



DEBRECENI EGYETEM
AGRÁRTUDOMÁNYI CENTRUM
MEZŐGAZDASÁGTUDOMÁNYI KAR
MEZŐGAZDASÁGI KÉMIAI TANSZÉK

**NÖVÉNYTERMESZTÉSI ÉS KERTÉSZETI
TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA**

Doktori Iskola vezető:

Dr. Győri Zoltán

MTA doktora

Témavezető:

Dr. Loch Jakab

egyetemi tanár

az MTA doktora

**TRÁGYÁZÁS HATÁSA A TALAJOK MOBILIS N-FORMÁIRA
TARTAMKÍSÉRLETEKBEN**

Készítette:

Nagy Péter Tamás

vegyész

Debrecen

2004.

TRÁGYÁZÁS HATÁSA A TALAJOK MOBILIS N-FORMÁIRA TARTAMKÍSÉRLETEKBEN

Értekezés a doktori (PhD) fokozat megszerzése érdekében
a Növénytermesztési és kertészeti Tudományok tudományágban

Írta: Nagy Péter Tamás okleveles vegyész

Készült a Debreceni Egyetem Növénytermesztési és kertészeti tudományok doktori iskolája keretében.

A doktori iskola vezetője: Dr. Győri Zoltán az MTA doktora
Témavezető: Dr. Loch Jakab az MTA doktora

A doktori szigorlati bizottság:

	Név	Tud. Fokozat
Elnök:	Dr. Kátai János	egyetemi tanár, mg. tud. kandidátusa
Tagok:	Dr. Füleky György	egyetemi tanár, mg. tud. kandidátusa
	Zsuposné Dr. Oláh Ágnes	egyetemi docens, Ph. D.

A doktori szigorlat időpontja: 2004. március 09.

Az értekezés bírálói:

Név	Tud. fokozat	Aláírás
Dr. Szabó Lajos	egyetemi tanár, mg. tud. kandidátusa	
Dr. Kátai János	egyetemi tanár, mg. tud. kandidátusa	

A bíráló bizottság:

	Név	Tud. fokozat	Aláírás
Elnök:
Titkár:
Tagok:

Az értekezés védésének időpontja: 2004.

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS.....	1.
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	4.
2.1. Nitrogén a talajban.....	4.
2.1.1. Nitrogénformák a talajban.....	4.
2.1.2. A különböző N-formák közötti átalakulások, mobilis N-formák.....	7.
2.1.3. A C/N arány jelentősége.....	9.
2.2. A talajok N-szolgáltató képességének meghatározása.....	11.
2.2.1. Biológiai módszerek.....	11.
2.2.2. Kémiai módszerek.....	14.
2.3. A N-trágyázás jelentősége, szaktanácsadási módszerek.....	18.
2.4. A trágyázás hatása a talaj N-készletére hazai tartamkísérletekben.....	22.
2.4.1. Műtrágyázási kísérletek.....	22.
2.4.2. Szerves- és műtrágyázási összehasonlító kísérletek.....	27.
2.5. Tartamkísérletek szerepe a homokterületeken folyó mezőgazdálkodásban...	29.
2.6. A Nyírség geológiai, éghajlati, vízrajzi viszonyai.....	31.
3. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	33.
3.1. A nyírlugosi tartamkísérlet.....	33.
3.1.1. Általános leírás és jellemzés.....	33.
3.1.2. Kezelések és jelzőnövények a nyírlugosi tartamkísérletben.....	36.
3.2. A Westsik-féle homokjavító vetésforgó tartamkísérlet.....	37.
3.2.1. Általános leírás és jellemzés.....	37.
3.2.2. Kezelések és jelzőnövények a Westsik tartamkísérletben.....	39.
3.3. Mintavételek a tartamkísérletek talajaiból.....	43.
3.3.1. Nyírlugos.....	43.
3.3.2. Westsik-kísérlet, Nyíregyháza.....	43.
3.4. 0,01 M-os CaCl ₂ talaj extraktumok készítése a talajminták pH-jának és könnyen oldható N-frakcióinak meghatározásához.....	44.
3.5. Alkalmazott analitikai módszerek.....	44.
3.6. Érleléses kísérletek.....	45.
3.7. Alkalmazott statisztikai módszerek.....	47.

4. EREDMÉNYEK ÉS KÖVETKEZTETÉSEK.....	48.
4.1. Az érleléses kísérletek eredményei.....	48.
4.1.1. A nyírlugosi tartamkísérlet.....	48.
4.1.2. A Westsik-féle tartamkísérlet.....	58.
4.2. A kémiai vizsgálatok eredményei.....	65.
4.2.1. A trágyázás hatása a 0,01 M CaCl ₂ -ban oldható N-formák mennyiségére (Nyírlugos).....	65.
4.2.2. A 0,01 M CaCl ₂ -ban oldható N-frakciók és a triticales terméseredmények összefüggései (Nyírlugos).....	75.
4.2.3. A trágyázás hatása a 0,01 M CaCl ₂ -ban oldható N-formák mennyiségére (Westsik).....	81.
4.2.4. A 0,01 M CaCl ₂ -ban oldható N-frakciók és a burgonya terméseredmények összefüggései (Westsik).....	93.
5. ÖSSZEFOGLALÁS.....	101.
5.1. A tartamkísérletek talajaival végzett érleléses kísérletek eredményeinek összefoglalása.....	101.
5.1.1. A nyírlugosi tartamkísérlet talajérleléses vizsgálati eredményeinek összefoglalása.....	102.
5.1.2. A Westsik-féle tartamkísérlet talajérleléses vizsgálati eredményeinek összefoglalása.....	102.
5.2. A kémiai vizsgálatok eredményei.....	103.
5.2.1. A trágyázás hatása a 0,01 M CaCl ₂ -ban oldható N-formák mennyiségére (Nyírlugos).....	103.
5.2.2. A 0,01 M CaCl ₂ -ban oldható N-frakciók és a triticales terméseredmények összefüggései (Nyírlugos).....	104.
5.2.3. A trágyázás hatása a 0,01 M CaCl ₂ -ban oldható N-formák mennyiségére (Westsik).....	105.
5.2.4. A 0,01 M CaCl ₂ -ban oldható N-frakciók és a burgonya terméseredmények összefüggései (Westsik).....	106.
6. ÚJ ÉS ÚJSZERŰ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	108.
7. IRODALOMJEGYZÉK.....	109.
MELLÉKLETEK.....	122.

1. BEVEZETÉS

Tout se tient.
(középkori francia közmondás)

A magyar mezőgazdaságnak napjainkban igen komoly feladatokkal, nehézségekkel és kihívásokkal kell szembenéznie. Ezek az erőt próbáló feladatok figyelmet, szakmai hozzáértést és sok tekintetben szemléletváltást igényelnek.

A kor kívánalmainak a magyar mezőgazdaság csak úgy tud maradéktalanul eleget tenni, ha egyrészt megőrzi hagyományos, nemzeti sajátosságait és mindemellett megpróbál a közös európai követelményrendszerhez és piachoz minél jobban alkalmazkodni.

Ez az új helyzet óriási feladatot és egyben kihívást jelent nem csak a mezőgazdaságban dolgozókra és termelőkre, hanem a mezőgazdasági kutatásban résztvevőkre is.

Az elmúlt évtizedek számos prioritást és szemléletváltást igénylő követelményt hoztak magukkal. A korábbi évtizedek mennyiség centrikus gondolkodását felváltotta a környezetkímélő, termőhely specifikus gazdálkodás, a termelés ökológiai és ökonómiai hatásait és a termékminőséget messzemenőleg figyelembe vevő szemléletmód.

Az agrár-környezetvédelem, a fenntartható gazdálkodás és fejlődés fogalmai bekerültek a magyar mezőgazdaság szótárába.

Az utóbbi években egyre inkább előtérbe kerültek az olyan alternatív növénytermesztési eljárások, amelyek a fenntartható fejlődést, a talajtermékenység megőrzését ill. a környezetvédelem, az ökológia és a gazdaságföldrajz kérdéseit egyaránt szem előtt tartják. Napjainkban a mezőgazdasággal kapcsolatos tevékenységek egyik legvitatottabb témaköre a tápanyag-utánpótlás alapvető forrását jelentő műtrágya felhasználás és azon belül is a N-műtrágyák alkalmazásának optimalizálása, mind környezetvédelmi mind ökonómiai szempontból.

A kérdéskör megválaszolása igen nehéz, alapos kutatómunkát és szakmai jártasságot igényel. Egyrészt van egy fokozott minőségi követelményrendszer a termesztett növényi produktummal szemben, ami jelentős tápanyag felhasználást és környezetterhelést jelent, másrészt az utóbbi években felerősödtek az agrár termeléssel szemben támasztott környezetvédelmi követelmények.

Az integrált növénytermesztés és az agrár környezetvédelem azonban nincs kibékíthetetlen ellentmondásban egymással. A megfelelő mennyiségű és minőségű termés ugyanis természetű úgy is, hogy közben ügyelünk a környezet felesleges elszennyeződésének elkerülésére. A napjainkban egyre inkább előtérbe kerülő

környezetkímélő tápanyag-gazdálkodás legfontosabb jellemzői ugyanis a termelési és környezeti igények összehangolása, a környezet minimális terhelése és a termőhely adottságaihoz való alkalmazkodás (LOCH, 1999).

A környezetkímélő tápanyag-gazdálkodás egyik alapeleme a termőhely függő trágyázás, melynek lényege, hogy annyi trágyát és akkor kell kijuttatni, amennyire az adott termőhelyen az alkalmazott termesztéstechnológiai körülmények között a tervezett termés eléréséhez szükséges.

Sajnálatos aktualitást kölcsönöz a témának az utóbbi években történt nagymértékű változás a hazai tápanyag-felhasználási és gazdálkodási viszonyokban. A felhasználás drasztikus csökkenése, ezen belül is a szerves trágyázás visszaesése, a tápelemarányok eltolódása (egyoldalú N-trágyázás) számos új problémát vett fel.

Fokozottan érvényesek ezek a megfontolások a N-trágyázás vonatkozásában, hiszen a jelenleg érvényben lévő szaktanácsadási módszerek éppen a N-trágyázás tekintetében, a legbizonytalanabbak és legjobban támadhatóak (BUZÁS, 1983b; FÜLEKY, 1999).

Ma sem rendelkezünk olyan N-trágyázási szaktanácsadási módszerrel, amely egyszerre venné figyelembe a talaj ásványi N-formáinak gyors változásait valamint szervesanyagának lassabb átalakulási folyamatait.

Köztudott továbbá a nitrát-ionok potenciális környezetszennyező hatása is, ami az elmúlt mintegy másfél évtizedben mind a külföldi, mind a hazai agrár-környezetvédelmi kutatások egyik alaptémáját jelenti. A környezetkímélő N-trágyázás megvalósítása mind környezetvédelmi mind növénytermesztési szempontból csak akkor valósítható meg, ha ismerjük az adott kultúra tápanyagigényét és a trágyázás módja igazodik a terület tulajdonságaihoz és a termés felhasználásához. A kijuttatott N-trágya dózisa tehát függ az adott növény N-igényétől, - amit a termés mennyisége és minősége határoz meg - és a talaj természetes N-szolgáltató képességétől.

Így a talaj N-szolgáltató képességének ismerete alapvető fontosságú, mind a növénytáplálás, mind a trágyázási szaktanácsadás, mind a környezetkímélő N-trágyázás szempontjából. Az optimális tápanyagellátás megvalósítása ugyanis feltétlenül megköveteli a talaj természetes tápanyagszolgáltató-képességének pontos ismeretét.

Célunk az volt, hogy két, igen jelentős, hazai tartamkísérlet különböző kezeléssű talajainak vizsgálatát - a 0,01 M CaCl₂ talaj kivonószer alkalmazásán keresztül - elvégezve, újabb adatokkal egészítsük ki a talajok N-forgalmáról már meglévő ismereteket és hozzájáruljunk az egyes könnyen oldható és mobilizálható N-frakciók mennyiségi viszonyainak minél pontosabb tisztázásához. Továbbá információt

kívántunk szerezeni arról a potenciális N-mennyiségről (és ennek formáiról), amely egy adott tenyészidőszakban a növények rendelkezésére áll. Ezen adatok felhasználásával ugyanis pontosítani tudjuk a kis tápanyagtókével rendelkező, külső behatásokra érzékeny homoktalajok N-szolgáltató képességéről alkotott ismereteket.

Ez azért is fontos, mert hazánk mezőgazdasági hasznosításba vont területeinek mintegy 20%-át ilyen homoktalajok adják (KÁDÁR et al., 1999). Rajtuk a fenntartható gazdálkodás feltételeinek megteremtése, termékenységük megóvása és növelése éppen ezért kiemelt jelentőségű. E talajok kolloidokban, humuszban és tápanyagokban keletkezésükből eredően szegények, könnyű mechanikai összetételűek, átalakító, szűrő, pufferelő és megkötő képességük csekély. Ezért rendkívül érzékenyek mindenféle környezeti behatással vagy szakszerűtlen emberi beavatkozással szemben (NÉMETH, 1996). Ebből adódóan az optimális trágyaadagok megállapítása ezeken a területeken alapvető fontosságú. Az eltérő trágyaadagok hatásának a talaj mobilis N-frakcióira való vizsgálatával pontosítani igyekeztünk a már meglévő ismereteket, az új környezetkímélő tápanyag-gazdálkodás követelményeihez igazodva.

Vizsgálódásaink tárgyát két nagy múltú tartamkísérlet, az 1929-ben Westsik Vilmos által beállított homokjavító vetésforgó kísérlet és az 1962 őszén Láng István által beállított nyírlugosi műtrágyázási-meszezési kísérlet jelentette.

A trágyázási tartamkísérletek kiválóan alkalmasak a talaj könnyen oldható és a növények számára felvehető N-formáinak mennyiségi változásainak nyomon követésére és a trágya tartamhatások vizsgálatára.

A régóta folyó kísérletek eredményeként a kezeléshatások markánsan és érzékenyen jelzik a talajtulajdonságokban és tápelemformákban bekövetkezett változásokat.

Az optimális adagok és kezeléskombinációk feltárása különösen fontos az olyan területeken (ide tartozik a Nyírség is), ahol a növénytermesztési feltételek nem tekinthetők optimálisnak, ahol a nyár meleg és aszályos, a tél fagyos, ahol gyakoriak az északkeleti irányú szárító szelek és ahol a tájegység legnagyobb részének talaja alacsony humusztartalmú futóhomokból áll.

