

Nitrátlemosódás vizsgálata liziméteres és szabadföldi tartamkísérletben

SZALÓKINÉ ZIMA ILDIKÓ és SZALÓKI SÁNDOR

Halászati és Öntözési Kutatóintézet, Szarvas

A talaj anyagforgalmában a tápanyag-gazdálkodásnak és a vízháztartási folyamatoknak meghatározó szerepük van (VÁRALLYAY & MOLNÁR, 1993). Ezek szabályozásánál korábban csak gazdasági szempontokat vettek figyelembe, az utóbbi évtizedben azonban egyre nagyobb súlyt kapnak a környezeti hatások is (KÁDÁR, 1992), amelyek közül a vizek nitrátszennyezése és a talaj savanyodása a leginkább érintett terület.

A nitrátlemosódást a szivárgó víz vizsgálatával lehet legkönnyebben kimutatni, amit leggyakrabban a liziméterek és a drének szivárgó vizéből nyernek. Ilyen vizsgálatokat már régóta nagyon sokan végeznek liziméterekkel (AMBERGER, 1979; BEHRENDT et al., 1999; BÖHM et al., 1999; KNAPPE et al., 1994; NÉMETH, 1996; NYÍRI & KARUCZKA, 1989; SCHINDLER et al., 1999 stb.). A szivárgó víz vizsgálatával kapcsolatban megállapították, hogy annak *mennyisége* elsősorban a csapadéktól, a talajtól, a növényzettől és a leszivárgás mélységétől, *összetétele és koncentrációja* pedig a fentiekén kívül a tápanyagellátás mértékétől, módjától és idejétől is függ. E sok tényező számtalan kombinációja más–más N-kimosódást eredményezett. AMBERGER (1979) liziméteres kísérletei szerint a N-pótlás mértéke és a növény faja módosítja leginkább a lemosódó nitrát mennyiségét. GOULDING és munkatársai (2000) 157 éves tartamkísérletben azt tapasztalták, hogy a liziméterekből leszivárgó víz $\text{NO}_3\text{-N}$ -koncentrációja 150–200 kg N/ha alatti műtrágyaadagoknál csak abban az esetben haladta meg a 11 mg/l töménységet, ha hosszabb szárazság után keletkezett a szivárgó víz.

Egyetértés van abban, hogy a csapadék (mennyisége, eloszlása és intenzitása) az egyik legjelentősebb tényező a víznek és a tápanyagoknak a talajban és annak felszínén lejátszódó vertikális és horizontális mozgásánál. Öntözéskor azonban a vízpótlás szabályozható, így az nem feltétlenül növeli a tápanyagok lemosódását. SCHINDLER és munkatársai (1999) ezzel kapcsolatban megállapították, hogy intenzív öntözés és műtrágyázás hatására a növények a nagyobb terméssel több nitrogént vettek fel, aminek következtében a talajban és a szivárgó vízben kevesebb nitrogén maradt, mint a nem öntözött kezeléseknél – sőt, a

biotermesztéshez viszonyítva is alig több a talaj és a szivárgó víz NO_3 -tartalma – ugyanakkor a termésátlagokban nagy különbségek voltak.

MUNDEL (1987) a vertikális anyagmozgásban az evapotranszspiráció szerepét emeli ki, amelynek fokozása mérsékli a leszivárgást, elősegíti a kapilláris vízemelkedést, emellett a magasabb evapotranszspirációhoz kapcsolódó nagyobb terméssel együtt járó fokozott N-felhasználás csökkenti a nitrát lemosódását a talajvízbe. Hasonló megállapításra jutott SZALÓKI (1992), valamint BEHRENDT és munkatársai (1999), akik a talajvíz-lizimétereknél azt tapasztalták, hogy a felszínhez közeli talajvízszint (50–100 cm-ig) lehetőséget ad a növények vízigényének kielégítésére, az evapotranszspiráció és a termésátlag növelésére, ezzel együtt a N-felhasználás fokozására. RÉZHEGYI és HELTAI (1984) liziméterben jelzett nitrogénnel vizsgálták a N-kimosódást és megállapították, hogy az 1 m mélységu talajszelvényen átszivárgott víz N-tartalmának 36–47 %-a, az 1,5 m-es rétegen átjutó vízben viszont már csak a 10 %-a származott a N-mutrágából, a dréncsővek mélységétől, az évszaktól és a trágyázástól függoen. THYLL (1984) a dréncsővekben 40–410 mg/l közötti nitrátkoncentrációt talált.

A kutatási eredmények azt is bebizonyították, hogy a túlzott tápanyag-adagolás és öntözés a talajban is érzékelhető változást okozhat. FÜLEKY és DEBRECZENI (1994) szerint a növekvő mutrágyaadagok csökkentik a talaj Ca- és Mg-tartalmát, növelik a pH értékét, és ezzel együtt a vízben oldható Fe- és Al-mennyiséget.

A nagyadagú N-mutrágázás hatására bekövetkező nitráttartalom-növekedést a talajban a tartamkísérletekben több helyen kimutatták. FÜLEKY és KOVÁCS (1994), valamint NÉMETH (1994) a NO_3 -felhalmozódás maximumát a 2 m körüli, minimumát pedig a 40–80 cm közötti mélységben találták. Szerintük az 1 m-nél mélyebbre lemosódó nitrogén elvész a növények számára. BLASKÓ és ZSIGRAI (1994) a nitrogén felhalmozódását a 80–180 cm közötti rétegben találták, ahol a csúcserték (50 mg/kg) 140 cm mélységben jelentkezett, és a minimális érték 300 cm mélységben közelít a nullához. NÉMETH és munkatársai (1988) tartamkísérlet eredményei alapján megállapítják, hogy a 100 kg N/ha/év hatóanyagú N-mutrágya a kontrollhoz képest alig növeli a talaj nitrát-tartalmát, és nem mutatható ki felhalmozódás egyik rétegben sem. 200–300 kg N/ha mutrágyaadagok kijuttatása esetén azonban a 60–180 cm közötti rétegben 10–20-szorosára nő a talaj NO_3 -tartalma, és még a 200–300 cm közötti rétegben is 10, illetve 20 mg N/kg mennyiség található. KÁDÁR és NÉMETH (1993) arra is rámutatnak, hogy a bemosódás mélysége az 5–6 m-t is eléri.

Az irodalmi áttekintésből megállapítható, hogy a tápanyagpótlásra felhasznált anyagok mennyisége, minősége és a felhasználás módja lényegesen befolyásolja azok hasznosulását, felhalmozódását és a belőlük fellépő veszteségeket, közöttük a szivárgó vízzel lemosódó anyagok mennyiségét is.

A szivárgó víz mennyiségét alapvetően a vízmérleg egyensúlya, vagyis az evapotranszspiráció és a talajra jutó vízmennyiségek egymáshoz való viszonya határozza meg. A víz a talajra felülrol érkezik, és lefelé mozog, a növények

viszont alulról felfelé szállítják a vizet, és az ásványi anyagokat. Véleményünk szerint a fenntartható földhasználatnak alapvető feltétele az, hogy a két ellentétes folyamat hosszú távon egymással egyensúlyban legyen (SZALÓKINÉ ZIMA, 2001). A talajnak ugyan jelentős kiegyenlítő képessége van, különösen az ásványi anyagok forgalma tekintetében, azonban – ha az egyensúly bármelyik irányba tartósan és nagy arányban eltolódik – súlyos környezeti és gazdasági következményekkel járhat.

