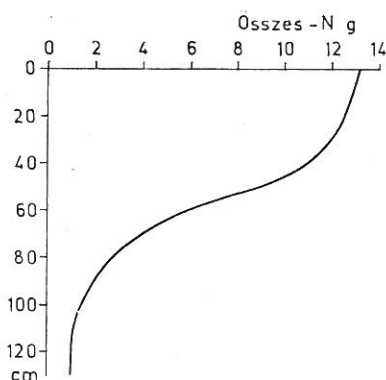
No. 3 és 7	NPK,	természetes csapadék +400 mm öntözővíz,
No. 4 és 11	NPK,	természetes csapadék, angol perje
No. 5 és 10	NPK,	természetes csapadék +200 mm öntözővíz, angol perje
No. 6 és 12	NPK,	természetes csapadék +400 mm öntözővíz, angol perje

A műtrágyát 1973. április 18-án munkáltuk a talajba. A vetés a kedvezőtlen időjárás miatt csak május 2-án történt. A vetés napján minden edényegységesen 2 l vizet kapott a kelés elősegítésére. Május 3-tól szeptember 3-ig az öntözött parcellák hetente két alkalommal 700, ill. 1400 ml öntözővizet kaptak. Az öntözővíz összes mennyisége így 200,6 mm, ill. 401,2 mm, kereken 200 és 400 mm csapadéknak felelt meg. A jelzőnövényt a kísérlet időtartama alatt háromszor vágtuk és az utolsó vágás után a mikroparcellákból 10 cm-es rétegenként átlagmintát vettünk. Ez a következő módon történt: a 10 cm-es talajréteget teljesen eltávolítottuk, homogenizáltuk és ebből kb. 1 kg-nyi átlagmintát vettünk. A mintákból szárítószekrényes módszerrel nedvességet,



4. ábra

Az edények lehelyezése, a mikroparcellák talajszelvényeinek izolálása. Az edények 40 cm átmérőjű, 6 mm falvastagságú, belga gyártmányú „Humofina” homokkötőanyaggal bevont, élezett peremű acélsövek. Egymástól 2 m-es távolságban vannak lehelyezve. Mintavételezés: 0–130 cm mélységig 10 cm-es rétegenként a talajréteg eltávolítva és kb. 1 kg átlagminta véve.



5. ábra

A kontroll szelvények nitrogénprofilja (összes nitrogén 10 cm-es rétegenként g-ban).

BREMNER eljárásai szerint [2, 12] kicserélhető $\text{NH}_4\text{-N}$ tartalmat, illetve az összes nitrogént és ebből a módosított MI-1305 tömegspektrométerrel [10] a nitrogén izotópösszetételét határoztuk meg. A növénymintákat vágásonként összes nitrogénre és ^{15}N -tartalomra analizáltuk. A kísérlet végén a felső 10 cm-es talajrétegből, melyben a gyökérzet fő tömege helyezkedett el, a gyökérrészt különválasztottuk és összes nitrogénre, valamint ^{15}N -re analizáltuk.

Az őszi-téli csapadék kilúgozó hatásának vizsgálata céljából 1973. október 19-én két csövet (No. 13, 14) újból lehelyeztünk és edényenként az ismertett mennyiségű műtrágyákat adtuk 5 cm mélyre. A talajmintavétel 1974. március 28-án történt, az előző mintavételezéshez hasonlóan. Az átlagmintából elvégzett analízisek is — egy kivétellel — azonosak voltak. A kicserélhető $\text{NH}_4\text{-N}$ és a $\text{NO}_3\text{-N}$ meghatározását elhagytuk.

A kísérleti eredmények ismertetése és értékelése

A kísérleti adatok alapján elsőként a műtrágyából eredő nitrogén meghatározására szolgáló két eljárást, éspedig az izotóphígításos analízist és a különbségi eljárást (az összes nitrogéntartalom változása alapján) hasonlítjuk össze.

Az 5. ábrán a kontroll szelvények 0—130 cm-es rétegeinek összes nitrogéntartalma látható. Ha ezt összehasonlítjuk a 6. ábrán bemutatott adatokkal, amelyek a műtrágyából eredő nitrogén mennyiségét és térbeli elhelyezkedését mutatják a kezelt talajszelvényekben, a következőket állapíthatjuk meg:

1. A kontroll szelvényekben a vizsgált mélységig kereken 33-szor annyi nitrogén van, mint amennyit a kezelt parcellákra adtunk.

2. A műtrágya-N hígulásának mértéke a talajban ezzel szemben, ha rétegenként 10 mg műtrágya-N-t még ki akarunk mutatni, maximálisan 1300-szoros is lehet! Ilyen nagy hígulás az adott kísérletben a kezelt parcellák 20—40 cm-es rétegeiben fordulhatott elő. Máshol a hígulás mértéke legfeljebb néhány százszoros volt.

3. Ha pl. az alkalmazott 10,466 atom % ^{15}N -re dúsított műtrágya-N 10, 100 és 1000-szeresére hígul, akkor a ^{15}N relatív gyakorisága rendre: 1,2788, 0,4660 és 0,3767 atom % lesz.

4. A talaj szerves nitrogénjének izotópösszetétele a ^{15}N természetes variációja miatt elérheti a 0,3740 atom % értéket is [3]. Ezért egyrészt csak az e feletti ^{15}N többlet tekinthető első közelítésben műtrágyából eredőnek [7]. Másrészt a 0,3767 és a 0,3740 értékek közötti különbség már csak precíziós eljárással mérhető.

5. Mi a kontroll szelvények nitrogénjének izotópösszetétele alapján kereken 0,38 atom % ^{15}N értékkel számoltunk. Nagypontosságú izotóparány-méréseket nem állt módunkban végezni.

Ezeknek a rétegenként mért műtrágya-N mennyisége szempontjából csak akkor van komolyabb jelentőségük, ha a minta ^{15}N -tartalma a természetes variáció közelébe esik (esetünkben ezerszeres hígulásnál).