A kísérletek eltérő kezelésben részesített talajaival elvégzett inkubációs vizsgálatok során arra kerestük a választ, hogy a kis tápelemtartalmú homoktalajokon alkalmazott különböző vetésforgó és műtrágya kezelések hatásaként kialakult eltérő N-ellátottság talajérleléses módszerrel kimutatható-e, továbbá az inkubációs periódus alatt (optimális körülmények között) mineralizált N-mennyiség, milyen összefüggésben van a 0,01 M CaCl₂-oldható szerves N-frakció mennyiségével.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. Nitrogén a talajban

A talajok nitrogéntartalma számos tényezőtől függ. Elsők között említhetjük a talaj kialakulását, korát illetve a talajképző közetet. A talaj N-készletét alapvetően befolyásolja a klíma is, hiszen a területen kialakuló vegetációt ill. a talajban előforduló élőszervezetek tevékenységét alapvetően ez határozza meg és a főbb talajtípusok ettől függően alakultak ki (NÉMETH, 1996).

Az éghajlat illetve a talaj N-tartalma közti összefüggés vizsgálata JENNY (1930) nevéhez fűződik, aki megállapította, hogy az átlaghőmérséklet növekedésével a talajok N-tartalma rohamosan csökken. A talaj anyagforgalmi-, vízháztartási viszonyai szintén módosítják a N-tartalmat. Természetesen a talajok N-készlete közvetlen kapcsolatban (körforgásban) van a hidroszféra ill. atmoszféra N-tartalmával (GYŐRI, 1984; LOCH és NOSTICZIUS, 1992; NÉMETH, 1996).

A szférák közötti cirkuláció folyamatos, ami tovább nehezíti a pontos mennyiségi viszonyok feltárását. A talaj N-tartalma függ a mechanikai összetételtől is. Azonos feltételek mellett a homoktalajok N-tartalma kisebb, mint a vályogtalajoké, vagyis az agyagtartalom növekedésével nő a N-tartalom is (GYŐRI, 1984).

A talajok N-készletében mélységi tagozódást is megfigyelhetünk, a legfelsőbb rétegekben nagyobb N-mennyiséget találunk míg 50 cm-nél mélyebben már jelentéktelen a N-készlet (GYŐRI, 1984). Kivételt csak a túlzott mértékű trágyázás hatására bekövetkező bemosódások okoznak. A N-tartalom mélységgel való csökkenése a szervesanyag tartalom csökkenésével magyarázható. A talaj N-tartalmát a domborzat, ill. a kitettség is befolyásolja az eróziós/deflációs folyamatok révén (NÉMETH, 1996).

A természetes körforgalom mellett az emberi tevékenységek is jelentős szerepet játszanak a talajok nitrogén-háztartásában, ahogy erre DELWICHE (1970) rámutatott.

2.1.1. Nitrogénformák a talajban

A nitrogén szerves ill. szervetlen formákban fordul elő a talajban.

LOCH és NOSTICZIUS (1992) ill. GYŐRI (1984) szerint az ásványi talajokon az összes nitrogéntartalom 0,02-0,4% között változik, míg más szerzők 0,06-0,5%-ot

említenek (PAGE et. al., 1982). GYŐRI (1984) szerint láptalajokon ez az érték az 1-2%-ot is elérheti. A talajban előforduló fontosabb nitrogénfrakciók a következők:

- szervetlen formák:
 - elemi nitrogén (N_2)
 - nitrogén-oxidok (N_2O , NO , NO_2)
 - ammónia (NH_3)
 - ionok (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-)
- szerves formák:
 - aminosavak
 - huminsavak
 - fulvosavak
 - fehérjék
 - aminocukrok
 - nukleinsavak
 - aminok
 - lipidek

Az elemi nitrogén gáz halmazállapotban jórészt a talaj pórusterében a talajlevegőben található, de megjelenik a talaj folyadékfázisában is, melyben parciális nyomásának megfelelően elnyelődik. A nitrogén-oxidok ill. az ammónia gáz halmazállapotban fordulnak elő de ezen vegyületek koncentrációja kicsi a talajban. Az ammóniumion előfordulhat részben oldva és adszorbeált állapotban a talaj szilárd fázisához kötve.

Az adszorpció történhet Coulomb-erők révén, amely kicserélhető, lazán kötött formát jelent és történhet nem kicserélhető, erősen kötött, specifikus (ún. fixált) formában (BUZÁS, 1983a). Az ammóniumionok egy része tehát nem kicserélhető formában van jelen a talajban, ugyanis az NH_4^+ -ionok megkötődhetnek a háromrétegű agyagásványok rétegei között. Ez az ún. fixált ammónium, ami BUZÁS (1983a) szerint mintegy 2-10%-a, míg LATKOVICSNÉ (1982) szerint 3-22%-a az összes-N mennyiségének. Mennyisége a szántott rétegben 86-350 kg/ha-ra becsülhető. Ez a forma, vályogtalajon az összes nitrogénnek 5%-a, míg homokon csak nyomokban van jelen.

A kötött, nem kicserélhető NH_4 -N mennyisége a talaj leiszapolható részének mennyiségével függ össze, a talaj finom frakciójának növekedésével mennyisége nő (LATKOVICSNÉ, 1982).

A nitrition nagyobb mennyiségben csak szélsőséges viszonyok - erősen reduktív körülmények - között vagy átmenetileg nagyon rövid periódusokban intenzív nitrifikáció révén fordul elő. Többnyire azonban csak nyomokban ill. igen kis mennyiségben található meg a talajoldatban, nagyobb koncentrációban kedvezőtlen a növények szempontjából.

A nitrátion a növények számára a legkedvezőbb N-forma, amely mindig megtalálható a talajoldatokban szabadon, diffundáló ionként. Mennyisége nagymértékben függ a külső környezeti feltételektől és a trágyázástól. Az ammónium-N és nitrát-N összege a növények számára "felvehető" ún. ásványi forma az összes N-nek csak kis hányadát (~1%) teszi ki (JARVIS et al. 1996). Homoktalajokon általában 1%, barna erdőtalajon 2%, rendzina-vályogtalajon 2%, agyagtalajon 0,5-2% (BUZÁS, 1983a).

A talaj nitrogéntartalmának nagy része szerves kötésben található. A művelt rétegben egyes szerzők (LOCH és NOSTICZIUS, 1992; NÉMETH, 1996) szerint az összes N-nek mintegy 95-98%-a szerves kötésben van jelen, míg mások (STEVENSON, 1982) 90% fölötti értékről beszélnek. Mennyiségük egyértelműen a humusztartalommal ill. a talaj szervesanyag tartalmával arányos (MADOS, 1944).

A szerves formák közül a nitrogén legnagyobb mennyiségben a fehérjékben fordul elő. BREMNER (1965, 1967) szerint a talajok felső rétegében található összes-N 20-40%-a aminosavakhoz kötve fordul elő. Bár a talajban szabad aminosavak csak kis mennyiségben találhatóak (PAUL és SCHMIDT (1960) ammónium-acetáttal 15 különböző aminosavat identifikált és határozott meg mennyiségileg, GILBERT és ALTMAN (1966) etilalkohollal jutott hasonló eredményre), jelentőségük nagy, mivel a növények ezeket képesek közvetlenül felvenni és hasznosítani. Az aminosavak mellett a nitrogén aminocukrokban is megjelenik (glükózamin, galaktózamin), melyek az összes N-tartalomnak 5-10%-kát teszik ki (SOWDEN et al., 1977).

A talaj szerves N-formái közül jelentősek a humusz- ill. huminsavakhoz kötött formák is, mivel ezek 2-7,5% N-t tartalmaznak (KONONOVA, 1966; FILEP, 1999). Ezekben a nitrogén szabad amino (-NH₂) csoport, láncközti imino (-NH-, ill. =N-) csoport, heterociklusos vegyületek -NH- (indol, pirrol) vagy =N- (piridin) csoportja, gyűrűs vegyületek közti hídatom, vagy mint aromás gyűrűhöz kapcsolódó aminocsoport fordulhat elő (STEVENSON, 1982; FILEP, 1999).

A talajban lévő nukleinsavak azonosítását először ANDERSON (1967) ill. CORTEZ és SCHNITZER (1979) végezték el. A nitrogén ezen túl lipidekben (főképp foszfolipidekben HANCE és ANDERSON (1963)) ill. aminokban is jelen lehet

(BREMNER, 1967). Ezeknek a formáknak a mennyisége azonban jócskán alatta marad a fentebb említett vegyületekének.

A nyugat-európai nomenklatúrában a szerves kötésben lévő N-formák megkülönböztetésére, gyakorlati módszert dolgoztak ki. Az ezen alapuló felosztás két nagyobb kategóriákat különít el.

Az összes nitrogénnek azt a részét, amely 6 M-os HCl-val kivonható, összes hidrolizálható N-nek nevezik (BREMNER, 1965). Ez a szerves vegyületeken kívül az összes szervetlen N-formát is tartalmazza, míg a szerves nitrogén amid, aminocukor, amin és aminosav formában található benne (NÉMETH, 1996). A szerves N egy része azonban nem vonható ki 6 M-os HCl-val, ezt nem hidrolizálható N-nek nevezik (ebben a frakcióban a nitrogén erősebben van kötve, többnyire aromás, gyűrűs vegyületekbe épülve található). Magyarországon a talaj tulajdonságaitól függően az összes N 37-89%-a található hidrolizálható formában (BUZÁS, 1983a).

2.1.2. A különböző N-formák közötti átalakulások, mobilis N-formák

A mezőgazdasági hasznosítás szempontjából igen fontos tényező az adott talaj N-mérlege és az, hogy az egyes formák milyen arányban vannak egymással.

Egyes folyamatok a talajt nitrogénben gazdagítják: szerves- és műtrágyázás, légköri N-megkötés, mikrobiológiai N-megkötés, makroflóra szerepe, csapadék. Mások során a talajt N-veszteség éri.

A nitrogénveszteség okai a talajművelés hatása, amely jórészt a növények által felvett nitrogént jelenti, továbbá a kilúgzás és az erózió jelensége ill. a gázállapotú N-veszteségek (N_2O , N_2 , NH_3 elillanások). A talajban található N-formák között szoros kapcsolat és számos átalakulási lehetőség van. A talaj továbbá a fölötte lévő légtérrel is kapcsolatban áll és abból nitrogént köthet meg mikroorganizmusok segítségével.

A talajlevegőben lévő nitrogént használják fel a szabadon, nem szimbiózisban élő baktériumfajok (az aerob *Azotobacter chroococcum*, *Azotomonas insolita* ill. az anaerób *Clostridium*, *Cromatium*, *Chlorobium* fajok) ill. N-fixáló gomba- és algafajok, valamint a szimbiózisban élő *Rhizobium leguminosarum* fajok, amelyek a pillangósok gyökerén lévő gyökérgümőkben élő mikroorganizmusok. Ezen szervezetek által megkötött nitrogén mennyisége jelentősen eltér. A nem szimbiotikus N-megkötés évente 0-40 kg/ha míg szimbiotikus úton összesen mintegy évi 50-400 kg/ha nitrogén

kötődik meg (GYŐRI, 1984; LOCH és NOSTICZIUS, 1992). Mindkét folyamat enzimatis úton az ún. nitrogénáz enzim segítségével megy végbe (MENGEL, 1976).

A növények tápanyagellátása szempontjából igen nagy jelentőségű folyamat a mineralizáció, mely során a szerves kémiai kötésben lévő nitrogén szerves formává alakul. Az átalakulás több lépésben megy végbe. Az első lépésben, az ún. aminizációban a fehérjemolekulákban és egyéb szerves vegyületekben kötött nitrogén aminosavak és aminok amino-csoport formájába kerül (szerves-N \rightarrow R-NH₂). Ezt követi az ammonifikáció, amikor ezek a vegyületek ammóniumionná alakulnak (R-NH₂ \rightarrow NH₄⁺). Majd pedig az ún. nitrifikációs folyamat, amelyben az ammónium forma nitriten keresztül nitráttá oxidálódik (NH₄⁺ \rightarrow NO₂⁻ \rightarrow NO₃⁻). Az átalakítást különböző baktériumok (ammonifikáló, nitrit- és nitrátképzők (Nitrosomonas, Nitrobacter)) végzik.

A mineralizáció során a nitrogén mobilizálódik s a növények számára felvehetővé válik, a mineralizálódott N-mennyiség éves szinten akár a szerves N-tartalom 1-3%-át is elérheti (BREMNER, 1967; SARKADI, 1975; STEFANOVITS, 1975). Természetesen ezeknek a folyamatoknak a sebessége számos tényezőtől függ. A nitrifikáció oxidatív folyamat, minél több a talajlevegőben az oxigén vagyis minél szellőzőtebb a talaj, annál kedvezményezettebb, gyorsabb a folyamat (BUZÁS, 1983a).

A mineralizációs folyamatok az optimális hőmérséklete: 25-35°C (NÉMETH et al. 1993a; KÁDÁR és PUSZTAI, 1997) nedvességtartalma: VK=60-80% (BUZÁS, 1983a; NÉMETH et al. 1993b) és pH-ja: 4-8 (WEBER és GAINEY, 1962; MORRILL és DAWSON, 1967). Gátolja viszont a folyamatot a savanyú kémhatás (pH<4), a levegőtlen viszonyok, nehézfém ionok ill. peszticidek jelenléte (BUZÁS, 1983a).

Az ásványosodás mértéke tehát a szerves N-vegyületek mennyiségén belül a mineralizálódni képes N mennyiségétől, és a talajban élő, az átalakításban résztvevő mikroorganizmusok számától és aktivitásától függ. A mikrobák tevékenységét a talaj nedvességtartalma, hőmérséklete, kémhatása és a bomló szervesanyag C/N aránya határozzák meg (NÉMETH, 1996).

SARKADI (1975) ill. FÜLEKY (1999) szerint az azonos humusztartalmú talajok esetén a nitrogén ásványosodásának mértékét a talaj mechanikai összetétele és kémhatása határozza meg.

A mineralizációs folyamat fordítottja a nitrogén immobilizációja, mely során a szerves ionokat a mikroszervezetek megkötik és beépítik.

Ez a biológiai megkötés bár hatásos a kimosódással szemben, bizonyos esetekben hátrányossá is válhat, ha a magasabb rendű növényeknek versengeniük kell a mikroorganizmusokkal a könnyen oldódó N-vegyületekért.

A növénytáplálás szempontjából kedvezőtlen denitrifikációs folyamatban a nitrifikációban képződött nitrit- és nitrátionok mikroszervezetek (aerob és anaerob) tevékenysége következtében visszaalakulnak ammóniává ill. gázhalmazállapotú N-formákká: molekuláris nitrogénné, ill. különböző nitrogén-oxidokká (NO, N₂O). Az így képződő vegyületek vagy a mikroszervezetekbe épülnek be (asszimilatív nitrátredukció) és a talajban maradnak, vagy távoznak a talajból, például volatizációs úton (disszimilatív nitrátredukció).