Jelen közleményben kísérleti munkánkra alapozva a víz- és tápanyagok forgalmával – közülük is elsősorban a nitrát forgalmával – kapcsolatos eredményeink ismertetésére kerül sor.

Anyag és módszer

A kísérletek a szarvasi – korábban az Öntözési Kutatóintézethez, jelenleg a Halászlati és Öntözési Kutatóintézethez tartozó – Liziméteres Kísérleti Telepen folynak, amely 1971-ben épült 320 db liziméterrel. A kísérlet 5 blokkból áll, blokkonként 64–64 db liziméterrel. Az $1 \times 1 \times 1$ m (1 m^3) méretű liziméterek a 32 m^2 -es parcellák közepén vannak beépítve.

A kísérlet 5 blokkjából háromban kéttényezős tartamkísérlet folyik 30 éve 16 kezeléskombinációval, 4 ismétléssel, split-plot elrendezéssel:

A *fo blokkban a vízellátási fokozatok*: a_1 : öntözetlen kontroll; a_2 : az öntözővízigény $1/3$ -ával öntözött; a_3 : az öntözővízigény $2/3$ -ával öntözött; a_4 : a növények igénye szerint öntözött. [Az igény szerinti öntözés azt jelenti, hogy a talaj felső 10–30 cm-es rétegében a felvehető (diszponibilis) nedvességtartalom mindig 50 % telítettségi szint felett kell, hogy legyen. Ennek folyamatos ellenőrzése úszó liziméterekkel és talajnedvesség-méréssel történik.]

Az öntözést földre fektetett, vagy a parcellákéval azonos méretű, keretre szerelt mozgatható parcellaöntöző berendezésekkel csepegtető módszerrel végezzük. Ily módon a kívánt vízmennyiséget pontosan és egyenletesen ki tudjuk juttatni.

A *fo blokkokon belül tápanyagellátási fokozatok* vannak: $b_1, b_2, b_3, b_4 = 100; 200; 300; 400$ kg NPK/ha hatóanyaggal 2:1:1 arányú megoszlásban. A kezeléskombinációk száma 16, melyek jelölése két számjeggyel történik. Az első számjegy a vízellátási, a második a műtrágyázási szinteket jelöli (pl. 11–44).

Ilyen kísérletek párhuzamosan három blokkban, blokkonként többnyire más–más növényfajjal, vetésváltással folynak, a liziméterekben és a parcellákon azonos kezelésekkel. A vizsgálatba vont növények aránya a három blokkban 30 év alatt a következő: kukorica és csemegekukorica 43 %, hüvelyesek 20 % zöldségfélék 20 %, cukorrépa, burgonya 15 %, kalászosok 2 %.

A szivárgó víz mennyiségét minden liziméternél meghatározzuk, minőségét pedig kezelésként átlagolt mintákból laboratóriumban analizáljuk.

A növények beltartalmi értékeit a liziméterekben lévo összes növény teljes föld feletti részeinek feldolgozott mintáiból vizsgáltattuk. A kísérlet területéről a növényi maradványokat mindenkor letakarítottuk.

A talaj nedvességtartalmát hagyományos, szárításos módszerrel vetéskor és betakarításkor minden liziméter teljes talajszelvényében, valamint az öntözetlen és optimálisan öntözött parcellákon 2 m mélységig meghatároztuk.

A csernozjom réti talaj humusztartalma a felső 40 cm rétegben átlagosan 2–2,5 %, a liziméterek egész talajrétegében 1,9 %, a parcellák 200 cm vastagságú rétegében és a kezelések átlagában 1,01 %; agyagtartalma 50 %; természetes vízkapacitása 39 térfogatszázalék, melyből 20 % a diszponibilis (felvehető) víz. A talaj tápanyag-ellátottsága foszfor és kálium tekintetében még ma is minden kezelésnél nagyon magas, a N-ellátottság viszont kezeléstől függően vált ozatos.

Eredmények értékelése, következtetések

Eredményeink közül a különböző mértéku víz- és tápanyagpótlásnak a szivárgó víz mennyiségét és minőségét módosító hatását ismertetjük. Bemutatjuk a liziméterek bolygatott és a parcellák természetes talajában kimutatható eltéréseket, tendenciózus változásokat és értékeljük a talaj víz- és anyagforgalmát 2 m mélységig.

Szivárgó víz az esetek nagy részében tél végén és kora tavasszal, ritkábban a tenyészidőszak elején (május–június) jelentkezett, azonban voltak évek, amikor egyáltalán nem észleltünk szivárgást. Négy évet (1987, 1994, 2001 és 2002) választottunk ki, amikor minden kezelésből (192 db liziméterből) volt elegendő szivárgás és ezek átlagolt eredményeit közöljük az 1. és 2. táblázatban.

A kiválasztott évek közül 1987-ben az április 1. és június 5. között lehullott 190 mm csapadékból sok leszivárgott, mert a talajt már a téli csapadék feltöltötte, sőt abból is keletkezett szivárgás. Ebben az évben három alkalommal vettünk és vizsgáltunk vízmintákat. A többi évben évenként csak egy–két alkalommal: 1994-ben és 2002-ben csak a téli, 2001-ben csak a júniusi szivárgásból származtak a minták.

A szivárgó víz mennyiségét elsősorban a csapadék mennyisége alakította, de e mellett a növény faja és a kezelések is lényegesen módosították. A növények közül a lucernánál volt legkevesebb a szivárgás. A kezelések közül a szivárgó víz mennyiségét elsősorban az öntözés befolyásolta, amely főleg a tél végi szivárgásnál mutatkozott meg. Az öntözés fő időszakában ugyanis még az öntözött kezelésekben is ritkán fordult elő szivárgás, mivel mindig csak a talaj felső 10–30 cm-es rétegét nedvesítettük át. A műtrágyaadagok növelése kisebb mértékben (9–12 mm) mérsékelte a szivárgást azáltal, hogy fokozta a növények vízfogyasztását, a talaj kiszáradását. Ez a hatás elsősorban az öntözött kezelésekben érvényesült, ahol a fokozott vízfogyasztásnak megvolt a lehetősége.

1. táblázat

A szivárgó vízben oldott anyagok koncentrációja (mg/l) három blokk és 4 év átlagában