A 2. táblázat tartalmazza a kontroll és a nitrogénműtrágyával kezelt parcellák rétegenkénti átlagos nitrogéntartalmát. Az adatokból megállapítható, hogy a különbségek az összes nitrogén-meghatározás hibahatárain belül vannak.

2. táblázat

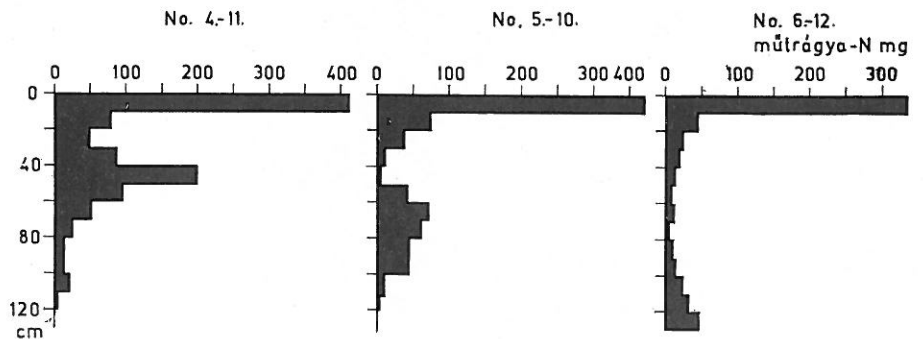
A talajrétegek nitrogéntartalmának változása (összes N mg/100 g talaj)

(1) Vizsgált szelvények	(2) Talajréteg mélysége, cm												
	0— 10	10— 20	20— 30	30— 40	40— 50	50— 60	60— 70	70— 80	80— 90	90— 100	100— 110	110— 120	120— 130
a) Kontroll szelvény n = 4	61,6	61,7	53,5	56,5	53,8	50,6	30,9	23,9	16,9	15,5	11,2	7,4	5,3
b) Kezelt szelvény n = 12	61,5	60,6	59,6	57,4	53,1	47,3	30,2	20,1	14,4	11,8	8,6	6,6	6,6

A kísérleti adatok alapján levonható az a következtetés, hogy az izotóp-hígításos analízissel a műtrágyából eredő nitrogén térbeli elhelyezkedése a talajszelvényben — az esetenkénti túlzott hígulás ellenére is — egyértelműen és megbízhatóan adható meg. Ezzel szemben az adott kísérletben a talajszelvények összes nitrogénjének változása alapján (különbbségi eljárás) a műtrágya-N mozgására és térbeli elhelyezkedésére objektív következtetés nem vonható le.

A nitrogénműtrágya mélységirányú mozgásában, az izotópjelzés segítségével, a növényzet és a csapadék hatására jelentős változásokat lehetett megfigyelni. A kísérlet vonatkozó adatait a 3., 4., 5. táblázatokban és a 6., 7., 8. ábrákon foglaltuk össze.

A növényzet nélküli kezelések talajszelvényeiben mindössze 208—420 mg műtrágyából eredő nitrogén volt kimutatható (3. táblázat). Ez a talajhoz adott műtrágya-nitrogénnek a kezelésektől függően 8,3—16,7%-a. Ennek jelentős része — a növekvő csapadék mennyiségének megfelelő sorrendben és a kezelések átlagában — kereken 40, 50, illetve 58 %-a a felső 10 cm-es rétegben maradt, ahová a műtrágyát elhelyeztük (5. táblázat). A természetes csapadékot (236,8 mm) kapott parcellák talajszelvényeiben (No. 1, 8) rétegenként



6. ábra

A műtrágya-N mélységirányú eloszlása a talajszelvényekben a kísérlet befejezésekor mg-ban.

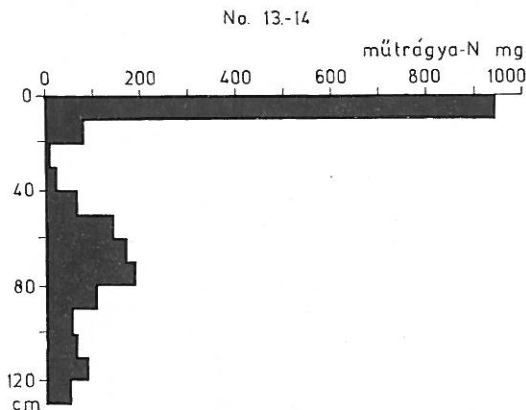
3. táblázat

A műtrágyából eredő nitrogén mennyisége a növényben és a talajban (mg)

(1) Kezelés	(2) Talajszelvény	(3) Növény	(4) Gyökér	(5) Gyom	(6) Összesen	(7) Kezelés átlag	(8) Kezelés átlag a talajhoz adott műtrágya-N %-ában
No. 1	285			30	315	420	16,7
No. 8	494			34	526		
No. 2	227			24	251	244	9,7
No. 9	219			17	236		
No. 3	219			13	232	208	8,3
No. 7	179			4	183		
No. 4	1107	547	103		1757	1768	70,4
No. 11	954	683	142		1779		
No. 5	800	466	73		1339	1440	57,3
No. 10	711	691	138		1540		
No. 6	585	529	76		1190	1186	47,2
No. 12	542	543	97		1182		

10–40 mg műtrágyából eredő nitrogént mutattunk ki. A 200 mm öntözővizet kapott parcellák talajszelvényeiben (No. 2, 9) a vizsgált mélységig göcökben elszórtan, míg a 400 mm-nek megfelelő vízmennyiséggel öntözött parcellák szelvényeiben (No. 3, 7) jelentősebb mennyiségben csak a 0–60 cm-es rétegekben lehetett műtrágyából eredő nitrogént kimutatni. A nitrogénműtrágya nyoma azonban a vizsgált mélységig egyértelműen észlelhető volt.

A növényzet nélküli parcellák talajszelvényeiben a vizsgált mélységig tehát a talajhoz adott nitrogénműtrágyának 83,3–91,7%-át nem találtuk meg. Ennek okai a kimosódási és feltehetően a denitrifikációs folyamatok voltak.



7. ábra

Az őszi–téli csapadék kilúgzó hatása. A műtrágya-N mennyisége mg-ban. 1973. október 19. és 1974. március 28. között a csapadék mennyisége 132,8 mm volt. N = 2512 mg N/edény (200 kg N/ha).