Az oxigén hiány, anaerob körülmények, könnyen bontható szerves anyagok ill. a nagyobb NO₃⁻-mennyiség ezt a folyamatot elősegítheti. A denitrifikációs veszteség jól szellőzött talajoknál a 15, míg összeiszapolódott talajoknál akár a felhasznált műtrágyaadagok 30%-át is elérheti (LOCH és NOSTICZIUS, 1992).

2.1.3. A C/N arány jelentősége

Mióta TRUCHOT (1875) először hívta fel a figyelmet a C/N arány fontosságára, ezt a hányadost fontos talajparaméterként tartjuk számon. Bizonyítja a C/N arány jelentőségét az, hogy döntő szerepet játszik a talajban lévő N-készlet átalakulásaiban, így a mineralizációs-immobilizációs folyamatokban van kiemelt szerepe (MENGEL, 1976; NÉMETH, 1996). Adott éghajlati és talajviszonyok között általánosan megállapítható egy átlagos C/N arány, mely meglehetősen állandó és nagymértékben függ a talaj összes szerves anyag készletétől (FEKETE-HARGITAI-ZSOLDOS, 1964). A talajok C/N arányának vizsgálatával számos szerző foglalkozott és megállapításuk szerint értéke viszonylag szűk intervallumba esik, általában 10-12 közé a művelt talajokban (STEVENSON, 1982). A C/N≈10 bizonyos küszöbértéket jelent. Ha az arány ennél kisebb a mineralizáció, nagyobb értéknél a biológiai N-fixálás kerül előtérbe.

A N-mineralizáció mértéke tehát nagyban függ a talaj ill. a szerves anyag C/N arányától (MENGEL, 1976).

A C/N arány értéke PÁTER (1961) megállapításai szerint magyarországi talajokra nézve 10-11 között ingadozik. Értéke a mélységgel csökkenő tendenciát mutat és nem szokatlan a <5 érték sem.

Magyarozatként a szerves C-mennyiség mélységgel való rohamos csökkenése szolgálhat. A viszonylag fix arányból következik, ha ismerjük a talaj szervesanyag-tartalmát, ebből visszaszámolhatunk a C-tartalmon keresztül a N-készletre is. STEVENSON (1959) észak amerikai talajok vizsgálatánál megállapította, hogy a C/N arány értéke 10,4-12,3-ról (A₁ horizont) 7-8-ra csökkent a C-szintben. Hasonló adatokat közöl YOUNG (1962) is, aki az Egyesült Államok észak-nyugati talajait vizsgálta. Számos trópusi talaj vizsgálatok MOORE és AYEKE (1965) azt találta, hogy a C/N arány a felszín közeli rétegek 10-18-as értékéről 2-5-re csökkent mélyebb rétegek felé haladva. Érdekes, és ezen adatoknak ellentmondó értékeket közölt HINMAN (1964), amikor kanadai talajok vizsgálatánál a felszíni rétegek 9,6-12,4 közötti értéke mellett alacsonyabb rétegekben 15,5-31,5 közötti arányokat adott meg. STEWART és PORTER (1963) az ilyen, már korábban is ismert anomáliákat a Kjeldahl-módszer nem teljesen kielégítő (N_{össz}) mérési adatainak hibájával magyarázta.

Tekintettel arra, hogy a talaj szerves kötésű N-tartalmának átalakulása a növények számára könnyen felvehető NH₄⁺ és NO₃⁻-ionokká mikrobiológiai folyamat, ezt több tényező befolyásolja. A korábban már említett talaj hőmérséklet, nedvességtartalom, szellőzőtség, adszorpciós sajátságok, a pH és a Ca-tartalom mellett az egyik legfontosabb tényező a C/N arány (BUZÁS, 1983a; LOCH és NOSTICZIUS, 1992).

A talajok viszonylag állandó C/N aránya mellett ugyanis döntő szerepet játszanak a gyökér és talómaradványok ill. a trágyázással bejuttatott szervesanyagok C/N aránya. A mikroorganizmusok számára, szervesanyag-bontó tevékenységükhöz nitrogénre van szükség. Ha a szervesanyag nitrogénben gazdag, akkor ezt a szervesanyag N-tartalmából fedezik, ha azonban nitrogénben szegény, akkor a mikroorganizmusok a talaj összes N-készletéből fedezik N-szükségletüket. A szűk C/N arányú pillangósok gyökérmaradványai (C/N=15-25) gyorsabban bomlanak le és növelik a talaj N-tartalmát mint a tág, nitrogénben szegényebb C/N arányú (C/N=50-100, szalma, kukoricaszár) gyökérmaradványok. Ez utóbbiaknál ugyanis elszaporodnak az ún. cellulózbontó szervezetek, melyek testük felépítéséhez sok nitrogént használnak fel, elvonva azt a kultúrnövényektől. A jelenség pentozánhatás néven ismert a szakirodalomban. THOMPSON (1964) szerint a nitrogén immobilizációja általában C/N ≥ 33 értéknél, NÉMETH (1996) szerint 30-40 C/N aránynál következik be. Ha az arány 17-33 közötti érték a nitrogén mineralizációja és immobilizációja egyensúlyt tart egymással. Abban az esetben ha ez az arány 17 alá süllyed akkor a mineralizáció lép előtérbe.

2.2. A talajok N-szolgáltató képességének meghatározása

A talajok minél pontosabb N-szolgáltató képességének meghatározása, annak ellenére, hogy az egyik legfontosabb és legismertebb makroelemről van szó igen sok vihart kavart az elmúlt évtizedek agrokémiai kutatásai során. Ma sem rendelkezünk olyan módszerrel, amely széles körben, általánosan alkalmazható lehetne.

A talajok N-szolgáltató képességét az ásványi formák ($\text{NO}_3\text{-N}$ és nem specifikusan kötött $\text{NH}_4\text{-N}$) mellett a könnyen mineralizálódó szerves formák N mennyisége jelzi.

A környezetkímélő trágyázási szaktanácsadás megvalósításához alapvető fontosságú annak ismerete, hogy egy termesztési ciklus alatt mennyi nitrogén képes ásványosodni adott környezeti feltételek mellett a talaj szerves anyagából és a talajba került különféle növénymaradványokból. A talaj nitrogénszolgáltató képessége nagyban függ szervesanyag-tartalmától, a szervesanyag minőségétől és az átalakítást végző mikroorganizmusok mennyiségétől (NÉMETH, 1996). Ezt a képességet éppen ezért különböző biológiai és kémiai módszerekkel lehet meghatározni (BREMNER, 1965).

2.2.1. Biológiai módszerek

PAGE et al., (1982) a Nitrogen in agricultural soils című, összefoglaló művükben mintegy 29 különböző biológiai módszert mutatnak be. A biológiai módszerek az ún. talajérleléses eljárásokon alapszanak. Ezek közös vonása, hogy a talajt állandó páratartalmú és hőmérsékletű térben meghatározott nedvességtartalom mellett több héten keresztül érleljük. Attól függően, hogy az érlelés végén hogyan határozzuk meg a talaj N-szolgáltató képességét több eljárás ismeretes: egyes mikroorganizmus-telepek (*Aspergillus niger*, *Cunninghamella blakesleeana*) növekedéséből, a könnyen bontható, N-mentes szerves anyagokkal (cellulóz, glükóz) együtt érlelt minták CO_2 -termeléséből illetve a nedvesített talaj ásványi-N tartalmának változásából (direkt inkubáció) (FILEP és TÓTHNÉ, 1980a; LOCH, 2001). A különféle direkt inkubációs módszerek az érlelési körülményekben különböznek egymástól (időtartam, hőfok, oldat/talaj arány, kezelés stb. (STANFORD és SMITH, 1972; STANFORD et al., 1974; JARVIS et al., 1996).

A legtöbb módszer rövid, 1-3 hét időtartam alatt, általában 30°C -on, aerób körülmények közötti vizsgálatokat ajánl.

Néhány kutató azonban hosszabb periódusban (112 ill. 210 nap) vizsgálta a keletkező NH_4^+ és NO_3^- -ionok mennyiségét. STANFORD és SMITH, 1972 ill. STANFORD (1977) számításaiban N_0 -ként jelölte a mineralizálható N-tartalmat és a következő képlettel adta meg mennyiségét:

$$-dN/dt = kN$$

ill.

$$\log (N_0 - N_t) = \log N_0 - kt/2,303$$

ahol: N_0 – N mineralizációs potenciál

N_t – a t inkubációs idő alatt képződött N mennyisége

t – idő;

k - reakció sebességi állandó;

A talaj hőmérsékletének és nedvességtartalmának N_0 -ra gyakorolt hatását (STANFORD et al., 1973, 1974) vizsgálták.

Az érleléses kísérleteket hazánkban is széles körben használták ill. használják a talaj N-szolgáltató képességének meghatározására. Hazánkban az id. VÁRALLYAY (1940, 1944) módszere terjedt el, amelyben az Arany-féle kötöttségi szám felével egyenlő vízmennyiség hozzáadásával, 18 napig 20°C-on történik az érlelés. Várallyay az érlelés során keletkezett N mennyiségének figyelembe vételével a talajtípusokként megadott humusztartalom valamint a növények igénye alapján állapította meg a N-trágyázás szükségességét és a várható hatást (BALLENEGGER, 1959).

MARTIN (1964) érlelési kísérletei, szintén Várallyay munkásságára épültek, mely során a debreceni löszhát csernozjom talajait vizsgálta. Martin összefüggéseket állapított meg a talaj N-szolgáltató képessége és a trágyahatások között úgy, hogy hangsúlyozta az egyéb agrotechnikai tényezők figyelembe vételét is.

FILEP és TÓTHNÉ (1980a) ill. FILEP és FERENCZ (1999) az optimális érlelési feltételek között ásványosodó nitrogént tekintik a talaj potenciális N-szolgáltató képességének és a természetes környezetben ténylegesen ásványosodott nitrogént a talaj becsült hőmérséklete és nedvességtartalma alapján a talajok maximális potenciális N-szolgáltató képességéből számítják:

$$N_{sz} = N_{sz,max} \cdot nf \cdot Tf$$

ahol:

N_{sz} – a talaj tényleges (szabadföldi) nitrogénszolgáltató képessége

$N_{sz,max}$ – a talaj maximális nitrogénszolgáltató képessége

nf – a tényleges talajnedvesség módosító hatását kifejező faktor

Tf – hőmérsékleti faktor

LATKOVICSNÉ (1974, 1979, 1981, 1982) valamint LATKOVICSNÉ és FÜLEKY (1995) különböző talajokban N-műtrágyák hatását ill. átalakulását vizsgálták többnyire izotópjelzéses (^{15}N) technikával érleléses tenyészedeny modellkísérletben. LATKOVICSNÉ (1981) dolgozatában - egyebek mellett - éppen nyírlugosi, kovárványos barna erdőtalajon végzett kísérleteiből számol be. Kezeléseiben a kontroll mellett NH_4NO_3 , jelzett NH_4NO_3 , jelzett szerves anyag (babszár) ill. jelzett szerves anyag + NH_4NO_3 szerepelt. Az érlelés időtartama alatt vett mintákban meghatározta a talajok $\text{NO}_3\text{-N}$ és kicserélhető $\text{NH}_4\text{-N}$ -tartalmát. Megállapította, hogy a kezelések hatására nőtt a talaj ásványi N-tartalma. Savanyú homokon a beadott $\text{NH}_4\text{-N}$ nem nitrifikálódott, ammónium formában maradt és a nitrát-frakció is kis mértékű változást mutatott.

A szerves anyag ásványosodása növelte ugyan a talaj felvehető N-tartalmát de az ammonifikáció folytán keletkezett ammónium csak minimális mértékben nitrifikálódott, jelentős maradt a kicserélhető $\text{NH}_4\text{-N}$ mennyisége. Ugyanez a tendencia csak fokozott mértékben érvényesült a szerves anyag + NH_4NO_3 kezeléskombinációban is. Németh és munkatársai hazai talajok N-átalakulási folyamatainak vizsgálatára inkubációs kísérletsorozatot állítottak be (NÉMETH et al. 1993a,b; NÉMETH, 1996).

A kísérletsorozatból több publikáció is napvilágot látott. A különböző talajok felső 25 cm-es rétegéből származó mintákat fél évig érlelték eltérő vizsgálati paraméterek mellett (VK, T, N-kezelések ill. növényi maradványok bekeverése). Az érlelés ideje alatt meghatározták az $\text{NH}_4\text{-N}$ és $\text{NO}_3\text{-N}$ mennyiségét a CO_2 -produkciónál ill. a szacharáz-aktivitás értékét. A vizsgált paraméterek körének szélesítésével lehetőség nyílt a mineralizációs, nitrifikációs és immobilizációs folyamatok ill. a mikrobák élettevékenységeinek vizsgálatára is. A N-transzformációs folyamatok leírására több tényezős egyenletrendszert dolgoztak ki a szerzők. A kapott eredményekből megállapították, hogy a maximális VK 40%-áig nedvesített talajban a legjelentősebb a mineralizáció és a nitrifikáció. A talajhőmérséklet optimuma $32\text{-}33^\circ\text{C}$ -nak adódott.

A különböző C/N arányú növénymaradványok (lucerna - kukoricaszár) eltérően hatottak a vizsgált N-formák mennyiségére. A szűk C/N arányú lucerna gyorsan mineralizálódott a talaj $\text{NH}_4\text{-N}$ tartalma a kísérlet első heteiben nőtt majd ezt követően csökkent, míg a $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalom csak több mint egy hét után kezdett növekedni, de ez a tendencia a kísérlet végéig kitartott és egyre növekvő mértékű nitrát felhalmozódás volt tapasztalható.

A tágabb C/N arányú kukoricaszár bekeverésének hatására a homoktalaj $\text{NH}_4\text{-N}$ tartalma az első heti eredményeket kivéve alacsony volt, míg a talaj $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalma az $\text{NH}_4\text{-N}$ tartalom csökkenésével párhuzamosan kezdett nőni, amely tendencia az érlelési periódus végéig tartott, ugyanakkor statisztikailag igazolható különbséget nem lehetett kimutatni. A kapott vizsgálati eredmények alapján sor került egy N-átalakulási modell kidolgozására is.