(1) Keze- lés	(2) Szivárgó víz, mm	NO ₃ -N	P ₂ O ₅	K	Ca	Mg	Na	(3) Összes só
11	44	42	1,9	87	99	48	58	807
12	40	71	1,6	97	132	56	60	1340
13	36	106	1,7	109	153	66	62	1737
14	35	140	1,3	115	188	79	66	2057
<i>a₁ átlag</i>	<i>37</i>	<i>94</i>	<i>1,7</i>	<i>103</i>	<i>147</i>	<i>64</i>	<i>62</i>	<i>1525</i>
21	52	36	2,3	102	89	43	67	929
22	46	65	1,6	100	127	49	71	1161
23	44	83	1,8	99	139	55	71	1276
24	42	100	1,3	103	160	73	81	1666
<i>a₂ átlag</i>	<i>46</i>	<i>71</i>	<i>1,8</i>	<i>101</i>	<i>128</i>	<i>55</i>	<i>73</i>	<i>1258</i>
31	63	24	1,7	78	85	40	66	807
32	58	46	1,4	78	111	48	68	960
33	55	66	1,8	89	121	54	74	1040
34	52	84	1,8	96	146	63	79	1327
<i>a₃ átlag</i>	<i>57</i>	<i>55</i>	<i>1,7</i>	<i>85</i>	<i>116</i>	<i>51</i>	<i>72</i>	<i>1033</i>
41	77	23	1,3	70	86	40	73	743
42	74	30	1,4	78	106	45	76	872
43	69	41	1,8	89	119	55	85	1004
44	65	55	1,6	98	127	62	82	1149
<i>a₄ átlag</i>	<i>71</i>	<i>38</i>	<i>1,5</i>	<i>84</i>	<i>110</i>	<i>51</i>	<i>81</i>	<i>942</i>
<i>SzD_{5%}</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>0,5</i>	<i>31</i>	<i>17</i>	<i>6</i>	<i>19</i>	<i>87</i>
<i>A. Mutrágya hatása az öntözési kezeléseknél átlagában</i>								
<i>b₁</i>	<i>59</i>	<i>31</i>	<i>1,8</i>	<i>84</i>	<i>90</i>	<i>43</i>	<i>66</i>	<i>821</i>
<i>b₂</i>	<i>54</i>	<i>53</i>	<i>1,5</i>	<i>88</i>	<i>119</i>	<i>49</i>	<i>69</i>	<i>1083</i>
<i>b₃</i>	<i>51</i>	<i>74</i>	<i>1,8</i>	<i>96</i>	<i>133</i>	<i>58</i>	<i>73</i>	<i>1264</i>
<i>b₄</i>	<i>48</i>	<i>95</i>	<i>1,5</i>	<i>103</i>	<i>155</i>	<i>69</i>	<i>77</i>	<i>1550</i>
<i>átlag</i>	<i>53</i>	<i>64</i>	<i>1,7</i>	<i>93</i>	<i>125</i>	<i>55</i>	<i>72</i>	<i>1190</i>
<i>SzD_{5%}</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>0,4</i>	<i>18</i>	<i>14</i>	<i>4</i>	<i>12</i>	<i>66</i>

Kezelések: az első számjegy a vízellátási, a második a tápanyagellátási szinteket jelöli

A szivárgó víz sókoncentrációját leginkább a kezelések befolyásolták, de ezen kívül a szivárgás időpontja és mennyisége is jelentősen módosították. Azt tapasztaltuk, hogy minél hosszabb idő telt el a szivárgások között, annál nagyobb volt az oldat koncentrációja. Ezzel magyarázható az is, hogy a tél végén-tavaszi első szivárgás töménysége rendszerint felülmúlta az utána következő szivárgásokét még akkor is, ha az a műtrágya kiszórása után történt. A szivárgó víz nagy része feltehetően nem az akkor lehullott és a műtrágyát feloldó csapa-

dékből, hanem a talajban lévő nedvességből származott. A tenyészidőszak folya-

2. táblázat

A szivárgó vízzel a liziméterek talajából kimosódott anyagok mennyisége (kg/ha)
három blokk és 4 év átlagában

(1) Keze- lés	(2) Szivárgó víz, mm	NO ₃ -N	P ₂ O ₅	K	Ca	Mg	Na	(3) Összes só
11	44	18	0,8	39	44	21	25	356
12	40	28	0,6	39	53	22	24	536
13	36	38	0,6	39	55	24	22	627
14	35	48	0,5	40	65	27	23	711
<i>a₁ átlag</i>	37	35	0,6	39	55	24	23	569
21	52	19	1,2	53	46	22	35	483
22	46	30	0,7	46	58	22	33	531
23	44	37	0,8	44	62	25	31	566
24	42	42	0,6	43	68	31	34	701
<i>a₂ átlag</i>	46	33	0,8	46	59	25	33	580
31	63	15	1,1	49	54	26	42	511
32	58	27	0,8	45	64	28	40	558
33	55	36	1,0	49	67	30	41	572
34	52	44	0,9	49	75	33	41	686
<i>a₃ átlag</i>	57	31	1,0	49	66	29	41	589
41	77	18	1,0	54	66	30	56	570
42	74	22	1,1	58	78	33	57	646
43	69	29	1,3	62	83	38	59	697
44	65	36	1,1	63	82	40	53	743
<i>a₄ átlag</i>	71	27	1,1	60	78	36	57	670
<i>SzD_{5%}</i>	4	5	1,1	31	17	6	19	87
<i>A. Mutrágya hatása az öntözési kezelések átlagában</i>								
<i>b₁</i>	59	18	1,0	49	53	25	40	480
<i>b₂</i>	54	27	0,8	47	63	26	38	568
<i>b₃</i>	51	35	0,9	48	67	29	38	615
<i>b₄</i>	48	42	0,8	49	72	33	38	710
<i>átlag</i>	53	31	0,9	48	64	29	39	602
<i>SzD_{5%}</i>	3	5	0,3	6	5	3	5	25

Kezelések: az első számjegy a vízellátási, a második a tápanyagellátási szinteket jelöli

mán a talaj többszöri kiszáradása és benedvesedése következtében a lefelé mosódó sók a beázási mélység alsó határáig jutottak le, ahonnan csak a talajszelekvény feltöltődése után keletkező szivárgó vízzel kerültek lejjebb és ki a rendszerből. Ez pedig az esetek többségében tél végén következett be.

A kezelések hatása leginkább a nitrát- és az összes-só-koncentráció változásában mutatkozik meg, amelyek a műtrágyaadagok növelésével 1,5–3-szorosára emelkedtek. Az öntözési adagok növekedésével ugyanakkor jelentős hígulás következett be, részben a szivárgó víz mennyiségének növelése, részben pedig a növények fokozott N-felhasználása miatt.

A szivárgó víz P-tartalma a kimutathatóság határán mozgott a kezelésektől teljesen függetlenül, és annak ellenére, hogy a talaj P-tartalma rendkívül magas. A talaj káliummal is igen jól ellátott és a szivárgó vízben is magas a koncentrációja, különösen a nem öntözött kezelésekben, de annak igen nagy a szóródása, emiatt a műtrágyakezelésekkel való kapcsolata nem megbízható. Ugyanakkor a kalcium és a magnézium töménysége – a nitráéhoz hasonlóan – a műtrágyaadagok növelésével szoros kapcsolatban emelkedett.

A kimosott anyagok mennyiségének átlagértékeit – amit a szivárgó víz mennyisége és koncentrációja szorzatából számoltunk – a 2. táblázatban közöljük. A táblázatban látható, hogy a kimosódott anyagok mennyisége között a különbségek lényegesen kisebbek, mint az 1. táblázatban közölt koncentráció értékek között. Műtrágyakezelésenként azonban még így is nagy – 100 %-ot meghaladó – eltérések vannak. Az öntözés viszont nem fokozta, sőt valamelyest mérsékelte a N-kimosódást, ami az öntözött növények fokozott N-felhasználásával magyarázható.

A nitrogénnel közel azonos mennyiségű a Na- és 1,5-szeres a K-kimosódás, de ezek nem a műtrágyától, hanem inkább az öntözéstől, illetve a szivárgó víz mennyiségétől függően változtak. A makroelemek közül a kalcium kimosódása a legnagyobb, amiben a műtrágyákkal talajra juttatott klorid- és szulfátionoknak is szerepe lehet (20 éven keresztül kálisót és szuperfoszfátot használtunk).

A liziméterekből a szivárgó vízzel kimosódott anyagok a parcellák talajában a 80 cm alatti talajrétegekbe kerültek. Kérdés, hogy a leszivárgó víz és a benne oldott tápelemek mennyiben tekinthetők a növények számára elveszetteknek, vagy környezetet szennyező forrásnak? Az alábbiakban ezekre a kérdésekre keressük a választ a liziméterekben lévő talaj, és a liziméterekkel azonos kezeléssel parcellák természetes talajának vízháztartási és anyagforgalmi vizsgálataival, a talaj fontosabb jellemzőinek változásán keresztül.