4. táblázat

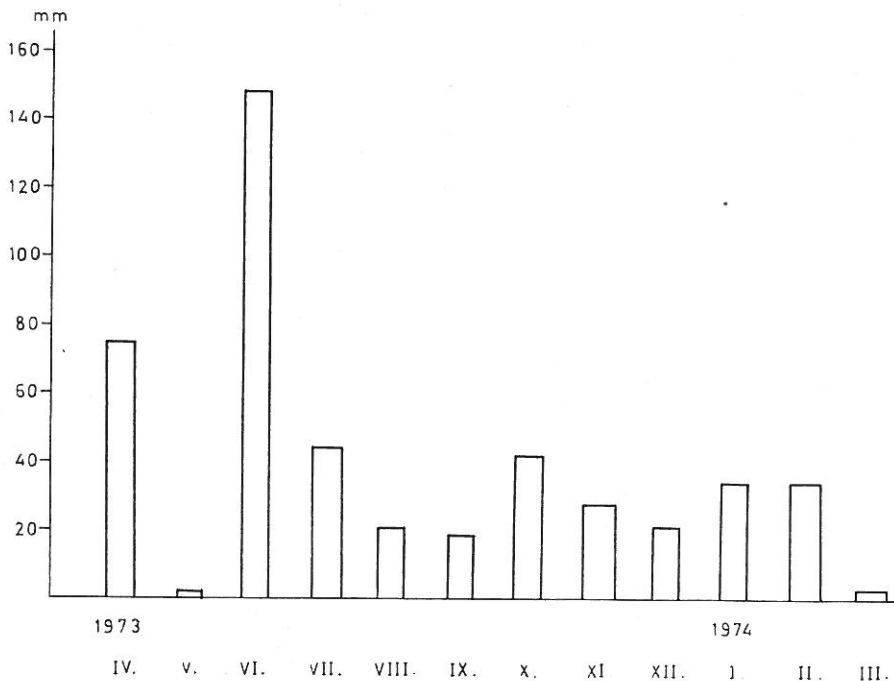
A növények nitrogénjének izotópösszetétele ^{15}N atom%-ban

(1) Kezelés átlagok	(2) Kaszálások időpontja		
	VI. 20.	VII. 19.	IX. 4.
No. 4 és 11	6,79	7,46	7,14
No. 5 és 10	6,30	6,55	5,49
No. 6 és 12	6,11	5,78	3,23

A kezelt parcellák és a kontroll parcellák talajainak $\text{NH}_4\text{-N}$ és $\text{NO}_3\text{-N}$ tartalma a meghatározás hibahatárán belül azonos volt a vizsgált 130 cm-es mélységig. Nitrát-, vagy nitritfelhalmozódást a szelvényekben nem találtunk.

A nitrogénműtrágya mélységirányú mozgását illetően lényegesen kedvezőbb a kép a növényzettel fedett parcellákon.

A növények a műtrágyából a kezelések átlagában gyakorlatilag azonos mennyiségű nitrogént vettek fel (3. táblázat). Ugyanakkor a növény nitrogénjének izotópösszetételében a mintavétel időpontjától és a csapadék mennyiségétől függően már jelentős eltérések figyelhetők meg (4. táblázat). Az öntözet-



8. ábra

A csapadék alakulása a kísérlet ideje alatt.

5. táblázat

A műtrágya-N mennyisége a növényzet nélküli talajszelvényekben

(1) Kezelések	(2) Az egész szelvényben, mg N	(3) A felső 10 cm-es rétegben, mg N	(4) A felső réteg műtrágya-N-je a szel- vényben kimutatott %-ában
No. 1	285	117	40
No. 8	494	189	
No. 2	227	106	50
No. 9	219	118	
No. 3	219	125	58
No. 7	179	106	

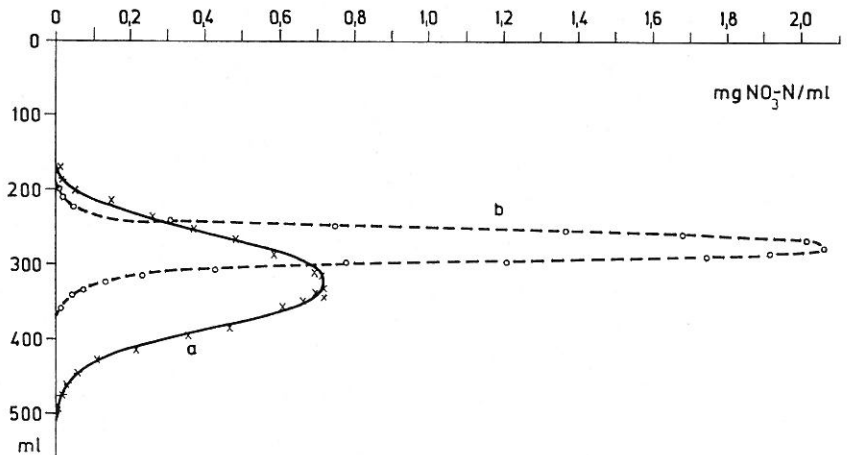
len parcellák fűmintáiban (No. 4, 11) a nitrogén izotópösszetétele a kísérlet egész időtartama alatt csak kismértékben ingadozott. Ezekben a parcellákon a műtrágya-N jelentős része a kísérlet végén is a gyökérszóna közelében a felső 0–60 cm-es talajrétegben helyezkedett el (6. ábra). Hasonlóan csekély a különbség az első kaszálás fűmintái nitrogénjének izotópösszetételében, ha azt a csapadék mennyiségének függvényében vizsgáljuk. Ez azzal magyarázható, hogy a kísérlet kezdeti periódusában az öntözővíz még nem gyakorolhatott lényeges hatást a műtrágya mélységirányú mozgására, illetve a növény fejlődésére, és így a műtrágyából történő nitrogénfelvételre sem. A második, főleg pedig a harmadik kaszálás idejére, amikor az öntözés hatására a műtrágya mélységirányú eloszlásában már jelentős különbségek kialakulhattak, a növényi nitrogén izotópösszetétele jelentősen és egyértelműen csökkent az öntözővíz növekvő mennyiségével. A növények izotópösszetételében a relatív különbség a kísérlet végén már 55%. Ez annak lehet a következménye, hogy a csapadék hatására a mélységirányban mozgó nitrogénműtrágya és a növény gyökérzete közötti kapcsolat egyre jobban megszakadhat. Ezt a feltevést támasztja alá az a kísérleti tény, hogy az öntözött parcellák talajszelvényeiben a műtrágya-N eloszlásában, a gyökérszóna mélységirányú kiterjedéséhez viszonyítva, a kísérlet végére már lényeges különbségek figyelhetők meg. A természetes csapadékot kapott parcellákon a kísérlet időtartama alatt nem hasznosított, és mélységirányban mozgó műtrágya-N zömmel a 30–70 cm-es talajrétegben halmozódott fel. A plusz 200 mm öntözővizet kapott parcellák talajszelvényeiben a felhalmozódás helye az 50–100 cm-es talajrétegekbe helyeződött át. A 400 mm öntözővizet kapott parcellák talajain a vizsgált 130 cm-es mélységig a maximum helye már nem található meg, de az egy méter alatti rétegekben a műtrágya-N mennyisége egyértelműen nő. A C szintben, ahol a mozgást korlátozó tényezők már alig éreztetik hatásukat, a nitrogén mélységirányú mozgása relative gyorsul. Ez összhangban van a laboratóriumi modellkísérletekben ugyanennek a talajnak az A + B és a C szintjeiből vett, eredeti szerkezetű mikromonolitjaival folytatott kilúgozási kísérleteink [11] még nem publikált adataival. Ennek illusztrálására bemutatjuk a 9. ábrán modellkísérleteink vonatkozó adatait. Az ábra adatai alapján egyértelműen megállapítható, hogy azonos