2.2.2. Kémiai módszerek

A biológiai érleléses módszerek időigényessége miatt felmerült ezeknek a módszereknek kémiai (extrakciós) módszerekkel való felváltásának szükségességére. Különböző eljárásokat dolgoztak ki (PAGE et al., (1982) - 23 módszert és alfajukat említik), melyek alapja, hogy olyan talaj kivonószert alkalmaznak, amellyel megközelítőleg annyi nitrogént lehet a szerves formákból kivonni, mint amennyi a mikrobiális tevékenység hatására képződne a kérdéses talajból. Így a könnyen mobilizálható tartalékkészletek savas, lúgos hidrolízise ill. oxidációja vagy semleges sóoldatok alkalmazása vált ismertté (SARKADI, 1957, 1975; FILEP és TÓTHNÉ, 1980a; PAGE et al. 1982). Az egyik leggyakrabban alkalmazott az ún. Tyurin-módszer, mely híg kénsavval történő hidrolízisen alapul. A Várallyay féle érleléssel meghatározott szervesetlen N-tartalom és a Tyurin féle hidrolizálható N mennyisége szoros összefüggésben áll egymással. Mindkét módszerrel kapott adatokkal a potenciális N-szolgáltató képesség jellemezhető.

HARGITAI (1964) különböző töménységű savakkal, hétlépcsős ismételt savas extrakciót javasolt a mobilizálható részek meghatározására. KEENEY (1965) húszféle kémiai módszer összehasonlítása alapján megállapította, hogy a forró vízben hidrolizálható N mutat a legszorosabb összefüggést a növények N-felvételével.

A talajok N-szolgáltató képességének az összes N-tartalom mérésén alapuló meghatározása SARKADI (1975) nevéhez fűződik.

SARKADI (1975) szorzószámokat dolgozott ki, melyek segítségével a mobilizálható készletek számíthatók:

$$N_{\text{szolg. képesség}} = N_{\text{össz}} \cdot f \cdot 300 \quad (\text{kg/ha})$$

ahol az f-értéke a talajok kötöttségétől és típusától ill. a nitrifikációs viszonyoktól függ.

A MÉM NAK szaktanácsadási rendszerében a talajok N-szolgáltató képességének meghatározása a humusztartalom alapján, a talajtulajdonságok figyelembe vételével történik. Nyugat-Európában a közvetlenül felvehető, szerves N-formák, a NH_4^+ és NO_3^- -ionok vizsgálata terjedt el (N_{min} módszer). A módszer (WEHRMANN és SCHARPF, 1979) során kora tavasszal, a gyökerekkel átszótt talajt 1 m mélységig megmintázzák és régebben NaCl, újabban CaCl_2 kivonatban meghatározzák a $\text{NH}_4\text{-N}$ és $\text{NO}_3\text{-N}$ koncentrációt rétegenként, amiből 1 hektárra számolják át az oldható N-tartalmat. Ebből a műtrágya szükségletet úgy állapítják meg, hogy a természetű kultúra tavaszi szükségletéből kivonják a talajban talált mennyiséget. A leggyakrabban használt kivonószerekként a forró víz, NaOH, H_2SO_4 , CaCl_2 , KCl és más oxidáló reagensek KMnO_4 , K_2CrO_4 , CrO_3 terjedtek el (PAGE et al., 1982).

FILEP és TÓTHNÉ (1980b) kénsavas $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ -ot ajánl a talaj potenciálisan mineralizálható N-készletének meghatározásához. Módszerükkel elkerülhető a hosszadalmas inkubáció és az így kapott eredmények jó korrelációt mutatnak a biológiai módszer által szolgáltatottakkal.

Az évtizedek óta folyó, a talaj N-szolgáltató képességét vizsgáló kutatások során csak az utóbbi években kezdtek figyelmet szentelni a szerves ionfrakciók mellett a könnyen oldható szerves N-frakciók meghatározásának. Ennek magyarázata a két szerves ionforma növény táplálásban betöltött alapvető szerepe volt. Az utóbbi évtizedekben azonban számos publikáció látott napvilágot, melyek a könnyen oldható szerves N-formák szerepét hangsúlyozzák (MURPHY et al., 2000).

GYŐRI et al. (1989) cikkükben STANFORD (1968), MACLEAN (1964) FOX és PIEKIELEK (1978a,b) munkásságára támaszkodva megállapítják hogy, a talaj N-szolgáltató képessége a könnyen oldható (forró 0,01M CaCl_2 ill. 0,01M NaHCO_3) szerves anyag-frakcióval ill. az abban mérhető N-tartalommal jellemezhető. Továbbá az

általuk preferált NaHCO_3 -os módszer által szolgáltatott adatok a gyakorlati szaktanácsadásban is alkalmazhatóak.

NÉMETH (1979) megállapította, hogy az EUF frakciókban a szerves-N ionokon kívül könnyen oldható és oxidálható szerves-N vegyületek is jelen vannak. Mennyiségi kapcsolatot állapított meg az EUF módszer által szolgáltatott szerves-N frakció és a tenyészidőszak alatt mobilizálható N-készletek mennyiségei között. Megfigyelései szerint egy termőhelyen a CaCl_2 oldható szerves-N mennyisége a tenyészidőben állandónak tekinthető (NÉMETH et al., 1988).

Az eredeti és az oxidáció után mért szerves-N tápanyagtartalom különbségéből a szerves-N mennyisége számolható, amely alkalmas a tenyészidő alatt mobilizálható N-készletek becslésére.

Mióta HOUBA et al. (1986) kimutatták, hogy a 0,01 mólos CaCl_2 -os talajkivonatban könnyen oldható és oxidálható szerves N-vegyületek vannak számos publikáció látott napvilágot, amely a módszer alkalmazhatóságát vizsgálja (HOUBA et al., 1986; 1990, 1991; APPEL és MENGEL, 1992; JÁSZBERÉNYI et al., 1994).

A Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrumának Mezőgazdasági Kémiai Tanszékén Loch vezetésével szintén foglalkozunk a 0,01 mólos CaCl_2 -os kivonószert alkalmazhatóságának vizsgálatával a talajok nitrogén ellátottságában (LOCH, 1996; LOCH és JÁSZBERÉNYI, 1997; LOCH, 1999, 2001).

LOCH (1996) megállapítja, hogy a 0,01 M CaCl_2 -os és a hagyományos KCl-os talajkivonatban mért ásványi N-frakciók értékei szoros összefüggésben állnak.

A CaCl_2 -os módszer a hagyományos módszert felválthatja, alkalmas a talaj N-ellátottságának jellemzésére.

Ezeket a tapasztalatokat erősítették meg - újabb eredményekkel kibővítve JÁSZBERÉNYI és LOCH (1998b) ill. LOCH (1999), akik a konvencionálisan, a mobilis tápelemek jellemzésére használt mólos KCl és 0,01 mólos CaCl_2 -oldat összehasonlító vizsgálatát végezték el több elemre nézve és kiterjesztve számos országos tartamkísérlet (Látókép, Nyírlugos és az OMTK rendszer) több száz talajára. Kimutatták, hogy a 0,01 mólos CaCl_2 -ban valamint a mólos KCl-ban oldható szerves-N-frakciók között szoros a korreláció - függetlenül a vizsgált talajtípustól- és a két módszer egymással helyettesíthető. Megállapítást nyert továbbá, hogy a 0,01 mólos CaCl_2 -os talaj kivonószerttel nyert frakcióval jól jellemezhető a talaj könnyen oldható, mobilis tápelem készlete (HOUBA et al., 1991, JÁSZBERÉNYI, 1994; JÁSZBERÉNYI és LOCH, 1998b).

LOCH (1999) a T017043 sz. OTKA téma zárójelentésében a következő megállapításokat teszi:

- A 0,01 M CaCl_2 oldható N-frakciók használhatók a N-ellátottság jellemzésére, a módszer az EUF vizsgálatokat helyettesítheti.
- Az szerves N-frakció nagysága alapvetően a talajtulajdonságoktól, és a termőhelyi adottságoktól függ. Homoktalajokon a szerves és szervesetlen N-formák mennyisége azonos nagyságrendű. Az évtizedes NPK trágyázás ill. Ca- és Mg-pótlás eredményeképp a szerves N-frakció mennyisége növekvő tendenciájú.
- A módszer alkalmas a szezonális N-dinamika leírására. A 0,01 M CaCl_2 oldható szervesetlen és összes N-frakciók változása erőteljes, míg a szerves-N mennyisége csak kismértékben ingadozik a tenyészidőszak alatt.
- Mind a szerves, mind a szervesetlen frakciók növény táplálási és környezeti szerepe fontos, pontos feltárásuk további vizsgálatokat igényel.

APPEL és STEFFENS (1988) APPEL és MENGEL (1992) KULCSÁR et al. (1998) valamint LOCH (1999) megállapították, hogy a CaCl_2 -os szerves-N frakció és az EUF szerves N-frakció között szoros az összefüggés. Az EUF szerves N mennyisége, átlagosan 2-3-szor nagyobb, mint a CaCl_2 oldható szerves-N mennyisége. Ugyanakkor helyes WILLIAMS és EDWARDS (1993) azon felvetése, hogy a 0,01 M CaCl_2 -os szerves-N frakció a biomassza összes nitrogénjének csak kis részét adja a talajban.

GROOT és HOUBA (1995) szerint szignifikáns kapcsolat van a termőhelyek N mineralizációs kapacitása és a CaCl_2 oldható szerves-N mennyisége között. Hasonló eredményt kapott APPEL és MENGEL (1990) is, akik homoktalajok szerves nitrogén frakcióját vizsgálták EUF és kalcium-kloridos módszerrel. Bár egy későbbi publikációjában Appel arra hívja fel a figyelmet, hogy a N mineralizációs kapacitás nem jellemezhető az EUF és kalcium-kloridos módszerrel kapott adatokkal abban az esetben ha a frissen immobilizált nitrogén remobilizációja a meghatározó az ásványosodási folyamatban (APPEL és BRUNET, 1995). Ugyancsak a könnyen oldható szerves nitrogén frakció fontosságát hangsúlyozták KULCSÁR és JÁSZBERÉNYI (2000), akik rámutattak arra, hogy a CaCl_2 oldható szerves nitrogén frakciónak különösen nagy szerepe és jelentősége van olyan kultúráknál (pl. cukorrépa), amelyek minősége nagymértékben függ a tenyészidő alatt mobilizált N mennyiségétől.

HOUBA et al. (1986, 1990, 1991) a következőkben foglalták össze a 0,01 mólos CaCl_2 talaj kivonószer alkalmazásának előnyeit:

- a kivonószer koncentrációja közel azonos a talajoldat átlagos só-koncentrációjával
- mivel a Ca a talaj adszorpciós komplexumának elsődleges kationja, jobban képes kicserélni egyéb adszorbeált kationokat, mint más kationokat tartalmazó kivonószer
- mivel a kétértékű kation jó koaguláló szer a talajszuszpenzióban, oldatát nem szükséges olyan koncentrációban alkalmazni, mint az egyértékű kationokat tartalmazó sóoldatokat
- a kivonatban az összes fontos tápelem mellett a különböző nehézfémek is meghatározhatók
- előnye az ammónium sók (pl. acetát) használatához képest, hogy nem vezet a nehézfémek komplexálódásához így az eredmények értelmezésében ez nem szerepel zavaró tényezőként
- a fontos szerves N-frakciók mellett az oldott szerves N-frakció is meghatározható
- mivel a különböző tápelemek és fémek mérése ugyanazon kivonatból történik, az elemek közötti összefüggés könnyen értelmezhető
- az extrakcióhoz felhasznált vegyszerek mennyisége kevés, veszélyes hulladékok nem képződnek az extrakció során

2.3. A N-trágyázás jelentősége, szaktanácsadási módszerek

Világszerte az agrokémiai vizsgálatok egyik alapvető feladatát jelentette az elmúlt évtizedekben és jelenti még ma is, hogy adott körülmények között megállapítsák a növények tápanyagigényének azt a szintjét, ami a megfelelő mennyiségű és minőségű termés kialakulásához szükséges. Mindez persze nagyszámú műtrágyázási, szabadföldi kísérlet beállítását jelentette az utóbbi évtizedekben. Az egyik legfontosabb tápanyagként számon tartott nitrogén trágyázásáról, termésre gyakorolt hatásáról, felvehetőségéről, átalakulási folyamatairól tengernyi publikáció látott napvilágot.

A N-trágyázás fontosságát senki sem vitatja, de nagyon lényeges az optimális N-szükséglet meghatározása, hiszen ha a talaj nitrogénben szegény a növények fejletlenek maradnak, gyökérzetük hosszúra nyúló de kevésbé elágazó lesz, alsó leveleik

megsárgulnak mivel sem a sejtfehérjék, sem a klorofill képzéséhez szükséges N-mennyiséggel nem rendelkeznek. Megrövidül a vegetációs idő és kisebb lesz a termés. A nitrogénhiány az egyes kultúrnövényeknél más és más tüneteket, tünetcsoportokat eredményez. A gabonaféléknél például a fehérjetartalom csökken, a keményítő, a cukor és más szénhidrátok mennyisége viszont növekszik. A magvak korán érnek de aprók lesznek (LOCH és NOSTICZIUS, 1992; FEKETE-HARGITAI-ZSOLDOS, 1964). Továbbá a talaj kedvezőtlen N-ellátottsága más elemek felvehetőségét is befolyásolja. Természetesen a túl nagymennyiségű nitrogén is kedvezőtlen. Hiszen ha a talaj nitrogénben bőven ellátott akkor a növény gyorsan fejlődik, sötétzöld, dús, laza állományú zöldtömeg képződik, mely azonban puha sejtfalakkal és rostokkal rendelkezik mivel a gyors fejlődés miatt a támasztószövetek fejlődése elmarad. E kevésbé ellenálló vegetatív szerveket a gombák, betegségek könnyebben megtámadják. A túladagolás tehát fokozott vegetatív fejlődést, luxusfelhalmozást, cukortartalom csökkenést, egyéb minőségromlást, rosszabb tárolhatóságot vagy kései érést idéz elő, ami a gabonánál dőlésveszélyt okoz.

A luxusfogyasztás nem feltétlenül negatív jelenség, búzánál például javítja a liszt minőségét (BUZÁS, 1983a, 1987).

A nitrogénnek azonban nem csak a termésképzésre van hatása, hanem a termés minőségére is. A gabonatermesztésben és számos takarmány ill. zöldségnövénynél éppen a magas fehérjetartalom a kívánatos. A cukorrépán, egyes zöldségféléken (burgonya) pedig a túlzott N-ellátás káros mellékhatásokat okoz (a termés minősége, eltarthatósága romlik).

Az optimális N-ellátottság tehát kulcsfontosságú a növénytáplálás szempontjából. Meghatározása viszont elég nehéz ugyanis az összes N-tartalommal nem jellemezhető megfelelően a talaj N-szolgáltatása (a N-formák nagy száma és aránylag gyors átalakulása ill. ezeknek a talajnedvesség és hőmérséklet hatására bekövetkező ingadozása miatt). Az optimális N-szükséglet meghatározása már csak azért is kulcsfontosságú mert a N-műtrágya hasznosulása a kijuttatás évében - a növénytől, a műtrágyától, a talajtulajdonságoktól függően - tág határok közt változik, átlagosan mintegy 50%-ra tehető (BUZÁS, 1983a). Eszerint - különösen nagyobb N-adagok esetén - a nem hasznosított műtrágya N-mennyisége jelentős lehet, ami viszont környezetszennyezést okozhat, például a vizek nitrátosodásához vezethet (BUZÁS, 1983a; NÉMETH, 1996).