Vízmérleg adatok

A vízmérleg adatokat azért tartjuk szükségesnek röviden ismertetni, mert a vertikális anyagmozgás a vízháztartási folyamatokkal van szoros kapcsolatban.

A liziméterek vízmérlegének 20 év átlagait a 3. táblázatban közöljük, ahol a tenyészidőszak nem a naptári félévet, hanem a vetéstől a betakarításig tartó időszakot (átlagosan 154 napot), a nyugalmi időszak pedig 211 napot jelentett az adott vetésszerkezet mellett. A talaj nedvességét ugyanis vetéskor és betakarításkor mértük a parcellákon 2 m mélységig.

Méréseink szerint a nyugalmi időszak 237 mm átlagos csapadékösszegéből 114 mm elpárolgott, 13–36 mm elszivárgott és 113–84 mm betárolódott.

A vizsgált 20 év csapadéknak átlaga ugyan kevesebb volt a sokéves átlagnál, de a szélsőségek (300–800 mm) megközelítették az eddig mért legkisebb és

3. táblázat

A liziméterek 20 éves vízmérlege vízellátási kezelésként a nyugalmi időszak 211 napjára (A), ill. a tenyészidőszak 154 napjára (B) számítva (mm)

(1) Keze- lés	(2) Csapadék		(3) Öntö- zés	(4) Szivárgó víz		(5) Talajnedvesség változása		(6) Párolgás		
	A	B		A	B	A	B	A	B	A+B
a ₁	237	209	2	13	7	113	-111	112	339	450
a ₂	237	209	89	29	14	95	-96	113	378	491
a ₃	237	209	122	32	17	91	-92	114	401	515
a ₄	237	209	173	36	26	84	-83	118	439	556
átlag	237	209	96	27	16	96	-96	114	389	503

legnagyobb értékeket. A szivárgási átlag is nagy szélsőségeket (0–200 mm/év) takar, de a 100 mm-t meghaladó leszivárgásnak az öntözött kezelésben is kicsi (10 %) a gyakorisága.

A természetes talajú parcellák vízmérlegének értékelésekor feltételezzük, hogy a nyugalmi időszak alatti párolgás azonos a liziméterekével és, hogy a liziméterekből kifolyt víz a parcellák esetében a 90 cm-nél mélyebb rétegekbe került. A talaj alsóbb rétegeibe való leszivárgás leginkább a nyugalmi időszak vége felé következik be, aminek mélységéről és mennyiségéről az oszi és a tavaszi talajnedvesség-mérési eredmények adnak jó tájékoztatást. A parcellák talajnedvesség adatainak sokéves átlagai a 4. táblázatban láthatók.

A parcellák 2 m-es talajrétegében a vízkészlet változása sokéves átlagban a nem öntözött kezeléseknél 124, az öntözötteknél 114 mm. A többlet-betárolódás a liziméterekhez viszonyítva tehát 12–30 mm, ami közel azonos a liziméterekből kifolyt szivárgó víz mennyiségével. A kontroll- (a₁) és az öntözött (a₄) kezelések közötti különbség is csupán 10 mm. Ugyanakkor majdnem mindig lényeges eltérés van az öntözött és a nem öntözött talaj nedvességekészletében. Az a₄-kezelésben tavasszal átlag 50, ősszel 59 mm-rel több a felvehető nedvességekészlet, mint az öntözetlen kezelésben. A tenyészidőben ennél nagyobbak a különbségek, mivel öntözéssel magas szinten tartjuk a talaj felső rétegének nedvességtartalmát, és csak a tenyészidőszak vége felé hagyjuk a vízkészlet nagyobb mértéku felhasználását. Így a kiadott öntözővizet a növények szinte teljes mértékben felhasználják (ezért adjuk), és rendszerint ősszel is csak annyival nagyobb az öntözött talaj nedvességekészlete, mint amennyivel már tavasszal is nagyobb volt. Ennek ellenére az évek többségében az öntözött talajban is maradt elegendő hely a nyugalmi időszak csapadékából (átlagosan

237 mm) a párolgási veszteség (átlag 118 mm) után maradó víz (119 mm) hasznos tározására. Ugyanis a 2 m-es talajréteg természetes vízkapacitása 780 mm, a tavaszi nedvességtartalom pedig sokéves átlagban a jó vízellátású kezelésnél átlagosan csak 717 mm, a nem öntözött talajban 667 mm. Az öntözött talaj ma-

4. táblázat

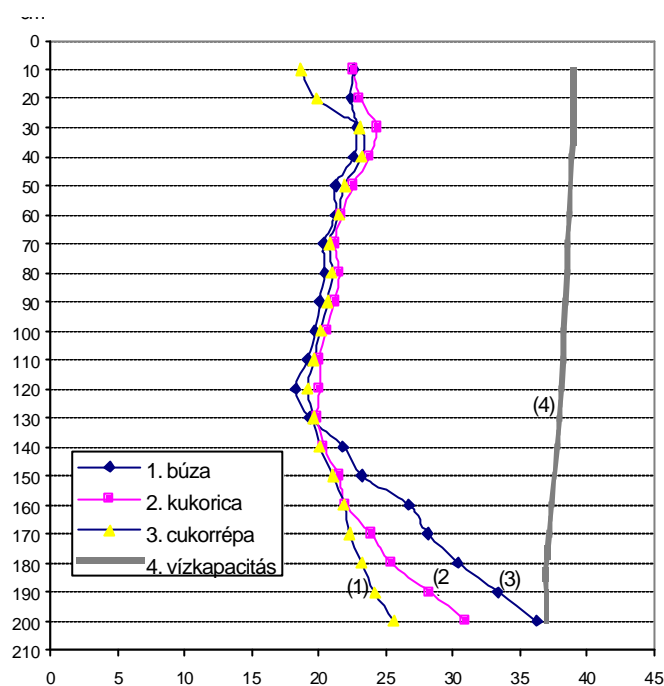
A talajnedvesség profilja (tf%) vetéskor és betakarításkor 20 év átlagában az öntözetlen kontroll- (a_1) és a növények igénye szerint öntözött (a_4) kezelésben, mm/év