mennyiségű nitrogén (100 mg N) kilúgozásához — változatlan feltételek mellett — fele annyi vízmennyiség és természetesen fele annyi idő szükséges. A szabadföldi kísérletben 200 mm csapadéknak megfelelő vízmennyiség kb. 30 cm-es mélységirányú mozgást eredményezett a C₁ szintig. A C₁–C₂ szintekben ugyanennyi öntözővíz hatására láthatóan nagyobb, feltételezhetően kétszer akkora a műtrágya-N elmozdulása.

A kísérleti adatok alapján a közvetlenül öntözés hatására bekövetkezett nitrogénvesztés — függetlenül attól, hogy a műtrágya-N kilúgozódott-e, vagy közvetett módon, denitrifikáció útján gázalakban távozott-e a talajból — maximálisan 23%. Jelentős a veszteség azonban azokban a kezelésekben is, melyeknél a műtrágya mélységirányú mozgása láthatóan nem szolgálhat a veszteség okául. Ezt valószínűleg a denitrifikációs és a párolgási folyamatok okozhatják, amelyek a talajoldat pH-ját tekintve, az adott kísérlet természetes feltételei mellett (csapadék, hőmérséklet, stb.) játszódhatnak le. A kísérletben a maximális veszteség kerekén 53% volt.

A friss átlagmintákból végzett analízisek adatai szerint a kontroll parcellák és a kezelt parcellák NH₄-N tartalma a meghatározás hibahatárain belül azonos volt a vizsgált 130 cm-es mélységig. A NO₃-N mennyisége rétegenként mintegy 5–15 mg N-nel meghaladta a kontroll parcellákét, de ezek alapján a műtrágya-N térbeli elhelyezkedésére semmiféle következtetést nem lehetett levonni.

A téli csapadék kilúgozó hatását a 6. ábrán mutatjuk be. A kísérlet ideje alatt lehullott csapadék mennyisége 132,8 mm volt. A talajszelvényekben (No. 13, 14) összesen 1916 mg műtrágyából eredő nitrogént mutattunk ki, azaz a talajhoz adott nitrogénnek 76,3%-át. A műtrágyabevitel helyén 940 mg nitrogén maradt. Harminc cm-nél mélyebbre mosódott be a vizsgált 130 cm-es mélységig kimutatott műtrágya-nitrogénből 900 mg, a talajszelvényben



9. ábra

A NO₃-N kilúgozása homokon kialakult erdőmaradványos csernozjom talaj természetes szerkezetű, 50 cm hosszú mikromonolitjaiból. A kilúgozott NO₃-N mennyisége mindkét esetben 100 mg N. a) A + B-szint; b) C-szint. A C-szintben (97 cm alatt) azonos mennyiségű NO₃-N kilúgozásához fele annyi csapadék szükséges.

levő műtrágya-N-nek kereken 47%-a. A nitrogénműtrágya az 50–90 cm-es talajrétegekben halmozódott fel, de jelentős mennyiségű műtrágyából eredő nitrogént tartalmaztak a 90 cm-nél mélyebb rétegek is.

Összefoglalás

Mikroparcellás szabadföldi kísérletben vizsgáltuk ^{15}N indikációval a nitrogénműtrágya mélységirányú mozgását a növényzet, a természetes csapadék és az öntözővíz hatására. A kísérletet homokon kialakult, könnyű mechanikai összetételű talajon végeztük. A jelzőnövény angol perje volt. A csapadék mennyisége 237 mm. Az öntözővíz mennyisége 200 mm és 400 mm csapadéknak felelt meg.

A növényzet nélküli parcellák 0–130 cm-es rétegeiben a talajhoz adott nitrogénműtrágyának mindössze 8,3–16,7%-át mutattuk ki, a kezeléskéntől függően. Az angol perjével bevetett, de öntözetlen talajokon és a növényzetben a kísérletben alkalmazott nitrogénműtrágya 70%-át mutattuk ki. A 200, illetve 400 mm csapadéknak megfelelő öntöző vízzel öntözött kezelésekre vonatkozóan ez az érték kereken 57, ill. 47%-nak adódott.