A nitrogéntrágyázási szaktanácsadás alapja a világ minden táján hosszú ideig a talaj szerves anyagának, humusztartalmának mérése volt. A különböző tényezők (termőhelyi adottságok) és az eltérő meteorológiai körülmények hatását az alkalmazott módszerek eltérő módon vették figyelembe.

Az ADAS módszer (Agricultural Development and Advisory Service, 1985) például a nitrogéntrágya-adagok meghatározásához egy index rendszert dolgozott ki, amely a talajtulajdonságok, az elővetemény, a korábbi trágyázás utóhatását és az időjárási körülményeket veszi kiemelten figyelembe (BALLÁNÉ, 1993, NÉMETH, 1996).

A hazánkban jelenleg alkalmazott trágyázási szaktanácsadási módszerek többsége a N-trágyaigény megállapításánál a talaj 0-25cm-es rétegének humusztartalmát veszi figyelembe (NÉMETH és BUZÁS, 1991a; GONDOLA, 1990). SARKADI (1975) szerint a 4-5 évenkénti talajvizsgálatoknál meg kell elégedni a talaj összes-N ill. humusztartalmának mérésével. A MÉM NAK nitrogéntrágyázási szaktanácsadási módszerében a szántók talajait humusztartalmuk alapján különböző ellátottsági kategóriákba sorolják termőhelyüknek megfelelően. A szántóföldi termőhelyi kategóriákon belül az Arany-féle kötöttségi szám alapján két-két csoportot képeztek a könnyebb ill. nehezebb mechanikai összetétel szerint. A MÉM NAK szaktanácsadási módszere a talajtulajdonságokon túl figyelembe veszi a termesztett növények tápanyagigényét is (fajlagos értékek).

A módszer továbbá számításba veszi, az istállótrágya tartamhatását, az elővetemények hatását és trágyázási javaslatot tesz (időpont, megosztás, műtrágya forma stb.).

Ez a módszer azonban, mint arra BUZÁS (1983a) ill. NÉMETH és BUZÁS (1991a) rámutat, némely esetben (pozitív tápelemmérlegű üzemi táblák) nem alkalmas a változások kimutatására. Ugyanis az intenzív gazdálkodási módra való áttérést követően a humusztartalom szinte csak kategorizálásra alkalmas, nem nyújt lehetőséget a kategóriák finomabb felbontására ill. nem ad információt a talajban ténylegesen meglévő, könnyen felvehető N-mennyiségéről.

Ezekről ill. a N-trágyázások hatására bekövetkező változásokról a talaj ásványi N-tartalmának mérésével kaphatunk információt (WEHRMANN és SCHARPF, 1983).

A mezőgazdaságban az elmúlt évtizedekben bekövetkező nagymértékű változások a nitrogéntrágyázás új alapokra való helyezését igényli. A talajok ásványi-N tartalmának figyelembe vételén alapuló ún. N_{\min} módszer abból a felismerésből indul ki, hogy a korábbi évek N-trágyázásának eredményeként ill. a talajban lejátszódó átalakulási és transzport folyamatok eredményeként az adott évi N-trágyázást megelőzően is különböző

mennyiségű ásványi-N formák találhatóak a talajszelvényben, melyek jelentős szerepet játszanak a növény N-igényének kielégítésében és így szerepük van az alkalmazott N-trágya érvényesülésében.

A talajok ásványi-N tartalmának mérésén alapuló N-trágyázási módszer (N_{\min} -módszer) a mezőgazdasági gyakorlatban a hatvanas-hetvenes évektől kezdődően terjedt el mind Nyugat-Európában mind a tengeren túl. Hazánkban a módszer adaptálása ill. alkalmazhatóságának vizsgálata viszonylag korán megindult főképp az MTA TAKI ill. a PATE vezetésével (HOFFMAN et al., 1987; HOFFMANN, 1989).

A módszer abból indul ki, hogy kapcsolatot keres a talaj adott rétegében található ásványi formában lévő N-mennyisége és a növény N-igénye között. A kiszórandó N-műtrágya kiszámításának képlete:

$$y=a-bx$$

ahol:

y - a kiszórandó N mennyisége (kg/ha)

a - a talajra és a környezetre jellemző, növénytől függő érték, ami a növény nitrogénigényét mutatja

b - az ásványi-N "érvényesülési koefficiense"

x - ásványi-N-tartalom (kg/ha) az adott talajrétegben

A módszer hátránya az a és b érték megadásának nehézkessége, illetve az, hogy az országoként, némely esetben kutatóhelyenként kialakított módszer alapjaiban bár azonos de a megközelítésben bizonyos eltérések adódhatnak. Az alkalmazáskor az egyik legalapvetőbb különbség az, hogy az ásványi-N-formák közül (kicserélhető NH_4^+ és NO_3^-) melyik vizsgálati eredményeit veszik figyelembe. A módszerek egy része a kicserélhető NH_4^+ és NO_3^- összegét veszi figyelembe, míg mások csak a nitrát-N tartalommal számolnak. BALÁZS (1991) HOFFMANN (1991, 1993) ill. NÉMETH és BUZÁS (1985) mindkét N-forma együttes kalibrációját szorgalmazza, bár megjegyzik, hogy az NH_4^+ -formával csak speciális esetekben kell számolni. Helyes BUZÁS (1983a) azon felvetése, hogy csak egy adott adszorpciós kapacitású talajnál van értelme az NH_4^+ és NO_3^- ionok összegét figyelembe venni, különböző talajok összehasonlításánál viszont helytelen, mert az ammóniumionok mennyisége a kivonószorban főleg a talaj adszorpciós képességétől függ és nem az ammóniumtartalmától. Hasonló eredményre jutott SARKADI et al. (1986), akik a tízéves Nagyhörcsöki kísérlet részletes

talajanalízisét végezték el. Megállapították, hogy a növekvő N-trágyázásnak nincs szignifikáns hatása a talaj NH_4^+ -N-tartalmára és az NH_4^+ -N-tartalmak hibaszórása nagyobb, mint a NO_3^- -N-tartalmaké.

NÉMETH (1996) szerint a módszert bármely területre lehet adaptálni a helyi sajátosságok figyelembevételével, továbbá az N_{\min} módszer alkalmazása azért is jelentős, mert a hazánkban kialakult trágyázási gyakorlathoz (őszi és tavaszi osztott N-kijuttatás) jól illeszthető.

A módszer ugyanis különös hangsúlyt fektet arra, hogy a mintavétel időpontja a trágyázás időpontjához minél közelebb legyen. Közismert ugyanis, hogy a talaj nitrát-N-tartalma szezonálisan jelentős ingadozásokat mutat. A kora tavaszi ásványi-N mérések jó alapot nyújtanak a tervezett termés eléréséhez és az ősszel megállapított, N-adagok kontrollálásához.

Az N_{\min} -módszer továbbá figyelembe veszi az elővetemény N-trágyázását, termését és N-felvételét, az ősszel lejátszódó mineralizációt valamint az ősszel nitrát formában lévő nitrogénnek a vegetáció beindulásáig tartó differenciált, lefelé irányuló mozgását.

A kalibrációhoz tehát sokéves kísérleti tapasztalat és a területre jellemző sokéves átlagos nitrát-N-tartalom ismerete szükséges.

2.4. A trágyázás hatása a talaj N-készletére hazai tartamkísérletekben

2.4.1. Műtrágyázási kísérletek

A tartamkísérletek nitrogénforgalmi vizsgálataival foglalkozó szakirodalom mind külföldi mind hazai viszonylatban igen terjedelmes és szerteágazó.

A legfontosabb hazai vizsgálatokat tartalmazza a Debreczeni-Debreczeniné által összeállított "Trágyázási kutatások 1960-1990" című könyv ill. a Németh által írt "Talajaink szervesanyag-tartalma és nitrogénforgalma" című igen átfogó és hiánypótló munka.

A talajok N-tartalmának és forgalmának vizsgálata több hazai tudományos centrumban folyik (PATE, DATE, TAKI, SZIE).

A N-trágyázási kísérletekben fontos annak a megállapítása, hogy az alkalmazott trágyaadagok hogyan hatnak a talaj N-készletére, tápanyag-gazdálkodására.

Az Országos Műtrágyázási Tartamkísérletek (OMTK) kiválóan alkalmasak a talaj N-forgalmának vizsgálatára. A kísérletet kilenc eltérő csapadékmennyiségű (476-647

mm/év) és talajtípusú termőhelyen: Iregszemcse, Karcag, Nagyhörcsök - csernozjom, Bicsérd, Keszthely, Kompolt, Putnok - erdő, Hajdúböszörmény - réti és Mosonmagyaróvár - öntéstalajon állították be, kontroll ill. több lépcsős NPK-kezeléssel két ill. három vetésforgóban. A kapott eredmények értékelése alapján a kontrollhoz képest a legnagyobb nitrát felhalmozódást a 250 kg N/ha-os kezeléskor kapták (amely meghaladta a növények nitrogénigényét) (NÉMETH, 1996).

A nitrát profilok jellegzetesen, a talajtípusnak, a talaj fizikai és kémiai tulajdonságainak és a környezeti feltételeknek megfelelően alakultak. Jellegzetes maximumot csak a réti és csernozjom típusú talajok esetén kaptak, amely általában 100-200 cm mélységben helyezkedett el. Erdőtalajok esetén a nitrát-N mennyisége a mélységgel egyenletesen változott, a vizsgált szintben (0-300 cm) nem mutatott felhalmozódást (NÉMETH, 1996).

VÉGH et al. (1998) a vízellátottság és a gyökérszövet szerepét vizsgálták, eltérő N-kezelések esetén a talaj NO_3^- -N eloszlására a nagyhörcsöki kísérletben. Vizsgálataikat két lényegesen eltérő csapadék mennyiségű évben (1990-1991) végezték. Megállapították, hogy a növekvő N-adagok növelik a gyökérsűrűséget és a gyökérszövet mélységét, azonban mind az aszály, mind a túlzott N-trágyázás károsan hat a gyökérhálózat kiterjedtségére így módosítják a NO_3^- -N eloszlását a vizsgált (0-100 cm) talajprofilban.

A nitrát felhalmozódás mélységét és értékét tehát a kijuttatott dózis, a csapadékviszonyok és a talajtípus határozzák meg alapvetően, a talajvízszint, a mélyebb rétegek agyagtartalma, a természetben növények eltérő N-felvétele valamint az időszakos vízborítás hatására fellépő denitrifikáció pedig többé-kevésbé módosítja (KÁDÁR és NÉMETH, 1993; NÉMETH, 1994a, 1994b, 1996; NÉMETH és KÁDÁR, 1999).

RUZSÁNYI (1992) a DATE Kísérleti Telepén alföldi mészlepedékes csernozjom talajon különböző kísérletekben vizsgálta a talaj N-tartalmát különböző elővetemény (szója, kukorica), öntözött és nem öntözött viszonyok ill. eltérő N-kezelés mellett. Megállapítja, hogy szója elővetemény után több nitrát-N maradt a szelvényben és az akkumuláció csúcsa is mélyebben van. A kukorica betakarítását követő NO_3^- -N-profil elemzése megállapítja, hogy a nem öntözött területen a felhalmozódás maximuma 140-160 cm között található, míg az öntözött területen éles maximumot nem kapott, azonban a felhalmozódás mélyebb talajrétegekre is kiterjedt. Kísérleteiből megállapítja, hogy a 150 kg/ha/év adagot meghaladó N-trágyázás ezeken a területeken nem ajánlatos. Hasonló profilú görbéket kapott öntözött és nem öntözött nagyhegyesi

csernozjom talajok vizsgálatok LOCH és JÁSZBERÉNYI (1989) azzal a különbséggel, hogy adataik szerint nem öntözött viszonyok között a nitrát felhalmozódás maximuma 50-60 cm között jelentkezik. Dolgozatukban megállapítják azt is, hogy az általuk vizsgált rétegben (0-100 cm) nem öntözött viszonyok között másfélszer-kétszer nagyobb a NO_3^- -N mennyisége, mint öntözött körülmények között. Tapasztalataikat a nagyobb növényi felvétellel, a denitrifikációs veszteségekkel és a nitrát mélyebb rétegekbe való lemosódásával magyarázzák.

KÁTAI et. al., (2001, 2003) a DATE eltérő talajtípusú tartamkísérleteinek 0-600 cm-es szelvényében vizsgálták a talaj nitrát-N tartalmának változását. Jellegzetes nitrát-N profilokat kaptak a mészlepedékes csernozjom és réti típusú talajoknál megállapítva, hogy a nitrát felhalmozódás mértéke jelentősen eltér a kezelt és kezeletlen talajok esetén. Vizsgálatokat inkubációs kísérletekkel is kiegészítették, rámutatva a mikroorganizmusok szerepére a nitrát átalakulási folyamatokban.

BALÁZS (1991) különféle (Ramann, rozsdabarna, pszeudoglejes) barna erdőtalajokon búza ill. kukorica jelzőnövényekkel végzett N-forgalmi kísérleteket. Eredményeiket az N_{\min} módszer segítségével dolgozták fel megállapítva, hogy a növekvő őszi N-dózisnak megfelelően a kora tavaszi ásványi-N tartalom is szignifikánsan növekedik. Megállapították továbbá, hogy a nitrogén vertikális eloszlását a talajművelés is befolyásolja, a szántásos művelés következtében az oxigénben dúsabb környezetben több N mosódik le, mint sekély művelésnél (BALÁZS et al., 1998). Hangsúlyozták, hogy az N_{\min} adatok értékelésénél figyelembe kell venni az adott növény, ill. a vizsgált terület elővetemény rendszerét és a különböző szerves anyagok bevitelét (KISMÁNYOKY et al., 1989). A növekedés mértékét pedig a dózisok mellett a talajtulajdonságok (pl. kötöttség) határozzák meg alapvetően.

KOVÁCS és FÜLEKY (1991) FÜLEKY és DEBRECZENI (1991) FÜLEKY és KOVÁCS (1993, 1994) ill. FÜLEKY (1997) a GATE kísérleti telepén 1969-ben ill. 1972-ben beállított tartamkísérletekben átfogó agrokémiai vizsgálatok keretén belül vizsgálták a hosszantartó műtrágyázás hatását a rozsdabarna erdőtalaj nitrát-N mennyiségére. A vizsgált 3 m-es szelvény adatai alapján megállapították, hogy a N-kezelések mind a szántott réteg mind a mélyebben lévő rétegek nitrát-N mennyiségét szignifikánsan növelték. A nitrát felhalmozódás maximuma 150-200 cm-es, míg minimuma 40-80 cm-es mélységben található.