(1) Réteg, cm	(2) Nedvességtartalom vetéskor			(3) Nedvességtartalom betakarításkor			(4) A (2) és (3) különbsége			(5) VK
	a_1	a_4	$a_4 - a_1$	a_1	a_4	$a_4 - a_1$	a_1	a_4	$a_4 - a_1$	
10	33,0	33,0	0,0	21,6	23,0	1,4	11,4	10,0	1,4	39,0
20	37,0	37,0	0,0	23,3	27,8	4,5	13,7	9,2	4,5	39,0
30	37,2	37,5	0,4	23,8	27,6	3,8	13,4	9,9	3,5	39,0
40	37,0	37,0	0,0	24,3	28,7	4,4	12,7	8,3	4,4	38,9
50	36,0	37,0	1,0	24,8	28,9	4,1	11,2	8,1	3,1	38,8
60	35,6	37,0	1,4	24,5	30,2	5,7	11,1	6,8	4,3	38,7
70	35,0	37,3	2,3	25,6	30,8	5,2	9,4	6,5	3,0	38,6
80	33,0	37,8	4,8	25,9	30,5	4,6	7,1	7,3	-0,2	38,5
90	31,6	37,9	6,3	25,9	30,1	4,2	5,7	7,8	-2,1	38,4
100	31,9	37,6	5,8	26,9	30,6	3,7	5,0	7,0	-2,1	38,3
110	31,4	36,7	5,4	27,0	30,0	3,0	4,4	6,7	-2,4	38,2
120	31,0	36,1	5,1	27,3	30,0	2,7	3,7	6,1	-2,4	38,1
130	31,0	35,7	4,7	28,7	30,0	1,3	2,3	5,7	-3,4	38,0
140	32,0	34,0	2,0	28,7	30,0	1,3	3,3	4,0	-0,7	37,8
150	31,9	34,0	2,1	29,4	31,0	1,6	2,5	3,0	-0,5	37,6
160	31,9	33,5	1,7	29,8	31,0	1,2	2,1	2,5	-0,4	37,4
170	32,0	34,1	2,1	30,8	32,0	1,2	1,2	2,1	-0,8	37,2
180	33,0	34,1	1,1	31,2	33,0	1,8	1,8	1,1	0,7	37,0
190	33,0	34,5	1,5	31,6	33,0	1,4	1,4	1,5	-0,1	37,0
200	33,0	34,9	1,9	31,9	34,0	2,1	1,1	0,9	0,2	37,0
a) Össze- sen	667	717	49	543	602	59	124	114	10	763

gasabb nedvességtartalmának következményeként a beázás mélysége mindig nagyobb, mint az öntözetlené, de itt is ritkán haladja meg a 2 m mélységet.

Ez azt jelenti, hogy ha van sófelhalmozódás a gyökérszónában, az nem minden évben mosódhat lejjebb, hanem csak akkor, amikor a vízmérleg is tartósan pozitív és a leszivárgó vízfelesleg elhagyja a gyökérszónát. Ilyen időszak volt 1998 oszétól 2000 tavaszáig.

Az 1 m alá leszivárgó víz és a lemosódó tápanyagok nem tekinthetők teljes veszteségnek mindaddig, amíg odakerülhetnek olyan növénykultúrák, amelyek gyökérzete azokat eléri, és ha szükségük is van erre a tápanyagra.



A növények gyökerezési mélységét legegyszerűbben a talaj nedvességprofiljának változásából lehet megállapítani. Az 1. ábrán látható, hogy a növények az 1 m alatti rétegekből is sok vizet képesek felhasználni, még a búza gyökérzete is megközelíti a 2 m-t, a kukoricáé el is éri, a cukorrépaé pedig túlhaladja azt.

1. ábra

A talaj nedvességtartalma az öntözetlen növények betakarításakor 2000-ben.
Vízszintes tengely: nedvességtartalom, tf %. Függőleges tengely: mélység, cm.

Tartósan pozitív tápanyagmérleg esetén természetesen elkerülhetetlen a felhalmozódás, amely a leggyakoribb beszivárgási és kiszáradási mélység alsó határán alakul ki, és onnan csapadékos időjárás esetén lefelé mosódhat.

Talajvizsgálatok eredményei

A liziméterekben az eredeti talaj felső 80 cm-es rétegéből származó bolygított talaj van, ahol a kezelések hatása megbízhatóan leginkább a nitráttartalom különbségeiben mutatható ki. Az 5. táblázatban a talaj $\text{NO}_3\text{-N}$ koncentrációját (mg/kg-ban) és mennyiségét (g/m^2 -ben) közöljük 20 cm-es rétegenként, amit 1,35 térfogattömeggel számolva kaptunk. Az adatok szerint a talaj $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalma a műtrágyaadagokkal jelentős arányú növekedést, a vízellátással pedig hasonló arányú csökkenést mutat. Vertikális eloszlása lefelé kezdetben merede-

ken, mélyebben mérséklődve csökkeno. Jelentős NO_3 -felhalmozódás azonban sehol sem következett be.

A liziméterek 80 cm-es talajrétegében összesen 6-16 g/m^2 (60–160 kg/ha) között változott a felvehető nitrogén ($\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$) mennyisége. Ez meg-

5. táblázat

A talaj $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalma rétegenként a liziméterekben (mg/kg és g/m^2)

(1) Réteg, cm	b_1	b_2	b_3	b_4	(2) Átlag	b_1	b_2	b_3	b_4	(2) Átlag
<i>mg/kg</i>										
a_1 (Öntözetlen kontroll)						a_2 (1/3-dal öntözött)				
20	13,3	14,8	17,2	21,0	16,6	12,6	13,6	14,1	17,3	14,4
40	9,0	9,7	10,1	15,2	11,0	8,7	9,2	8,7	13,3	10,0
60	8,3	8,9	7,8	13,7	9,7	7,1	7,8	8,4	11,7	8,8
80	8,2	9,6	7,2	10,8	9,0	6,2	8,2	9,3	8,8	8,1
Átlag	9,7	10,8	10,6	15,2	11,6	8,7	9,7	10,1	12,8	10,3
a_3 (2/3-dal öntözött)						a_4 (növény igénye szerint öntözött)				
20	11,2	11,4	13,5	15,0	12,8	8,5	8,2	10,2	10,5	9,4
40	8,4	8,2	8,3	12,0	9,2	6,7	4,9	6,6	6,4	6,2
60	6,7	7,1	7,4	6,2	6,9	5,3	4,4	5,8	5,6	5,3
80	6,4	7,4	7,0	6,9	6,9	5,0	3,9	6,5	7,4	5,7
Átlag	8,2	8,5	9,1	10,0	8,9	6,4	3,3	4,7	7,5	5,5
<i>g/m²</i>										
a_1 (Öntözetlen kontroll)						a_2 (1/3-dal öntözött)				
20	3,6	4,0	4,6	5,7	3,1	3,4	3,7	3,8	4,7	3,2
40	2,4	2,6	2,7	4,1	2,2	2,3	2,5	2,3	3,6	2,2
60	2,2	2,4	2,1	3,7	1,8	1,9	2,1	2,3	3,2	1,9
80	2,2	2,6	1,9	2,9	1,7	1,7	2,2	2,5	2,4	2,0
Össz.	10,5	11,6	11,4	16,4	8,9	9,3	10,5	10,9	13,8	9,27
a_3 (2/3-dal öntözött)						a_4 (növény igénye szerint öntözött)				
20	3,0	3,1	3,6	4,1	3,7	2,3	2,2	2,8	2,8	4,3
40	2,3	2,2	2,2	3,2	2,3	1,8	1,3	1,8	1,7	3,2
60	1,8	1,9	2,0	1,7	2,0	1,4	1,2	1,6	1,5	2,5
80	1,7	2,0	1,9	1,9	2,0	1,4	1,1	1,8	2,0	2,3
Össz.	8,8	9,2	9,8	10,8	10,0	6,9	5,8	7,9	8,1	12,3
A. Öntözéshatás rétegenként						B. Mutrágyahatás rétegenként				
	a_1	a_2	a_3	a_4	átlag	b_1	b_2	b_3	b_4	átlag
20	4,48	3,89	3,45	2,52	3,58	3,08	3,24	3,71	4,31	3,58
40	2,97	2,69	2,49	1,66	2,45	2,21	2,16	2,27	3,17	2,45
60	2,61	2,36	1,85	1,42	2,06	1,85	1,90	1,98	2,51	2,06
80	2,42	2,19	1,87	1,54	2,00	1,74	1,96	2,03	2,29	2,00
Össz.	12,5	11,1	9,7	7,1	10,1	8,9	9,3	10,0	12,3	10,1