Az öntözés hatására a műtrágya-N mélységirányú eloszlásában jelentős különbségek alakultak ki. Ez egyértelműen tükröződött a növények nitrogéntartalmának izotópösszetételében is. A természetes csapadékot kapott parcellákon a műtrágya zömmel a 30–70 cm-es talajrétegekben halmozódott fel. A felhalmozódás helye a plusz 200 mm öntözővíz hatására az 50–100 cm-es talajrétegekbe helyeződött át. A 400 mm öntözővizet kapott parcellák 0–130 cm mély talajszelvényében a maximum helye már nem volt megtalálható, de az egy méter alatti rétegekben levő műtrágya-N mennyisége egyértelműen nőtt.

Az őszi-téli csapadék hatására is jelentős a nitrogénműtrágya mélységirányú mozgása. A talajhoz adott nitrogénnek tavasszal már csak 76,3%-át mutattuk ki a 0–130 cm-es talajszelvényben. Az e rétegben talált műtrágya-N-nek kereken 47%-a harminc cm-nél mélyebben mosódott be a talajba. A felhalmozódás helye a 30–90 cm-es talajréteg volt, de jelentős volt az ez alatti rétegek műtrágya-N tartalma is.

Irodalom

- [1] ANTAL, J., EGERSEGI, S. & PENYIGÉY, D.: Növénytermesztés homokon. Mezőgazd. Kiadó. Budapest. 1966.
- [2] BREMNER, J. M. & SHAW, K.: Denitrification in soil. I. Methods of investigation. J. Agric. Sci. 51. 22–39. 1958.
- [3] EDWARDS, A. P.: Isotope effects in relation to the interpretation of $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ratios in tracer studies. IAEA(SM-191/32). Vienna. 1974.
- [4] EGERSEGI, S.: A homoktalajok mély termőrétegének kialakítása. Kandidátusi értekezés. Budapest. 1960.
- [5] GARDNER, W. R.: Movement of Nitrogen in Soil. Soil Nitrogen, Agronomy No. 10. Ed. W. V. Bartholomew and F. E. Clark. Madison. 1965.
- [6] HAUCK, R. D. & BYSTROM, M.: ^{15}N A selected bibliography for agric. scientists. The Iowa State Univ. Press. Ames. 1970.
- [7] HAUCK, R. D. et al.: Use of variations in natural N-isotope abundance for environmental studies. A questionable approach. Science. 177. 453. 1972.
- [8] LÁNG, I.: Műtrágyázási tartamkísérletek homoktalajokon. Akadémiai Doktori értekezés. Budapest. 1973.

- [9] TERRY, D. L. & McCANTS, C. B.: The leaching of ions in soils. Techn. Bull. No. 184. North Carolina Agricultural Exp. Sta. 1968.
- [10] VARGA, GY. & BECZNER, K.: Módosítások az MI-1305 típusú tömegspektrométeren. Izotóptechnika. **16.** (1). 32–36. 1973.
- [11] VARGA, GY. & BECZNER, K.: Eljárás és berendezés a műtrágyanitrogén migrációjának vizsgálatához. Agrokémia és Talajtan. **24.** 140–150. 1975.
- [12] VARGA, GY. & LATKOVICS, GY.-né: A nitrogénműtrágyák talajban végbemenő változásainak vizsgálata. I. Bremner néhány módszerének alkalmazása hazai talajokra. Agrokémia és Talajtan. **18.** 453–460. 1969.

Érekezett: 1975. november 9.

Investigation on the Leaching of Nitrogen Fertilizers by Labelling with ^{15}N in the Field

G. VARGA and L. SZŰCS

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

Summary

The leaching of N fertilizers as affected by plant cover, rainfall and irrigation water was studied by means of ^{15}N labelling in a micro-plot field experiment. The experiment was conducted on a light textured soil developed on sand, and rye-grass was used as indicator plant. The amount of irrigation water corresponded to 200 and 400 mm of rainfall, respectively.

At the end of the experiment, fertilizer-N amounted only to 8.3–16.7% (depending on the treatments) in the 0–130 cm soil layer of plots without plant cover. The high loss — 83.3–91.7% — was caused mainly by leaching and, probably, also by denitrification processes. The possibility of some loss due to volatilization (of ammonia) cannot be ruled out either.

The leaching of N fertilizers was far more restricted under rye-grass. Irrigation caused, however, considerable differences in the vertical distribution of fertilizer-N, as compared to the downward extension of the root zone. This was clearly indicated also by the isotope composition of the N content of plants.

On non-irrigated plots 70% of the applied fertilizer-N was found in the plants and in the soil profile. The 30% loss, in this case, cannot be attributed to the leaching of the N fertilizer; it was caused, most probably, by denitrification and volatilization processes developing under the given natural conditions (rainfall, temperature, pH, etc.) of the experiment. The maximum loss caused by irrigation was 23%.

On non-irrigated plots fertilizer-N accumulated between 30–70 cm in the profile, while on plots receiving 200 mm of irrigation water, N accumulation occurred between 50–100 cm. In those cases, when 400 mm of irrigation water was applied, the maximum of N accumulation did not occur within the investigated profile (0–130 cm) but below 100 cm the amount of fertilizer-N increased with depth.

On plots without plant cover fall and winter precipitation caused a considerable leaching of N fertilizers. Only 76.3% of the applied N could be detected in the soil profile down to 130 cm. 47% of fertilizer-N was leached below the depth of 30 cm. The accumulation horizon was found between 30–90 cm, but the fertilizer-N content of the sub-jacent layers was also considerable.

Table 1. Some relevant characteristics of the experimental soil. (1) Soil type: chernozem with forest remnants, developed on sand. (2) Texture: sand. (3) Sampling depth, cm. (4) Humus, %. (5) CEC, me/100 g soil. (6) Total N content, mg%. (7) $\text{AL-P}_2\text{O}_5$ and $\text{AL-K}_2\text{O}$, mg%.

Table 2. Changes in the nitrogen content of the soil layers (total N content, mg/100 g soil). (1) Investigated profiles: a) control profile (the average of 4 profiles, $n = 4$); b) treated profile (the average of 12 profiles, $n = 12$). (2) Depth of soil layers, cm.