A gyökérzet N-felvételének hatása a nitrát elmozdulására mintegy 100 cm mélységig érzékelhető, az ennél mélyebben lévő készlet gyakorlatilag elveszhetnek tekinthető a növények számára. A nitrát mozgása ill. eloszlása a lefelé mozgó víztöbblettől és a növényi felvételtől függ. A szerzők felhívják azonban a figyelmet a nagy műtrágya dózisok (180-360 kg N/ha) tartamhatásaként jelentkező NO_3^- -N akkumulációra valamint a kezeléshatást módosító elővetemények szerepére. R. VÉGH és FÜLEKY (1995) ugyanennek a tartamkísérletnek talajanalitikai adatai alapján dinamikus szimulációs modellt alkalmaztak a talaj, víz- és N-forgalmi folyamatainak vizsgálatára. A modell, bár a mikrobiológiai folyamatok korrekt paraméterezése terén további vizsgálatokat igényel, jó becslési adatokat szolgáltat a bonyolult talaj-növény-műtrágya kölcsönhatási rendszer bemutatására.

Hasonló eredményeket kapott Kádár és Németh (KÁDÁR et al., 1989; NÉMETH et al., 1987-1988; KÁDÁR és NÉMETH, 1993; NÉMETH és KÁDÁR, 1999), akik a szezon dinamikai vizsgálatok mellett nitrát lemosódási és felhalmozódási kísérleteket is végzett a nagyhőrcsöki mészlepedékes csernozjom területen. Vizsgálták a talajnedvesség hatását a nitrát mozgására és megállapították, hogy a gyökérszóna alá mosódott nitrogén nagy része már nem képes a tápanyag szolgáltatásban résztvenni. Továbbá rávilágítottak arra, hogy a növény igényét meghaladó N-trágyázás (200-300 kg/ha/év) hatására jelentősen megemelkedik a NO_3^- -N mennyisége a gyökérszónában, amely már önmagában is meghaladja a növényi N-felvétel fiziológiai határait, így az alsóbb rétegekből a N-hasznosításnak gyakorlati jelentősége nincs. A kísérlet 1985-ös ill. 1990-es adataiból megállapították, hogy a felső talajréteg (0-100 cm) NO_3^- -N mennyiségében bekövetkező változások a csapadékmennyiség csökkenésével és a termesztett növények csökkent N-igényével magyarázható (NÉMETH, 1996).

Németh és munkatársai 1984-1992 között N-trágyázási kalibrációs kísérleteket végeztek különböző N-műtrágya-adagokkal (0-150-300-450 kg/ha/év) két eltérő talajtípuson (Őrbottyán-humuszos homok, Nagyhőrcsök- mészlepedékes csernozjom). Vizsgálták az eltérő trágyaadagok hatását a talajszelvény (0-2 m) kicserélhető NH_4^+ -N- és NO_3^- -N-tartalmára illetőleg a kapott terméseredményekre. Megállapították, hogy a N-kezeléseknek nincs hatása a KCl-oldható NH_4^+ -N-tartalomra, míg a nagyobb N-dózisok (300-450 kg/ha/év) esetén mindkét talajnál szignifikánsan nő a talaj és NO_3^- -N-tartalma a kontrolléhoz ill. az első N-lépcsőhöz képest. A lemosódás mértéke a talajtípustól és a csapadékviszonyoktól függ. Bizonyították továbbá a tartamhatást mindkét talajtípuson és igazolták a N-trágyázás ill. a megfelelő N-ellátottság pozitív hatását mind a

terméseredményre, mind a termésminőségre (olajtartalom) (NÉMETH és BUZÁS, 1991a, 1991b; NÉMETH, 1996 NÉMETH, 1998a,b).

BIRCSÁK és NÉMETH (2002) ugyancsak az őrbottyáni és nagyhőrcsöki kísérlet későbbi adatai alapján (1992-1996) megállapították, hogy a nitrogén nitrát formájában a mészlepedékes csernozjom talajon nagyobb mértékben halmozódik fel mint a humuszos homok talajon és ezt a felesleget figyelembe kell venni az évenkénti N-adagok kijuttatásánál.

SZEBENI és BUZÁS (1985) humuszos homokon (Őrbottyán) és barna erdőtalajon (Keszthely) beállított tenyészedény kísérletben vizsgálták N-trágyázás ($^{15}\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$) és növénymaradványok alászántásának hatását a talaj N-formáinak mennyiségére. Megállapították, hogy a N-kezelések elsősorban a talaj nitrát-N-tartalmát növelték meg. Az ^{15}N -ös, nyomjelzéses technikával kapott adatok arra utaltak, hogy a talaj hasznosítható N-készletét részben a trágyázás, részben a gyökérmaradványok és a talaj szerves-N-tartalmának mineralizációja határozza meg.

Mint arra NÉMETH (1996) rámutat a N-forgalmi folyamatok bemutatásánál törekedni kell a vizsgálatok kellő mértékű sűrítésére (tenyészidőszakonkénti több vizsgálat) mert ezáltal hasznos információkhoz jutunk a természetes folyamatok szezonális dinamikájára vonatkozóan. Hasonló, a mintavételezés nem megfelelő számával kapcsolatos gondolatokat vett fel FÜLEKY (1999) és BUZÁS (1983a), akik a jelenleg érvényben lévő szaktanácsadási módszer egyik legnagyobb hibájának a ritka mintavételt tartják.

KERESZTÉNY és CSÓK (1960) közel egyéves periódusban tíz alkalommal vizsgálták réti és öntés talajok feltalajának (0-20 cm) ásványi-N-tartalmát. Adataikból megállapították, hogy az ásványi-N tartalom ebben a rétegben júniustól októberig nő majd az őszi esőzések hatására csökken, a következő tavasszal pedig ismét növekvő tendenciát mutat.

Ennek némiképp ellentmond SZŰCS (1989), aki a PATE mosonmagyaróvári kísérleti telepén a 0-150 cm-es talajszelvény NO_3^- -N-tartalmát vizsgálta évenkénti több mintázással (tavaszi, nyári, őszi). Kísérleti eredményeiből megállapítja, hogy a kontroll és a műtrágyázott parcellák feltalajainak (0-30 cm) NO_3^- -N-tartalma nyáron a legkisebb és csak tavasszal mutat szignifikáns különbségeket. Az 1983. őszen kijuttatott NO_3^- -N a tavaszi időszakban lefelé majd az igen aszályos nyári időszakban a felszín felé mozgott. Adataiból megállapította, hogy az aszályosabb időjárási feltételek mellett a viszonylag nagyadagú N-trágyázás (280 kg/ha NH_4NO_3) esetén sem történik számottevő kilúgzás a

gyökérszónából még a kimosódásnak leginkább kitett téli hónapokban sem. Továbbá statisztikailag is igazolta, hogy a N-trágyázás a kontrollhoz képest egyenletesebb N-ellátottságot jelent, ami a termésbiztonság növekedését vonja maga után.

Szintén az ásványi-N tartalom szezondinamikai változásait vizsgálta NÉMETH és BUZÁS (1985) a nagyhőrcsöki NPK-tartamkísérletben 1983 márciusa és novembere között, három rétegben (0-20, 20-40 és 40-60 cm) ill. négy kezeléskombinációban. Megállapították, hogy a rendszeres N-trágyázás hatására a talaj nitrát-N-tartalma bizonyíthatóan növekedett, míg a vizsgált teljes réteg kicserélhető ammónium-N-tartalma nem függött a N-trágyázástól így szaktanácsadás céljára elsősorban a talaj NO_3^- -N-tartalmát célszerű meghatározni. Szezonális vizsgálatuk alapján megállapították, hogy az adott talajréteg NO_3^- -N-tartalmában jelentős időbeni ingadozások vannak. Az időtényező hatását még a trágyázás-idő ugyancsak szignifikáns kölcsönhatás sem tudta elfedni (NÉMETH, 1996).

2.4.2. Szerves- és műtrágyázási összehasonlító kísérletek

ÁRENDÁS és CSATHÓ (1994) azonos NPK-adagú szerves- és műtrágyázási kísérletek összehasonlító elemzését végezték el a talajtulajdonságok függvényében. Megállapították, hogy - az erősen kötött agyagtalajok kivételével - az évenkénti műtrágyázás minden esetben kedvezőbb volt a termés mennyiségére, mint a periódikus istállótrágyázás. Az 1kg hatóanyagra jutó terméstöbbletek közötti különbség a talajkötöttség növekedésével csökken. A trágyázás hatékonysága függetlenül, hogy szerves- vagy műtrágyázásról van-e szó a legkisebb természetes tápanyagszolgáltató-képességgel rendelkező homoktalajokon volt a legnagyobb.

KISMÁNYOKY és BALÁZS (1995) egy háromismétléses, sávos elrendezésű, hármas vetésforgó tartamkísérletben vizsgálták szerves- és a műtrágya hatását a termésre és a talajtermékenységre. Kukorica, őszi búza és őszi árpa jelzőnövényeknél azonos PK-szinten négy N-műtrágya-adagot alkalmaztak. A vetésforgóban három eltérő szervesanyag visszapótlás szerepelt: csak műtrágyázás, szervestrágyázás három évenként ill. szár- és szalma alászántás plusz zöldtrágyázás őszi árpa után. Legnagyobb termést kukoricánál az évenkénti 210, búzánál 150, árpa esetén pedig 120 kg/ha-os N-trágyázásnál kaptak. A szerves trágyázás hatása (35 t/ha) abban jelentkezett, hogy azonos termésszinthez 30-35%-kal kevesebb N-műtrágya kellett míg szár- és szalma

alászántás ill. zöldtrágyázást követően mintegy 30%-al több N-műtrágya biztosította a megfelelő termésszintet.

BERZSENYI és GYÖRFFY (1994a, 1994b) szerves- és műtrágya-hatóanyagok összehasonlító elemzését végezték el a hatóanyag azonosság elvén kialakított martonvásári tartamkísérletek értékelésével. Vizsgálataikat kukorica mono- ill. búza-kukorica dikultúrában végezték. Megállapították, hogy a kezelések közötti különbség csak a 14. évtől kezdődően válik szignifikánssá, továbbá a műtrágya formában kijuttatott hatóanyag mind a mono- mind a dikultúrában nagyobb termésszinteket eredményez. Hasonló eredményt kapott SARKADI (1994), aki megállapította, hogy a régóta (40 év) nem istállótrágyázott csernozjom jellegű talajon csak műtrágyák alkalmazásával is fenntartható a talaj termékenysége. Háromméteres mélyfúrások eredményeiből megállapította, hogy míg a kontroll, az istállótrágyázott és az egyszeres NPK adagú kezelésekben negatív a táblák N-mérlege, addig a kombinált (istálló- és műtrágyázás ill. műtrágyázás és szármaradvány alászántás) és a kétszeres NPK adagú kezelésekben $\text{NO}_3\text{-N}$ felhalmozódás történt az 50-120 cm-es rétegben.

Szinte analóg eredményekre jutott HOLLÓ (1993), aki Kompolton, mély termőrétegű csernozjom barna erdőtalajon beállított négytényezős trágyázási tartamkísérlet egyik forgójának (B₂) $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalmát elemezte. A háromméteres mélyfúrások adataiból megállapította, hogy csak a növények szükségletét meghaladó nitrogén mutatható ki $\text{NO}_3\text{-N}$ formájában a talajban. Nitrát felhalmozódás csak a kombinált (istálló- és kétszeres adagú műtrágyázás) és a három ill. négyszeres adagú NPK-trágyázás esetén történt, melynek maximuma 150-200 cm között található. A $\text{NO}_3\text{-N}$ szennyezés tehát reális veszélyt jelenthet a felszín alatti vízkészleteinkre ésszerűtlen trágyázás esetén.

Németh és munkatársai 1993-ban a keszthelyi szerves- és műtrágyázási tartamkísérletben vizsgálták a háromméteres talajszelvény $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalmát. Megállapították, hogy a lemosódás miatt, a vizsgált - könnyű mechanikai összetételű - talajszelvényben a növények igényét meghaladó kezelések esetén található nitrát-N felhalmozódás (NÉMETH, 1996).

Homokjavító vetésforgó hatásait vizsgálta a Nyírségben LAZÁNYI (1994, 2003), aki többek között a talaj N-tartalmát és a vetésforgó termésre gyakorolt hatását elemezte. Megállapította, hogy a legalacsonyabb $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalmat az F1, F7 és F15-ös jelzésű (homokjavítás parlagoltatással, homokjavítás szalmatrágyázással műtrágyázás nélkül ill. homokjavítás másodvetésű csillagfürt zöldtrágyázással) vetésforgókban mértek, míg legmagasabbat az istállótrágyázott vetésforgókban. A növények által kivont

N-mennyisége széles tartományban 54-236 kg/ha/3év között változott. A kapott értékek jól korreláltak a parcellák NO_3^- -N tartalmával. Legkisebb a parlagoltatott (F1) ill. legnagyobb mérvű abban a vetésforgóban volt, amely zöld- és műtrágyát is kapott (F8). Megállapította, hogy a felvett N mennyisége növekvő tendenciát mutatott az F4, F5, F6 ill. F8 vetésforgókban, míg csökkent az F7 ill. F15 jelzésű kontroll kezelésekben. A N-felvétel 71 éves átlagát figyelembe véve megállapította, hogy ez nagymértékben függ a termesztett növények átlagtermésétől, a kapott kezeléstől ill. a főveteménytől. Elemzése során kiderült, hogy a csillagfűt gyökér- és zöldtrágyakezelésekben a csillagfűt átlagosan 40-80 kg/ha utónövény által hasznosítható nitrogént képes a talajba visszajuttatni, ezáltal csökkentve a nitrogénhiány értékét. Így a kultúrnövény számára legkevesebb nitrogént a nyers szalmatrágyázásnál a legtöbbet a csillagfűt zöldtrágyázott vetésforgónál lehetett biztosítani.

2.5. Tartamkísérletek szerepe a homokterületeken folyó mezőgazdálkodásban

Hazánkban a még a XX. század elején is a hagyományos háromnyomásos gazdálkodás (ugar - búza - búza ill. ugar - búza - tavaszi árpa) valósult meg a gazdálkodásba vont területek többségén. Különösen érvényes volt ez a gazdálkodási forma hazánk homokterületeire, ahol az ugar - rozs - rozs monokultúrát a jobb minőségű területeken előbb az ugar - rozs - burgonyaforgó, majd a műtrágyák megjelenésével az ugar nélküli műtrágyázott rozs - kapásnövényforgó váltott fel (KÁDÁR et al., 1999).