poen kevés, egy század része sincs a humuszban lévő nitrogénnek. Ugyanakkor a szivárgó vízben a felvehető N-mennyiségekhez képest nagyon sok a $\text{NO}_3\text{-N}$ (2–5 g/m²), ami jelzi a nitrát mozgékonyágát. Mennyisége természetesen az öntözetlen talajban nagyobb, és a műtrágyakezelések között is a nem öntözött kezeléseknél vannak a legnagyobb különbségek. Az öntözött kezeléseknél a műtrágyaadagok a talaj nitráttartalmában 28 év alatt csupán 20–25 % (2–4 g/m²) közötti eltéréseket okoztak, amelyek messze nem tükrözik a műtrágyaadagok közötti 3–4-szeres különbségeket. Ez is amellet szól, hogy a növények felhasználták a kiadott nitrogént (vagy még annál is többet) az igényeik kielégítése érdekében. Az igényt meghaladó műtrágyázás esetén azonban a felesleges nitrogénnek csak egy részét vették fel, a többi a talajban maradt és a szivárgó vízzel fokozatosan lefelé haladt, a liziméterekből pedig kimosódott. Emiatt is kicsi az a $\text{NO}_3\text{-N}$ különbség (20–30 kg/ha), ami az eltérő műtrágyakezelésű öntözött liziméterek talajában van. Ez a mennyiség még az egyéves N-igényhez képest (150–200 kg/ha) is alig jelentős, amiből az következik, hogy a liziméterekben lévő növények N-ellátottsága leginkább a közvetlen ellátás mértékétől függ, nem a talaj felvehető készletétől. Ezt bizonyítják a terméseredmények is, melyek az utóbbi években kedvező vízellátás mellett – még az élelmes kukoricánál is – a műtrágyaadaggal csaknem arányosan emelkedtek (4,9; 7,1; 9,1 és 10 t/ha szem szárazanyag).

Más a helyzet a parcellák természetes, mélyrétegu talajánál, ahol a 80 cm-nél mélyebbre lemosódott nitrogén tartalékul szolgált a növények számára.

A 6. táblázatban látható, hogy a 2 m-es talajszelvény felvehető N-készlete 2–3-szor annyi, mint a liziméterek talajáé (pedig a humusz mennyisége alig több), és még az öntözött kezeléseknél is 130–260 kg/ha mennyiség van, amely átlagban egyéves igénynek felel meg. Ezzel magyarázható, hogy a parcellákon a nagyobb adagú műtrágyakezelések még jó vízellátás esetén is „csak” 25–30 % (3,7 t/ha) termésátlag-emelkedést eredményeztek az utóbbi öt év átlagában.

A liziméterek és a parcellák termésátlagai közötti különbségek fő oka a liziméterek sekélyebb termőrétege, és annak kisebb kiegyenlítő képessége, valamint a szivárgás folytán bekövetkezett víz- és tápanyagvesztések.

Ezek az eredmények azt bizonyítják, hogy az 1 m-nél mélyebbre szivárgó víz és a vele lemosódó nitrogén, nem tekinthetők a növények számára elvesztettnek, csak ha azokra a növényeknek nincs szükségük (tehát amennyiben a tápanyagmérleg tartósan pozitív). Ebben az esetben a lemosódó anyagok a beszivárgási mélység alsó részén halmozódnak fel, és csak akkor mosódnak mélyebbre, amikor a beázási mélység meghaladja a felhalmozódási mélységet.

Ennek alátámasztására egy üzem 40 öntözött táblája mezoségi típusú talajának átlagolt nitrátprofilját mutatjuk be, ahol az előző évtizedek trágyázási gyakorlatának következményei láthatók. A 10 cm-es rétegenkénti $\text{NO}_3\text{-koncentráció}$ 2 m mélységig a következő: 104; 96; 94; 81; 65; 64; 61; 42; 44; 47; 58; 90; 132; 165; 237; 336; 370; 273 mg/kg. A felhalmozódás 140 cm-től rohamo-

san no, 180–190 cm-nél tetozik, aztán gyorsan csökken, de ennek folytatódását sajnos már csak feltételezzük.

Azt azonban biztosan tudjuk (mert 2 m mélységig minden tavasszal és ősszel is vizsgáljuk a talaj nedvességtartalmát), hogy a beázás mélysége az évek 90 %-ában 50–150 cm között változik, és csak néha haladja meg a 2 m mélységet. E-

6. táblázat

A talaj NO₃-N-tartalma rétegenként a parcellákon 2000-ben (kg/ha)

(1) Réteg, cm	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	(2) Átlag	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	(2) Átlag
	a ₁ (Öntözetlen kontroll)					a ₂ (1/3-dal öntözött)				
30	47	53	59	72	58	41	47	56	77	55
60	31	37	53	63	46	27	31	39	57	38
90	26	32	47	57	41	23	20	36	47	32
120	21	30	50	54	39	21	23	32	35	28
150	23	27	45	55	38	20	24	31	37	28
180	17	28	43	55	36	19	25	35	42	30
210	14	37	41	63	39	15	30	46	55	33
Össz.	180	244	338	419	295	166	200	275	350	244
	a ₃ (2/3-dal öntözött)					a ₄ (növény igénye szerint öntözött)				
30	41	55	58	60	53	37	39	47	54	44
60	21	36	39	53	37	23	30	33	46	33
90	16	33	36	38	31	20	17	24	40	25
120	14	22	26	26	22	19	16	24	27	22
150	13	16	21	29	20	16	18	27	32	23
180	13	16	21	29	19	14	18	28	29	22
210	14	17	25	34	22	14	21	30	32	24
Össz.	131	195	226	268	205	143	159	213	259	193
	A. Öntözéshatás rétegenként					B. Mutrágyahatás rétegenként				
	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	átlag	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	átlag
30	58	55	53	44	53	41	49	55	66	53
60	46	38	37	33	39	26	33	41	55	39
90	41	32	31	25	32	21	26	36	46	32
120	39	28	22	22	27	19	23	33	35	27
150	38	28	20	23	27	18	21	31	38	27
180	36	30	19	22	27	16	22	32	39	27
210	39	33	22	24	30	14	26	36	46	31
Össz.	295	244	205	193	234	155	200	263	324	235

miatt van a nitrát-felhalmozódás szintje abban a rétegben, amelynél a leszivárgás és a gyökerek ritkán haladnak mélyebbre.

A N-forgalom bonyolult folyamatának értékeléséhez adalékként a 7. táblázatban közöljük a kukorica 20 éves termésátlagát és annak minden részére

(szem, szár, levél, csutka) kiterjedő vizsgálat alapján megállapított tápelem-mérleg eredményeit. A vizsgálatok szerint a felvett, illetve az összes terméssel elvitt N-mennyiség az öntözött kezelésekben 200 kg pótlásnál volt közel egyensúlyban, 50–100 kg/ha adagoknál a hiány 50–87 kg/ha között változott. A mérleg csak a nem öntözött és a 200 kg N/ha kezelésnél volt jelentősen pozitív (43 kg/ha/év).