Table 3. The amount of fertilizer-N in the plants and in the soil, mg. (1) Treatment. Nos. 1 and 8: NPK, rainfall; Nos. 2 and 9: NPK, natural precipitation, irrigation

(200 mm); Nos. 3 and 7: NPK, natural precipitation, irrigation (400 mm); Nos. 4 and 11: NPK, natural precipitation, rye-grass; Nos. 5 and 10: NPK, natural precipitation, irrigation (200 mm), rye-grass; Nos. 6 and 12: NPK, natural precipitation, irrigation (400 mm), rye-grass. NPK → N = 2512 mg N/plot (200 kg N/ha); in the case of both groups ammonium nitrate enriched to 10 · 466 atom per cent in ¹⁵N; P = 6710 mg superphosphate (100 kg P₂O₅/ha); K = 5000 mg KCl (160 kg K₂O/ha). Natural precipitation: 236.8 mm. Irrigation: from 3rd May till 3rd September, 36 times. Every time 700—1400 ml of irrigation water (corresponding to 200—400 mm of natural precipitation), respectively, was applied. (2) Soil profile. (3) Plant. (4) Root. (5) Weed. (6) Total. (7) Average of treatment. (8) Average of treatment in the percentage of fertilizer-N given to the soil.

Table 4. Isotope composition of N in the plants, in ¹⁵N atom per cent. (1) Average of treatment. (2) Date of cuttings: 20th June; 19th July; 4th Sept.

Table 5. Amount of fertilizer-N in soil profiles without plant cover. (1) Treatment. (2) In the whole profile, mg N. (3) In the 10 cm thick top layer, mg N. (4) Amount of fertilizer-N in the top layer, in the percentage of fertilizer-N detected in the profile.

Fig. 1. Mechanical composition of the soil profile.

Fig. 2. Exchangeable cations in the soil profile.

Fig. 3. Humus (a) and CaCO₃ distribution (b) curves of the profile.

Fig. 4. Insertion of tubes for isolating the soil profiles of the micro-plots. The sharp-edged steel tubes (wall thickness: 6 mm; diameter: 40 cm) coated with „Humofina” sand fixing material (made in Belgium) were inserted 2 meters apart. Sampling: 1—1 kg of average sample was taken from 10 cm thick soil layers, to a depth of 130 cm.

Fig. 5. Distribution of N in the control profiles (total amount of N by 10 cm thick layers, g).

Fig. 6. Distribution of fertilizer-N (mg) within the soil profiles at the end of the experiment.

Fig. 7. Leaching effect of fall and winter precipitation. Amount of fertilizer-N in mg. Between 19th Oct. 1973 and 28th March 1974 precipitation amounted to 132.8 mm. N = 2512 mg N/plot (200 kg N/ha).

Fig. 8. Natural precipitation during the experiment.

Fig. 9. Leaching of NO₃-N in undisturbed micro-monoliths (50 cm in length) of a chernozem with forest remnants developed on sand. In both cases the amount of NO₃-N leached is 100 mg. a) A + B horizon; b) C horizon. To leach the same amount of NO₃-N from the C horizon (below 97 cm) half as much precipitation is enough.

Untersuchung der vertikalen Bewegung des Mineraldüngerstickstoffes auf Freiland durch ¹⁵N-Indikation

GY. VARGA und L. SZÜCS

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

Zusammenfassung

Auf Mikroparzellen wurde die vertikale Bewegung des Mineraldünger-N-s mit ¹⁵N-Indikation in Beziehung mit der Vegetation, dem natürlichen Niederschlag und der Bewässerung untersucht. Der Versuch wurde auf einem auf Sand entstandenen leichten Boden durchgeführt. Die Testpflanze war Weidelgras. Die Bewässerung entsprach einem Niederschlag von 200 bzw. 400 mm.

An Ende des Versuches wurde in der 0—130 cm Schicht der Parzellen ohne Vegetation je nach den Varianten nur 8,3—16,7% des mit dem Mineraldünger dem Boden zugeführten Stickstoffes nachgewiesen. Die Hauptursachen des Verlustes von 83,3—91,7% waren die Vorgänge der Auswaschung und vermutlicherweise die der Denitrifikation. Auch der Verlust durch Verdampfen von NH₃ kann eindeutig nicht ausgeschlossen werden.

Auf den mit Weidelgras besäten Parzellen war die Bewegung des Mineraldünger-N-s schon viel beschränkter. Als Wirkung der Bewässerung entstanden aber in der Tiefenverteilung des Stickstoffes im Verhältnis zur Tiefe der Wurzelzone bereits bedeutende Unterschiede. Dies spiegelte sich auch eindeutig in der Isotopenzusammensetzung des N-Gehaltes der Pflanzen. In den Böden ohne Bewässerung war teils in den Pflanzen, teils im Bodenprofil 70% des verwendeten N-Wirkstoffes wiederzufinden. Der Verlust

betrug rund 30%. Dies kann nicht der Tiefenbewegung des Stickstoffs zugeschrieben werden. Er soll infolge der unter den natürlichen Verhältnissen (Niederschlag, Temperatur, pH, usw.) sich abspielenden Denitrifikations- und Verdunstungsvorgänge entstehen. Auf den bewässerten Parzellen erhöhte sich der N-Verlust höchstens bis 23% der N-Gabe.

Auf den Parzellen mit natürlichem Niederschlag häufte sich das sich nach unten bewegende N meist in der 30—70 cm Schicht auf. In den Bodenprofilen der mit 200 mm bewässerten Parzellen verlegte sich die Anhäufungszone zwischen 50—100 cm, während sie in den Böden der mit 400 mm bewässerten Parzellen bis zu 130 cm nicht zu finden war. In den Schichten unter 1 m war aber ein Zuwachs der ^{15}N -Konzentration nachzuweisen.