A tápanyagtökében szegény, és gazdaságilag is elmaradottabb nyírségi régióban azonban a háromnyomásos rozs monokultúra még az 1920-as években is dívott. Ezen a helyzeten próbált változtatni Westsik Vilmos, aki szakszerű tanácsadással ill. vetésforgó-kísérletekben igazoltan bebizonyította, hogy a rozs átlagos termése igenis megduplázható ill. 2t/ha fölé emelhető. Westsik Vilmos az egyéb trágyaszerek, az istállótrágya, a szalma, takarmánynövények, a műtrágyák talajra és termésre gyakorolt hatását is bemutatta.

A kísérlet sikerét bizonyította, hogy évente több száz gazda kereste fel, hogy megismerkedjen a homoki gazdálkodás új módszereivel (LAZÁNYI, 1994).

A homoki gazdálkodás fontossága az elmúlt évtizedekben mit sem csökkent. Bizonyítja ezt az a tény, hogy még napjainkban is a mezőgazdasági művelésbe vont területek mintegy 20%-át homokterületek adják hazánkban. Ezek a területek korábban a

csekélyebb tápanyag-szolgáltató képességük miatt általában fokozott trágyázásban részesültek, ami a területek nagymértékű elsavanyosodásához, termőképességük csökkenéséhez vezetett. Így ezeknek a területeknek a védelme, termékenységük megóvása, javítása kiemelt fontosságú.

Hazánkban számos területen folytak és folynak mind a mai napig tartamkísérletek. Ezek a hosszú távú, alapos növény- és talajanalitikai vizsgálatokkal alátámasztott kutatások kiváltképp alkalmasak a legmegfelelőbb környezetkímélő gazdálkodási körülmények kialakítására ezeken a területeken.

A Duna-Tisza közti, a Kecskemét környéki, a somogyi tartamkísérletek eredményei mind rámutatnak, hogy a homoktalajok tápanyag- és vízgazdálkodása zöld- és istállótrágyázással kiegészített műtrágyázással javítható. A különböző kultúrák műtrágyaszükséglete racionalizálható, esetenként csökkenthető, ezáltal a környezet indokolatlan szennyezése elkerülhető (KÁDÁR és SZEMES, 1994; LAZÁNYI, 1994, 2003; BALÁZS et al., 1998; CSERNI és BAUER, 1998; KÁDÁR et al., 1999; NÉMETH, 1996, 1998a).

Hazánk a somogyi és Duna-Tisza közti homokterületek mellett legnagyobb kiterjedésű homokterülete a Nyírségben található. A Nyírségben két igen jelentős tartamkísérlet folyik a homoki gazdálkodás feltételeinek tudományos javítása érdekében: A nyírlugosi műtrágyázási-meszezési ill. a Westsik-féle homoki vetésforgó tartamkísérlet.

2.6. A Nyírség geológiai, éghajlati, vízrajzi viszonyai

A Nyírség tájegység Hajdú-Bihar és Szabolcs-Szatmár-Bereg megyék területén fekszik és 402300 ha területet ölel fel. A térség geológiai kialakulása az Ős-Tisza és mellékfolyóinak hordalékkúpján történt az utolsó jégkorszak idején a pleisztocén korban. A hordalékkúp a pleisztocén végéig épült majd tektonikus mozgások következtében a Nyírség területe enyhén megemelkedett és a folyók ezt követően észak felé fordulva a Bodroggal egyesülve a Tokaj-Rakamaz kapun léptek ki. A folyóvíz felszínalakító munkáját ezután a szél vette át (KÁDÁR és SZEMES, 1994). A hordalékkúp anyagában kvarckavicsot, vulkáni kőzetekből származó kavicsot, folyóvízi homokot és iszapos-anyagos rétegeket lehet megkülönböztetni. A jelenlévő lösz a homokra telepedett vagy beépült. Keveredésük révén néhol a típusos lösz homokos lösz vagy löszös homok váltja fel (KÁDÁR és SZEMES, 1994). A térség talajképző kőzete uralkodóan a homok, néhol láposabb területeken iszapos ill. kissé agyagos homok. Ahol több löszanyag keveredett a homok közé a talaj csernozjom jellegű ahol viszont az erdő talajalakító hatása erősebb volt barna erdőtalajok alakultak ki néhol vasas-anyagos kovárvány csíkokkal, amelyek kedvezően befolyásolják a rétegek víz- és tápanyaggazdálkodását. A Nyírség homoktalajait a mészhiány ill. a kedvezőtlen vízgazdálkodás egyaránt jellemzi. A terület domborzati viszonyait a szél, a növénytakaró és a felszíni ill. felszín alatti vízmozgások alakították és alakítják ma is (STEFANOVITS, 1966). A tájnak a pleisztocén végétől természetes folyója ill. vízfolyása nincs. Vízrajzára jellemző, hogy a talajvíz a futóhomokban vagy az alatta elhelyezkedő folyóvízi rétegben helyezkedik el (kivéve a löszös, iszapos régeknél) és követi a felszíni domborulatokat. Mélysége ritkán haladja meg a 2-3 m-t, szintingadozása csekély (KÁDÁR és SZEMES, 1994).

A térség természetes flórájára a tölgyesek kialakulása a jellemző. Az 1800-as évektől kezdődően az egyre erőteljesebb erdőirtás következtében a terület erdősültsége a nyolcvanas évek közepére 12%-ra csökkent. Az utóbbi években gazdagodott az erdőállomány (homokvédő erdősávok) és a déli részeken a 25%-ot is eléri az erdős területek részaránya. Állományuk felét a homok megkötésre alkalmas akác képviseli. Napjainkban a Nyírség területének nagyobb része mezőgazdasági művelés alatt áll, jellemző növényei az alma, burgonya, rozs és dohány (KÁDÁR és SZEMES (1994)).

A táj éghajlatát az erős É-ÉK irányú széljárás; a mérsékelt (a közeli Kárpátok hatása), viszont sokszor száraz, aszályos nyári meleg és a zord, csapadékszegény hideg

tél jellemzi. A napsütéses órák száma általában nem haladja meg a 2000 órát évente. Az évi átlaghőmérséklet 8,5-11,5°C. Mint ismeretes a homoktalajok felszíne könnyen felmelegszik, augusztusban nem ritka az 55-60°C-os felszíni hőmérséklet sem.

Az uralkodó szélirány DNy-i és ÉK-i irányú, amely a csapadékhiányos kora tavaszi időszakban szárító hatású és gyakran okoz homokverést ill. talajelhordást.

A szélerozió mértéke az év elején, a téli hónapokban a legnagyobb. A száraz szélviharok a növénytakaró nélküli fagyott homokot akár 20-25 cm mélységig is elhordják.

A térség csapadékeloszlása változatos, néhány kisebb terület kivételével meghaladja az évi 550 mm-t. Átlagosan azonban nem több mint 650 mm/év. A csapadékjárásra jellemző a júniusi maximum (30-200 mm), a januári minimum (4-60 mm). Az őszi másodmaximum gyengén fejlett valamint gyakori a tavasz elejei szárazság (KÁDÁR és SZEMES, 1994; LAZÁNYI, 1994).

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

Tanszékünket régi és szoros együttműködés fűzi mind az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézetéhez, mind a nyíregyházi Kutató Központoz.

A kialakult jó munkakapcsolat lehetővé tette számunkra, hogy a nyírlugosi műtrágyázási és meszezési tartamkísérlet összes parcellájának talajából 1998. és 2001. augusztusának elején, a triticales betakarítása után, mintát vegyünk.

Hasonló szinte napi kutatási kapcsolatban áll tanszékünk a nyíregyházi Kutató Központtal is, mely révén lehetőségünk nyílt talajmintavételre a Westsik-féle homokjavító vetésforgó tartamkísérlet összes kezeléséből 2000, 2001 és 2002-ben.

Vizsgálódásaink főképp a talaj könnyen oldható nitrogén-formáinak meghatározására terjedtek ki. Talaj kivonószerként 0,01 M CaCl₂-ot használtunk. Az extrakciót követően ebből a kivonatból határoztuk meg a NH₄⁺-N, NO₃⁻-N, és összes-N mennyiségét.

A könnyen oldható és oxidálható szerves-N mennyiségét ezen frakciók különbségéből számítottuk.

A kísérletek kezeléseit által szolgáltatott terméseredményeket a Kutató Intézet ill. a Kutató Központ kísérletekért felelős vezetői (Dr. Márton László ill. Dr. Lazányi János) bocsátották rendelkezésünkre.

3.1. A nyírlugosi tartamkísérlet

3.1.1. Általános leírás és jellemzés

Az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézetének „Nyírlugos” kísérlete a Nyírség legmagasabb homokszigetén, a Nyíradony - Nyírmihálydi - Nyírlugos - Nyírbogát között É-D irányban húzódó vízválasztón terül el (1. ábra). A kísérleti telep a Nyírmihálydi - Nyírlugos közötti bekötőút mentén a 3. sz. kilométerkőnél, közvetlenül az országút mellett található. Területe 10 ha, védettsége miatt (három oldali akácös övezet) homokverés ritkán fordul elő. Felszíne enyhén dombos, a relatív szintkülönbségek azonban nem haladják meg a 3-5m-t (KÁDÁR és SZEMES, 1994)). A tartamkísérletet 1962 őszén Láng István állította be savanyú, homokos texturájú kovárványos barna erdőtalajon.

A kísérlet beállításakor ill. az azóta eltelt évtizedekben időközönként, sokszor a jelzőnövény váltásakor részletesebb alap- és módszertani talajvizsgálatok történtek.

Ezek eredményei részletesen az 1994-ben Kádár Imre és Szemes Imre összeállításában megjelent: A nyírlugosi tartamkísérlet 30 éve. című könyvben találhatóak.

Jelen dolgozatban csak néhány, saját méréseinkhez kapcsolódó korábbi eredményt ismertettek.



1. ábra: A nyírlugosi tartamkísérlet látképe

STEFANOVITS (1966) szerint a kovárványos rétegben a Ca-ion a kicserélhető kationok 60-80, míg a Mg-ion 20-30%-át képezheti. A K- és Na-ionok részaránya mindössze néhány százalék. A talajok adszorpciós kapacitása (T-érték) jellemzően alacsony, 4-10 mgeé/100g.

A kovárványos szintekben értéke 15-21 mgeé/100g-ig emelkedhet, köszönhetően a nagyobb agyagfrakciónak.

Láng 1973-as vizsgálata alapján a humusztartalom átlagosan 0,58-nak, a KCl-os pH 4,6-nak míg a hidrolitos savanyúság 8,1-nek adódott. Az adatok szerint a kísérlet talaja savanyú, humuszban szegény, durva homok, mely felvehető foszforral és káliummal gyengén-közepesen ellátott (KÁDÁR és SZEMES, 1994).

LATKOVICSNÉ (1994) az 1977-es burgonya betakarítás után 1 m mélységig vett talajmintákat, melyekből 20 cm-enként meghatározta az ásványi NO_3^- -N és NH_4^+ -N mennyiségeket.

Vizsgálatai adataiból megállapítható, hogy a talaj NH_4^+ -N tartalma a mélységgel a 80cm-es rétegig egyértelműen csökken, majd kismértékű emelkedést mutat. A NO_3^- -N tartalom a mélységgel nem mutat ilyen egyértelmű tendenciát. Mennyisége azonban a kontrollhoz képest szignifikánsan nő kiváltképp a feltalajban ill. egyoldalú N-kezelések esetén. A kezelések hatása az ásványi N összes mennyiségére (NO_3^- -N + NH_4^+ -N) a feltalajban jól nyomon követhető, összegük mintegy megduplázódott a szántott rétegben. A vizsgálatok megállapították, hogy a kezelt talajok N-mérlege pozitívvá vált, azonban a műtrágyával bevitt és a növények által nem hasznosított nitrogén gyakorlatilag nem mutatható ki az 1m-es rétegben ammónia vagy nitrát formájában. Latkovicsné adatai alapján az ásványi N-forma az összes N-nek mindössze néhány %-a. A műtrágyázott kezelések átlagosan 300kg/ha-ral (mintegy 9%) növelték a talaj N-készletét. A kísérleti terület N-mérlegének számításaiból arra lehet következtetni, hogy a kijuttatott műtrágya-N kezelésektől függően csak mintegy 20-36%-ban hasznosul.

A kapott adatok alapján megállapítható volt, hogy ezen a talajon a N mozgása gyors és az 1m-es felső rétegből a N-többletek akár egy éven belül is távozhatnak és 2-3 év alatt a talajvízbe juthatnak.

LATKOVICSNÉ (1994) laboratóriumban végzett hosszú távú (112 nap) érleléses vizsgálatokkal bizonyította, hogy a nyírlugosi talajban végbemenő ásványosodás eredményeként elsősorban a NO_3^- -N mennyisége nő meg. Megállapította, hogy a ^{15}N -el jelzett szerves anyag bomlása során szintén a NO_3^- -N mennyisége nő kiváltképp a hetedik héttől (48. nap) kezdődően. Az NH_4NO_3 formában adott N-ből az NH_4^+ -N nem nitrifikálódott, ami arra enged következtetni, hogy az NH_4NO_3 trágyaforma ezen a savanyú homokon nitrifikációt gátló hatású lehet.

Szabadföldi viszonyok között ez a gátlás csak helyileg és átmenetileg jelentkezhet, amennyiben a kisebb adagok alkalmazása során a talaj nem képes pufferolni a lokálisan fellépő savanyodást (KÁDÁR és SZEMES, 1994).

1979. májusának végén Várallyay részletes talajtani vizsgálatokat végzett a kísérlet területén. Adataiból megállapítható, hogy a nyírségi homoktalaj termékenysége, szárazsággal, elsavanyodással szembeni ellenálló képessége döntően a talajkolloidok mennyiségétől függ. Ahol kolloidokban gazdagabb a szelvény ott kedvezőbb a vízgazdálkodás, a kilúgzás kisebb mértékű, a kationcserélődési kapacitás nagyobb, a

talaj humuszosabb és a bázisellátottság maximális (KÁDÁR et al., 1998, 1999).

A kísérlet 20. éve után újabb részletes talajvizsgálatokra került sor. A kapott adatok rámutattak a műtrágyázás pH-csökkentő ill. a meszezés pH-t növelő hatására.

A talaj humusztartalma számottevően nem változott a kezelések eredményeképpen.

A KCl-oldható NO_3^- -N tartalom a kezelt parcellák talajai esetén mintegy kétszerese a kontrollénak, azonban az eltérő kezelések között érdemi különbség nem mutatkozott. A talaj eredeti N, P, K, Ca és Mg szegénysége műtrágyázással javítható és a talaj elsavanyodása kis adagú, folyamatos mésztrágyázással meggátolható (KÁDÁR és SZEMES, 1994).