7. táblázat

A kukorica száraz szemtermése és tápanyagmérlege 20 év átlagában,
16 kezeléskombinációban

(1) Öntö- zovíz, mm	(2) NPK 2:1:1, kg/ha	(3) Parcellákon			(4) Termés t/ha	(5) Liziméterekben			(4) Termés t/ha
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
		kg/ha				kg/ha			
0	100	-62	-41	-127	5,20	-27	-22	-104	3,07
0	200	-33	-18	-116	5,29	0	-2	-95	3,49
0	300	-1	4	-108	5,56	37	21	-84	3,64
0	400	43	28	-98	5,28	82	46	-73	3,40
átlag		-13	-7	-112	5	23	11	-89	3,40
89	100	-75	-53	-121	6,69	-46	-36	-102	4,75
89	200	-53	-36	-126	7,62	-18	-17	-103	5,47
89	300	-28	-10	-116	7,79	5	5	-96	6,01
89	400	11	15	-93	7,69	45	30	-74	5,97
átlag		-36	-21	-114	7	-3	-4	-94	5,55
122	100	-87	-68	-126	8,31	-47	-42	-99	5,40
122	200	-63	-50	-126	9,05	-33	-33	-107	7,08
122	300	-38	-27	-120	9,63	-22	-18	-110	8,66
122	400	-8	-3	-117	9,82	9	5	-107	8,89
átlag		-49	-37	-122	9	-23	-22	-106	7,51
173	100	-82	-68	-131	8,38	-54	-51	-112	6,32
173	200	-56	-51	-118	9,34	-34	-38	-104	7,79
173	300	-37	-32	-109	10,13	-28	-27	-103	9,50
173	400	-12	-11	-107	10,45	-6	-8	-103	10,11
átlag		-47	-41	-116	10	-31	-31	-105	8,43
SzD _{5%}					0,40				0,39

A legutóbbi csapadékosabb 5 évben (1996–2001) még nagyobb volt a mérleghiány és a műtrágyakezelések közötti termésátlag-különbség.

Pozitív nitrogénmérleg a kis műtrágyaadagoknál csak pillangós növényeknél lehetett, de az a többi növény negatív mérlegét a b₁–b₂ kezeléseknél csak részben mérsékelte. A mérleghiányos kezelésekben a N-többlet felhasználása a talaj összes-N-készletének rovására történhetett, aminek jelei az öntözött talajoknál máris mutatkoznak. Ezek vizsgálata folyamatban van.

Összefoglalás

Liziméteres és szabadföldi kísérletekben vizsgáltuk a víz- és a tápanyagforgalmat különböző szintű víz- és tápanyagellátás mellett. Megállapítottuk, hogy a szivárgó víz *mennyiségét* az öntözés éves átlagban 10–40 mm-rel növelte, amíg a tápanyagpótlás 5–20 mm-rel mérsékelte. A szivárgó víz *koncentrációját* a műtrágya jelentősen fokozta, az öntözés pedig csökkentette. A legtöbb $\text{NO}_3\text{-N}$ -kimosódást, és a talajban is a legtöbb nitrogént a nagy adaggal (200 kg/ha) műtrágyázott öntözetlen lizimétereknél (14) mértük, ahol a tápanyagmérleg jelentősen pozitív volt; a legkevesebbet pedig a legkisebb N-pótlásnál (50 kg/ha) az öntözött kezelésben.

A parcellák 210 cm-es talajrétegében jelentős nitrát-felhalmozódást sehol sem tapasztaltunk, bár a kezelések között nagyarányú különbségek alakultak ki.

A N-mérleg egyensúlya kukoricánál 150–200 kg/ha N-pótlásnál van, viszont a legkisebb műtrágyaadag esetében a mérleghiány eléri a 60–80 kg/ha/év közötti értéket a vízellátástól függően.

A kedvező vízellátású kezeléseknél a 210 cm rétegben csupán 130–140 kg/ha között van a felvehető N-mennyiség, sőt még a legnagyobb (200 kg-os) adagnál sem magas, 260–270 kg/ha körüli $\text{NO}_3\text{-N}$ -t találtunk.

Az a tény, hogy a nem öntözött liziméterekben jóval alacsonyabbak a termésátlagok, mint az ugyanolyan kezeléssel parcellákon, arra utal, hogy a 90 cm alatti talajnak, az oda leszivárgó víznek, valamint tápanyagoknak jelentős szerepe van a növények víz- és tápanyagellátásában.

Kulcsszavak: öntözővíz, tápanyagellátás, szivárgás, nitrát, liziméter

Irodalom

- AMBERGER, A., 1979. Pflanzenernährung. UTB. Verlag Eugen Ulmer. Stuttgart.
- BEHRENDT, A. et al., 1999. 30 Jahre Lysimeterforschung in Paulinenaue – wertvolle Ergebnisse auch für die Landwirtschaftliche Praxis. In: 8. Gumpensteiner Lysimetertagung. „Stoffflüsse und ihre regionale Bedeutung für die Landwirtschaft“. BAL Gumpenstein. 13–14 April 1999. 137–138.
- BLASKÓ, L. & ZSIGRAI, Gy., 1994. Sustainable land use and mineral fertilizers on meadow chernozem soil. *Agrokémia és Talajtan*. **43**. 344–356.
- BÖHM, K. I., DERSCH, G. & HÖSCH, J., 1999. Wirkung von Zwischenfruchtanbau bei unterschiedlicher Düngung auf Maisertrag und Stoffaustag (N, Ca, Mg, Cl) im Lysimeterversuch. In: 8. Gumpensteiner Lysimetertagung. „Stoffflüsse und ihre regionale Bedeutung für die Landwirtschaft“. BAL Gumpenstein. 13–14 April 1999. 81–85.
- FÜLEKY Gy. & DEBRECZENI B., 1994. A hosszan tartó műtrágyázás hatása a gödöllo-i rozsdabarna erdőtalaj tulajdonságaira. In: Trágyázási kutatások 1960–1990.