Auf Einwirkung des Niederschlags in den Herbst-Winter Monaten ist die Tiefenbewegung des Mineraldünger-N-s in den Parzellen ohne Vegetation bedeutend. Es war im 0—130 cm Bodenprofil 76,3% der N-Gabe nachzuweisen. 47% war tiefer als 30 cm eingewaschen mit einer Anhäufungsschicht zwischen 30—90 cm. Der ^{15}N -Gehalt der noch tiefer liegenden Schichten war auch bedeutend.

Tab. 1. Wichtigere agrilkulturchemische Charakteristiken des Bodens. (1) Bodentyp. Tschernosjom mit Waldresten auf Sand. (2) Physikalische Bodenart. Sand. (3) Tiefe der Probenahme, cm. (4) Humus %. (5) T-Wert, mval/100 g Boden. (6) Gesamtes N, mg%. (7) $\text{AL-P}_2\text{O}_5$, mg%, $\text{AL-K}_2\text{O}$, mg%.

Tab. 2. Änderung des N-Gehaltes der Bodenschichten infolge der N-Mineraldüngung. (Gesamtes N mg/100 g Boden.) (1) Untersuchte Profile: a) Kontrolle, Mittelwert von 4 Wiederholungen ($n = 4$). b) Behandeltes Profil, Mittelwert von 12 Wiederholungen ($n = 12$). (2) Tiefe des Bodenprofils in cm.

Tab. 3. Die aus dem Mineraldünger stammende N-Menge in den Pflanzen und im Boden in mg. (1) Behandlung. No. 1 und 8 NPK, natürlicher Niederschlag. No. 2 und 9 NPK, natürlicher Niederschlag + 200 mm Bewässerung. No. 3 und 7 NPK, natürlicher Niederschlag + 400 mm Bewässerung. No. 4 und 11 NPK, natürlicher Niederschlag Weidelgras. No. 5 und 10 NPK, natürlicher Niederschlag + 200 mm Bewässerung, Weidelgras. No. 6 und 12 NPK, natürlicher Niederschlag + 400 mm Bewässerung, Weidelgras. $\text{NP} \rightarrow \text{N} = 2512$ mg N/Parzelle (200 kg N/ha) in ^{15}N bei beiden Gruppen auf 10,466 Atom% angereichertes Ammoniumnitrat; $\text{P} = 6710$ mg Superphosphat (100 kg P_2O_5 /ha); $\text{K} = 5000$ mg Kalisalz (160 kg K_2O /ha). Natürlicher Niederschlag: 236,8 mm. Bewässerung vom 3. V. bis 3. IX. 36-mal, in jedem Fall 700 ml Wasser (≈ 200 mm Niederschlag), bzw. 1400 ml Wasser (≈ 400 mm Niederschlag). (2) Bodenprofil. (3) Pflanze. (4) Wurzeln. (5) Unkraut. (6) Insgesamt. (7) Mittelwert der Behandlungen. (8) Mittelwert der Behandlungen im % der N-Gabe.

Tab. 4. Isotopenzusammensetzung des Pflanzenstickstoffes in ^{15}N -Atom%. (1) Mittelwert der Behandlungen. (2) Zeitpunkt der Schnitte.

Tab. 5. Menge des Mineraldünger-N-s in den Bodenprofilen der Behandlungen ohne Vegetation. (1) Behandlungen. (2) mg N im ganzen Profil. (3) mg N in der obersten 10-cm-Schicht. (4) Mineraldünger-N der obersten Schicht im % des Mineraldünger-N-s im ganzen Profil.

Abb. 1. Mechanische Zusammensetzung des Bodenprofils.

Abb. 2. Austauschbare Kationen des Bodenprofils.

Abb. 3. Humus- (a) und Kalkverteilungskurven (b) des Bodenprofils.

Abb. 4. Absetzung der Gefässe. Isolierung der Bodenprofile der Mikroparzellen. Die Gefässe sind aus Stahlröhren mit 6 mm Wanddicke und 40 cm Durchmesser hergestellt und mit dem belgischen Sandbindemittel »Humofina« überzogen. Sie haben einen abgeschliffenen Rand. Sie sind in einer Entfernung von 2 m voneinander abgesetzt. Probenahme: In einer Tiefe von 0—130 cm wurden die Schichten je 10 cm entfernt und eine ungefähr 1 kg wiegende Bodenprobe genommen.

Abb. 5. N-Profil der Kontroll-Profile (gesamtes N je 10 cm Schicht, in g).

Abb. 6. Verteilung des Mineraldünger-N-s im Bodenprofil bei Beendigung des Versuchs, in mg.

Abb. 7. Auswaschung des Herbst-Winter-Niederschlags. Menge des Mineraldünger-N-s, in mg. Die Menge des Niederschlags zwischen dem 19. X. 1973. und dem 28. III. 1974 betrug 132,8 mm. $\text{N} = 2512$ mg N/Gefäß (200 kg N/ha).

Abb. 8. Niederschlagsmenge während des Versuches.

Abb. 9. Auslaugung des NO_3 -N-s aus einem 50 cm hohen Mikromonolit von natürlicher Struktur eines sich auf Sand entstandenen Tschernosjomboden mit Waldresten. Die ausgelagte NO_3 -N-Menge war in beiden Fällen 100 mg N. a) Horizont A + B; b) Horizont C. Im Horizont C (unterhalb von 97 cm) ist zum Auslaugen der gleichen Menge NO_3 -N die halbe Niederschlagsmenge notwendig.

Изучение вертикального передвижения азотных минеральных удобрений в полевых опытах методом индикации изотопом N^{15} .

Д. ВАРГА и Л. СЮЧ

Институт Изотопов ВАН и Научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии ВАН, Будапешт

Резюме

В полевых микроделяночных опытах с помощью изотопа N^{15} изучали передвижение азотных минеральных удобрений по почвенному профилю под влиянием растительности, атмосферных осадков и поливных вод. Опыт проводили на почве легкого механического состава, образовавшейся на песке. Подопытным растением был райграсс английский. Норма поливной воды соответствовала 200 и 400 мм атмосферных осадков.

Содержание азота в конце опыта в слое 0–130 см на делянках без растительности — в зависимости от вариантов — было всего 8,3–16,7%. Потеря 83,3–91,7%-ов азота объясняется вымыванием или может быть процессом денитрификации. Не исключены потери (аммиака) при испарении.