- (Szerk.: DEBRECZENI B. & DEBRECZENI K.) 115–117. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- FÜLEKY GY. & KOVÁCS K., 1994. A nitrogénműtrágyázás hatása a talaj nitrát-N forgalmára tartamkísérletekben. In: Trágyázási kutatások 1960–1990. (Szerk.: DEBRECZENI B. & DEBRECZENI K.) 122–124. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- GOULDING, K. W. T. et al., 2000. Nitrate leaching from the Broadbalk Wheat Experiment, Rothamsted, UK, as influenced by fertilizer and manure inputs and the weather. *Soil Use and Management*. **16**. (4) 244–250.
- KÁDÁR I., 1992. A növénytáplálás alapelvei és módszerei. MTA TAKI. Budapest.
- KÁDÁR I. & NÉMETH T., 1993. Nitrát bemosódásának vizsgálatára mutrágyázási tartamkísérletekben. *Növénytermelés*. **42**. 331–338.
- KNAPPE, S., MORITZ, C. & KEESE, U., 1994. Grundwasserneubildung und N-Austrag über Sickerwasser bei intensiver Landnutzung – Lysimeteruntersuchungen an acht Bodenformen in der Anlage Brandis. *Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenkd.* **38**. S. 393–403.
- MUNDEL, G., 1987. Beziehungen zwischen dem Stickstoffentzug durch das Erntegut und dem Nitratintrag ins Grundwasser verschiedener entwässerter Niederungsböden (Lysimeterversuche) *Arch. Acker-, Pflanzenbau Bodenkd.* **31**. 165–174.
- NÉMETH T., 1994., Nitrátbemosódási és -felhalmozódási vizsgálatok az Országos Műtrágyázási Tartamkísérletekben (OMTK) In: Trágyázási kutatások 1960–1990. (Szerk.: DEBRECZENI B. & DEBRECZENI K.) 124–130. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- NÉMETH T., 1996. Talajaink szervesanyag-tartalma és nitrogénforgalma. MTA TAKI. Budapest.
- NÉMETH T., KOVÁCS G. & KÁDÁR I., 1987–1988. A NO₃- SO₄- és a sóbemosódás vizsgálata műtrágyázási tartamkísérletben. *Agrokémia és Talajtan*. **36–37**. 109–126.
- NYÍRI L. & KARUCZKA A., 1989. A melioratív talajnedvesség szabályozási módok hatása az elveszett vizek nitrát tartalmára és nitrát dinamikájára. *DATE Tudományos Közleményei*. **28**. 453–467.
- RÉZHEGYI P. & HELTAI GY., 1984. A nitrogén kimosódásának vizsgálata liziméterekben N¹⁵-izotóp felhasználásával. Melioráció-öntözés és tápanyaggazdálkodás. **2**. 53–55.
- SCHINDLER, U., EULENSTEIN, F. & MÜLLER, L., 1999. Nitratausträge unter verschiedenen Landnutzungssystemen auf sandigen Standorten Nord-Ostdeutschlands. In: 8. Gumpensteiner Lysimetertagung. „Stoffflüsse und ihre regionale Bedeutung für die Landwirtschaft”. BAL Gumpenstein. 13–14 April 1999. 81–85.
- SZALÓKI, S., 1992. The effect of increasing nutrient and water doses on the vertical water and salt movement of the soil in lysimeters. *Irrigated Farming*. Szarvas, ÖKI. 3–9.
- SZALÓKINÉ ZIMA I., 2001. A műtrágyázás és az öntözés hatása a talaj anyagforgalmára. In: Környezeti ártalmak és a légzorendszer. XI. (Szerk.: SZABÓ T. & BÁRTFAY I.) 391–395. Hévíz.
- THYLL SZ., 1984. Síkvidéki kötött talajú területek talajcsövezésének új eredményei. In: Komplex melioráció. Georgikon Napok, Keszthely. 467–471.
- VÁRALLYAY GY. & MOLNÁR E., 1993. A magyar Alföld talajainak vízgazdálkodása és a térség mezogazdasági termelése, valamint környezetgazdálkodása közötti kapcsolatok elemzése. *Vízügyi Közlemények*. **75**. (4) 402–410.

Érkezett: 2002. október 8.

Nitrate Leaching Studies in Long-term Lysimeter and Field Experiments

I. SZALÓKI-ZIMA and S. SZALÓKI

Research Institute for Fisheries, Aquaculture and Irrigation, Szarvas (Hungary)

Summary

Studies were made on the water and nutrient management in lysimeter and field experiments at various levels of water and nutrient supplies. The experiments were carried out in the Experimental Lysimeter Station set up in Szarvas in 1971 and consisted of 5 blocks, each containing 64 lysimeters. The lysimeters measured $1 \times 1 \times 1$ m (1 m^3) and were set up in the middle of 32 m^2 plots. In three of the five experimental blocks a bifactorial experiment, involving 16 treatment combinations in 4 replications in a split-plot design, has been underway for the last 30 years.

The water supply levels formed the main blocks: a_1 : non-irrigated control; a_2 : irrigated with $1/3$ of optimum water supplies; a_3 : irrigated with $2/3$ of optimum water supplies; a_4 : irrigated with optimum water supplies. The subplots include the nutrient supply levels: $b_1, b_2, b_3, b_4 = 100, 200, 300, 400$ kg NPK active agents/ha in a 2:1:1 ratio. The 16 treatment combinations were given two-figure codes, the first figure indicating the water supply level and the second the fertilizer level (i.e. 11–44).

The present experiments were carried out in parallel in three blocks, generally with different plant species and crop rotations in each block, but with the same treatments in the lysimeters and field plots. The ratio of different crops in the three blocks over the last 30 years was as follows: maize and sweetcorn 43%, legumes 20%, vegetables 20%, sugarbeet and potatoes 15%, cereals 2%.

The quantity of seepage water was increased by an annual average of 10–40 mm by irrigation, but was reduced by 5–20 mm by nutrient replacement. The concentration of the seepage water was substantially increased by mineral fertilizer and reduced by irrigation. The greatest amount of $\text{NO}_3\text{-N}$ leaching and the greatest quantity of nitrogen in the soil was recorded in non-irrigated lysimeters at high rates (200 kg/ha) of N fertilizer (14 kg/ha), and the least in irrigated treatments with the lowest rate of N fertilizer (50 kg/ha).

No substantial nitrate accumulation was observed in the 210 cm soil layer of the plots, though there were considerable differences between the treatments.

The N balance reached equilibrium at a N fertilization rate of 150–200 kg/ha for maize, while at the lowest fertilizer rate there was a deficiency of 60–80 kg/ha, depending on the water supplies.

In treatments with favourable water supplies the available N quantity in the 210 cm layer was only 130–140 kg/ha, and even at the highest fertilizer rate (200 kg) only 260–270 kg/ha $\text{NO}_3\text{-N}$ was found.

The fact that the yield averages in non-irrigated lysimeters were far lower than in field plots given the same treatment suggests that the soil below a depth of 90 cm, and the water and nutrients seeping into this layer, play an important role in crop water and nutrient supplies.

Table 1. Concentration (mg/l) of compounds dissolved in seepage water, averaged over three blocks and four years. (1) Treatment. Average of a_1 – a_4 . $\text{LSD}_{5\%}$. (2) Seepage water, mm. (3) Total salts. A. Effect of mineral fertilizer averaged over the irrigation treatments. Treatment codes: the first figure indicates the water supply level and the second the nutrient supply level.

Table 2. Quantity of compounds (kg/ha) leached out of the soil in lysimeters with the seepage water, averaged over three blocks and four years. (1)–(3), A: see Table 1.

Table 3. Water balance in the lysimeters over 20 years for each water supply treatment during the 211 days when out of use (A) and during the 154 days of the vegetation period (B) (mm). (1) Treatment. Mean. (2) Rainfall. (3) Irrigation. (4) Seepage water. (5) Changes in soil moisture. (6) Evaporation.

Table 4. Soil moisture profile (volume %) at sowing and harvest, averaged over 20 years, in the non-irrigated control (a_1) and in the treatment irrigated with the full water requirement of the crop (a_4), mm/year. (1) Layer, cm. a) Total. (2) Moisture content at sowing. (3) Moisture content at harvest. (4) Difference between (2) and (3). (5) Field capacity.

Table 5. Soil $\text{NO}_3\text{-N}$ content in each layer in the lysimeters (mg/kg, g/m^2). (1) Layer, cm. a) Mean. b) Total. (2) Mean. a_1 (Non-irrigated control); a_2 (irrigated with 1/3 of optimum water supplies); a_3 (irrigated with 2/3 of optimum water supplies); a_4 (irrigated with optimum water supplies). A. Irrigation effect per layer. B. Fertilizer effect per layer.

Table 6. Soil $\text{NO}_3\text{-N}$ content in each layer in the field plots in 2000 (kg/ha). (1)–(2): see Table 5.

Table 7. Maize dry grain yield and nutrient balance averaged over 20 years in 16 treatment combinations. (1) Irrigation water, mm. (2) NPK 2:1:1, kg/ha. (3) In the plots. (4) Yield, t/ha. (5) In the lysimeters.

Fig. 1. Soil moisture content at harvest for non-irrigated plants in 2000: 1. Wheat; 2. Maize; 3. Sugarbeet; 4. Field water capacity. Horizontal axis: Soil moisture, volume %. Vertical axis: Depth, cm.