Миграция азота на делянках с посевом райграсса английского была более ограниченной. Значительные различия наблюдали в вертикальном распределении азота по почвенному профилю под влиянием поливной воды по сравнению с глубиной залегания корневой зоны. Это хорошо отражалось и в изотопном составе содержащегося азота в растениях.

В растениях на неорошаемых почвах и в самой почве нашли 70% внесенного в почву азотного минерального удобрения. Потеря азота в этом случае составляла 30%-ов. Это нельзя связать с миграцией азота вниз по профилю. Причину потери азота, по всей вероятности, можно объяснить, наряду с природными условиями опыта (осадки, температура, pH и т. п.), процессами денитрификации и испарения. Максимальная потеря азота под влиянием орошения была 23 процента.

Накопление основной массы азотных минеральных удобрений, мигрирующих вниз по профилю под влиянием действия атмосферных осадков, наблюдали на глубине 30–70 см. На делянках, получивших дополнительно 200 поливной мм воды, глубина накопления минеральных удобрений переместилась в слой 50–100 см, в вариантах получивших дополнительно 400 мм поливной воды такого максимума скопления азота не обнаружили до изученной глубины (130 см), но отметили, что в слоях почвы, залегающих глубже одного метра, содержание азотных минеральных удобрений бесспорно возросло.

Миграция азотных минеральных удобрений под влиянием осенне-зимних осадков была значительно ниже на почвах лишенных растительности. Весной в слое 0–130 см обнаружили только 76,3% от внесенного в почву азотного минерального удобрения. 47% азота, находящегося в этом слое, мигрировало в слой глубже 30 см. Максимум скопления азота минеральных удобрений наблюдали на глубине 30–90 см, но содержание его было значительным и в нижележащих слоях.

Табл. 1. Агрохимическая характеристика почв использованных в опыте. (1) Тип почвы: Лесоостаточный чернозем на песке. (2) Механический состав почвы — песок. (3) Глубина взятия образцов в см. (4) Гумус %. (5) Величина емкости поглощения Т в мг.экв. / 100 г. (6) Общий азот в мг%. (7) АЛ (Доминго), P_2O_5 мг%, K_2O мг%.

Табл. 2. Изменение содержания азота в слоях почвы под влиянием внесения минеральных удобрений (общий азот в мг/100 г почвы). (1) Изученные почвенные разрезы. а) Контрольный разрез, среднее из четырех повторностей ($n = 4$). б) Обработанный разрез, среднее из 12 повторностей ($n = 12$). (2) Глубина почвенного слоя в см.

Табл. 3. Количество азота в почве и растениях, происходящего из азотного минерального удобрения, мг. (1) Вариант. № 1 и 8 НРК, атмосферные осадки. № 2 и 9 НРК, атмосферные осадки + 200 мм оросительной воды. № 3 и 7 НРК, атмосферные осадки, + 400 мм оросительной воды, № 4 и 11 НРК, атмосферные осадки райграсс английский. № 5 и 10 НРК, атмосферные осадки + 200 мм поливной воды, английский райграсс. № 6 и 12 НРК, атмосферные осадки + 400 мм оросительной воды райграсс английский. НРК → N = 2512 мг азота/делянка (200 кг азота/га), в обеих группах азотнокислый аммоний обогащенный N^{15} до 10,466 атом%. P = 6710 мг суперфосфата (100 кг P_2O_5 /га); K = 5000 мг калийной соли (160 кг K_2O /га). Атмосферные осадки 236,8 мм. Орошение проводили с 3 мая до 3 сентября в 36 случаях, при каждом поливе использовали 700 мл воды (–200 мм осадков), или 1400 мл воды (–400 мм осадков). (2) Почвенный разрез. (3)

Растение. (4) Корень. (5) Сорняк. (6) Всего. (7) Среднее по вариантам. (8) Среднее по вариантам в %-ах от азотных минеральных удобрений внесенных в почву.

Табл. 4. Изотопный состав азота растений N^{15} в атом.%. (1) Среднее по вариантам. (2) Время укоса.

Табл. 5. Количество азота азотного минерального удобрения в почве лишенной растительности. (1) Вариант. (2) Во всем разрезе N в мг. (3) В верхнем 10 см слое почвы, N мг. (4) Количество азота минерального удобрения, обнаруженное в верхних слоях почвы в % от азота минерального удобрения, определенного во всем почвенном профиле.

Рис. 1. Механический состав почвенного разреза.

Рис. 2. Обменные катионы почвы.

Рис. 3. Кривые распределения в почвенном профиле гумуса (а) и карбонатов (б).

Рис. 4. Резмещение сосудов, изоляция микроделяночных почвенных разрезов. Сосуды представляют собой стальные цилиндры с заостренными краями, с диаметром в 40 см, толщиной стенок 6 мм, покрытые материалом «Гумофина», связывающим песок, бельгийского производства. Цилиндры расположены в 2-х м друг от друга. Взятия образцов: до глубины 130 см через каждые 10 см начиная от поверхности почвы. Вес почвенных образцов примерно 1 кг.

Рис. 5. Распределение азота в контрольном профиле почвы (общий азот в г в 10 см слоях почвы).

Рис. 6. Распределение азота минеральных удобрений по почвенному профилю в конце опыта, в мг.

Рис. 7. Выщелачивающее влияние осенне-зимних атмосферных осадков. Количество азота минеральных удобрений в мг. В период с 19 октября 1973 года до 28 марта 1974 года количество осадков составляло 132,8 мм, азот — 2512 мг/сосуд (200 кг азота/га).

Рис. 8. Формирование выпадения осадков за период опыта.

Рис. 9. Выщелачивание NO_3-N из микромонолита лесостаточного чернозема с ненарушенной структурой образовавшегося на песке. Количество выщелоченного NO_3-N в обоих случаях было 100 мг. а) А + В горизонт; б) С горизонт. Для выщелачивания подобного количества азота из горизонта С (глубже 97 см) потребовалось вдвое меньше осадков.