VÁRALLYAY (1994) újabb vizsgálatai szerint a talaj bázisellátottsága a műtrágyázott, szántott rétegben a kezdeti 50-80%-ról a 80-as évek végére 30-50%-ra csökkent. Az alsóbb rétegekben értéke nem változott, 60-90% körül maradt. A talaj eredeti pH-ja ($\text{pH}_{\text{KCl}}=5,0$) a kontroll területen 4,0-ra, a meszezetlen N-trágyázott területeken 3,5-3,6-ra csökkent. A meszezett parcellákon viszont, köszönhetően a kezeléseknél 5,2-5,8-ra emelkedett (KÁDÁR et al., 1999).

3.1.2. Kezelések és jelzőnövények a nyírlugosi tartamkísérletben

A kísérlet első három évtizedében számos jelzőnövényvel végeztek vizsgálatokat. Az első tíz évben burgonya-rozs, majd nyolc éven át burgonya-búza vetésváltás következett. A 18. év után csillagfürt, napraforgó, gyep, sörárpa és dohány növénnyel kísérleteztek. A kísérlet 1991. óta triticales monokultúrává alakult. Az alkalmazott műtrágyák adagjai 1963-80 között változtak és növényenként is eltértek majd a 18. év után – növényfajtól függetlenül – egységessé váltak. A műtrágya adagokat az 1. táblázat tartalmazza. Az egyes tápanyagokat 28%-os pétisó, 18%-os szuperfoszfát, 60%-os kálisó, 95%-os mészkő és 18%-os dolomitpor formájában adják a talajhoz.

1. táblázat: Műtrágyázási és meszezési szintek a kísérletben 1980. óta

Szintek	Kezelések (kg/ha/év)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaCO ₃	MgCO ₃
Kontroll	-	-	-	-	-
1	50	60	60	250	140
2	100	120	120	500	280
3	150	180	180	1000	-

A kísérletben a kezelések száma 32, az ismétléseké 4, így az összes parcellaszám 128. Az egyes parcellák mérete: $5 \times 10 \text{m} = 50 \text{m}^2$. A parcellánkénti kezeléseket véletlen blokk elrendezésben állították be. A teljes kezelésterv az 1. mellékletben található. Az említett kezeléskombinációk mindegyike esetén elvégeztük a talajanalitikai vizsgálatokat, de az érleléses kísérletekhez, a nagy mintaszám elkerülése miatt csak összesen tíz, általunk kiválasztott ún. középkezelés kombinációkat ill. ezek hatását vizsgáltuk. A kiválasztott kezeléskombinációk a 2. táblázatban láthatóak.

2. táblázat: A kísérletből kiválasztott kezelések és kombinációik

Kezelések száma	Kezelés kombináció	Kezelések száma	Kezelés kombináció
17-28	Kontroll átlag	25	N_2K_2
23	N_1	6	$\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_2$
18	N_2	22	$\text{N}_2\text{P}_2 \text{K}_2\text{Ca}_2$
1	N_3	16	$\text{N}_2\text{P}_2 \text{K}_2 \text{Mg}_2$
9	N_2P_2	32	$\text{N}_2\text{P}_2 \text{K}_2 \text{Ca}_2 \text{Mg}_2$

A P-, K-, Ca- és Mg-adagokat összel, vetés előtt míg a N-t megosztva, fele-fele arányban összel a többivel együtt illetve tavasszal, fejtrágyaként juttatják ki. 1997 őszén előretrágyázást alkalmaztak a P-, K-, Ca- és Mg-trágyák négyévi mennyiségeit egyszerre adták ki (KÁDÁR et al., 1999).

3.2. A Westsik-féle homokjavító vetésforgó tartamkísérlet

3.2.1. Általános leírás és jellemzés

A Nyíregyháza határában lévő homokjavító vetésforgó tartamkísérletet 1929-ben Westsik Vilmos állította be alacsony humusztartalmú, kis tápanyagtőkéjű, laza szerkezetű homoktalajon (2. ábra). A területet Nyíregyháza város Önkormányzata bocsátotta a Mezőgazdasági Kamara rendelkezésére. A Kísérleti Gazdaság 47 ha-os területe jól reprezentálja a Nyírség talajtípusait.

A Kísérleti Gazdaság talaja kevés kalciumot tartalmazó homokból és az ezzel különböző mennyiségben keveredő karbonátos löszből képződött. A területen a talajképződés fázisában összefüggő erdőség terült el, így a talaj gyengén humuszos. A homok szilikátásványok mállásterméke, így az elsődleges ásványok közül a kvarc az uralkodó. A területtől 30-50 m távolságban húzódik az Érpatak, amely a buckaközi mélyedésekben kialakult belvizes területek vizéből táplálkozik.

A vetésforgó-kísérlet talajvizsgálatát először Frank végezte el 1942-ben. Az eltelt több mint ötven évben többször vizsgálták a legfontosabb talajtulajdonságok változását (1968-1990 között Márton, 1991-től Lazányi).



2. ábra: A Westsik kísérlet madártávlati képe (forrás: LAZÁNYI, 2003)

Az 1954-es felvételezések alapján a talaj mechanikai összetételében a homokfrakció a döntő 85-95%-kal, és azon belül is a finomhomok-frakció (0,25-0,05 mm) az uralkodó (33-74%). A por és iszap mennyisége 3-9%, míg az agyagfrakció 3,6-6%-ot ér el a talajszelvényben. A leiszapolható részek aránya mintegy 4-6%.

A területre jellemző az alacsony kolloidtartalom, az erős kilúgzás és a kedvezőtlen mechanikai összetétel, melyek miatt a talaj elsavanyodott ($\text{pH}_{(\text{KCl})}=5,4-6,8$), makro és mikro tápanyagtartalma alacsony. A kilúgzási szint 60-100 cm vastag. Hidrolitos savanyúsága 1,5-6,1. A felhalmozódási szintben erősen tömött egymástól 30-45 cm-re elhelyezkedő kovárvány csíkok találhatóak, melyek vastagsága 2-3 cm.

Az 1991-92-es talajvizsgálati adatok alapján a feltalaj (0-20 cm) humusztartalma változó (0,3-1,36%) és nem különbözik lényegesen az alatta lévő 20-40 cm-es rétegtől. A humusztartalom tehát viszonylag egyenletesen oszlik el a 0-40 cm-es rétegben (LAZÁNYI, 1994).

A vetésforgó talajának $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalmát a kísérlet különböző évtizedeiben többször is meghatározták. Az 1991-92-es mérések megerősítik a korábbi eredményeket, erős

kezeléshatást mutatnak a parcellák talajainak NO₃-N-tartalmára. A kapott adatok, kezeléstől függően 3,51 mg/100g (F-1) és 15,38 mg/100g (F-11) között változtak.

A növények által felvett nitrogén mennyisége szintén szignifikáns kezeléshatást mutat. Mennyisége korrelál a talaj NO₃-N-tartalmával (LAZÁNYI, 1994, 2003).

A növény által kivont, valamint a szerves és műtrágya formájában visszajuttatott nitrogén mennyiségének különbségéből folyamatosan számították a N-tápanyagmérlegét hároméves ciklusokban. Az adatok szerint a terület N-tápanyagmérlege kezdettől fogva negatív - köszönhetően a kis műtrágyaadagoknak -, ami az elmúlt évtizedekben tovább fokozódott. Természetesen a különböző elővetemények, trágyázási módok és talajhasználat alapvetően befolyásolják a tápelemfelvétel nagyságát.

A kísérlet talajának - a kémiai vizsgálati eredmények alapján - N-ellátottsága gyengének, P-ellátottsága közepesnek, K-ellátottsága megfelelőnek tekinthető.

A nitrogén mellett a káliumra is érvényes a negatív tápanyagmérleg, amely az évtizedes gazdálkodás révén halmozottan jelentkezik. Ezzel szemben a foszfor esetén csak némely kezelésben tapasztalható negatív tápanyagmérleg köszönhetően a kis mobilitásnak és a csökkent mértékű kimosódás veszélynek (LAZÁNYI, 1994).

3.2.2. Kezelések és jelzőnövények a Westsik tartamkísérletben

A vetésforgó kísérletet kezdetben 12 vetésforgóval állították be, melyek száma rövidesen 15-re növekedett. Egy vetésforgó területe 1,5-2 kh (WESTSIK, 1965).

A kísérlet beállításának időszakában a gazdák vetésforgó-rendszerben gazdálkodtak és ennek megfelelően a kísérleteket is célszerű volt így beállítani. A vetésforgók három szakaszra oszlanak, kivételt csak az F-8-as jelzésű jelent, amely négyszakaszos.

A második világháborút megelőző időszakban Magyarországon a statisztikai módszerek alkalmazása a mezőgazdasági tudományos kutató munkákban még nem terjedtek el, így a kezeléseket ismétlés nélkül állították be, oly módon, hogy a vetésforgókban minden növény minden évben elvetésre került (LAZÁNYI, 1994, 1997). A kezeléseket Westsik Vilmos komplex vetésforgó-rendszerű kísérletbe állította be, hogy a tartamkísérleteknél igen gyakori monokultúra káros elővetemény-hatását elkerülje.

A parlagoltatás (F-1) tekinthető abszolút kontroll kezelésnek, ugyanis sem szerves-, sem műtrágyázásban nem részesül. Az F-1 kezelésben a parlagszakaszon túl csak a két tesztnövény, a burgonya és a rozs termesztése folyik.

A vetésforgó többi kezelése a szervesanyag-utánpótlás és műtrágyázás módja szerint csoportosítható (LAZÁNYI, 2003):

F-1 vetésforgó: Homokjavítás, parlagoltatás

S-1: Parlag, ahol a gyomnövényeket virágzás előtt alászántják

S-2: Rozs műtrágyázás nélkül

S-3: Burgonya műtrágyázás nélkül

F-2 vetésforgó: Homokjavítás fővetésű csillagfürt zöldtrágyával

S-1: Fővetésű csillagfürt zöldtrágya P, K műtrágyázással

S-2: Rozs P, K műtrágyázással

S-3: Burgonya N műtrágyázással

F-3 vetésforgó: Homokjavítás csillagfürt gyökertrágyázással

S-1: Fővetésű csillagfürt magnak P, K műtrágyázással

S-2: Rozs P, K műtrágyázással

S-3: Burgonya N műtrágyázással

F-4 vetésforgó: Rozsszalmával végzett homokjavítás

S-1: Rozs magnak, előtte szalmatrágya és N, P, K műtrágya

S-2: Burgonya N, P, K műtrágyázással

S-3: Rozs műtrágyázás nélkül

F-5 vetésforgó: Homokjavítás erjesztett szalmatrágyával

S-1: Rozs magnak, előtte mészammonsalétrommal erjesztett szalmatrágya és N, P, K műtrágya

S-2: Burgonya N, P, K műtrágyázással

S-3: Rozs műtrágyázás nélkül

F-6 vetésforgó: Homokjavítás vízzel erjesztett szalmatrágyával

S-1: Rozs, előtte vízzel erjesztett szalmatrágya és N, P, K műtrágya

S-2: Burgonya N, P, K műtrágyázással

S-3: Rozs műtrágyázás nélkül

F-7 vetésforgó: Homokjavítás szalmatrágyázással, műtrágyázás nélkül

S-1: Rozs, előtte vízzel erjesztett szalmatrágya műtrágyázás nélkül

S-2: Burgonya műtrágyázás nélkül

S-3: Rozs műtrágyázás nélkül

F-8 vetésforgó: Homokjavítás csillagfürt gyökér- és zöldtrágyázással

S-1: Csillagfürt magnak P, K műtrágyázással

S-2: Rozs magnak, N, P, K műtrágyázással, utána másodvetésű csillagfürt műtrágyázás nélkül, tavaszi leszántással

S-3: Burgonya P, K műtrágyázással

S-4: Rozs magnak N műtrágyázással

F-9 vetésforgó: Homokjavítás szálastakarmány-terméssel

S-1: Édes csillagfürt szálastakarmánynak P, K műtrágyázással

S-2: Rozs magnak, N, P, K műtrágyázással

S-3: Burgonya N műtrágyázással

F-10 vetésforgó: Homokjavítás kettős takarmányterméssel

S-1: Rozs zöldtakarmánynak, istállótrágyázással

S-2: Rozs magnak, műtrágyázás nélkül

S-3: Burgonya műtrágyázás nélkül

F-11 vetésforgó: Homokjavítás istállótrágyázással és műtrágyázással

S-1: Zabosbükköny istállótrágyázással és P, K műtrágyázással

S-2: Rozs magnak, P, K műtrágyázással

S-3: Burgonya N műtrágyázással

F-12 vetésforgó: Homokjavítás őszi takarmánykeverék-terméssel és zöldtrágyázással

S-1: Rozsos bükköny P, K műtrágyázással, utána csillagfürt zöldtrágya

S-2: Rozs magnak, P, K műtrágyázással

S-3: Burgonya N műtrágyázással

F-13 vetésforgó: Homokjavítás másodvetésű zöldtrágyázással, tavaszi leszántás

S-1: Rozs magnak, N, P, K műtrágyázással, utána csillagfürt zöldtrágya, tavaszi leszántás

S-2: Burgonya P, K műtrágyázással

S-3: Rozs magnak, N, P, K műtrágyázással

F-14 vetésforgó: Homokjavítás másodvetésű zöldtrágyázással, őszi leszántás

S-1: Rozs magnak, N, P, K műtrágyázással, utána csillagfürt zöldtrágya, őszi leszántás

S-2: Burgonya P, K műtrágyázással

S-3: Rozs magnak, N, P, K műtrágyázással

F-15 vetésforgó: Homokjavítás másodvetésű zöldtrágyázással, kontroll

S-1: Rozs magnak, műtrágyázás nélkül, utána csillagfürt zöldtrágya, tavaszi leszántás

S-2: Burgonya műtrágyázás nélkül

S-3: Rozs magnak, műtrágyázás nélkül

(Megjegyzés: Az S-1...4 az egyes vetésforgó szakaszokat jelölik.)

Az első nagy csoportot a zöld- és gyökertrágyás kezelések adják (F-2 és F-3). Ezekben a kezelésekben a szervesanyag-utánpótlás fővetésű pillangósvirágú csillagfürt termesztésével történik. Ebbe a csoportba sorolható az egyetlen négy szakaszos F-8 jelzésű vetésforgó is, bár ebben a kezelésben a fővetésű csillagfürt gyökertrágyázás mellett másodvetésű csillagfürt zöldtrágyázás is történik tavaszi leszántással.

A második csoportba a szalmatrágyás kezelések tartoznak (F-4, F-5, F-6 és F-7). Ezekben a vetésforgókban a szervesanyag-utánpótlás alapanyaga a rozsszalma.

A kezelések közötti különbség a szalmatrágya kijuttatásában, kezelésében, erjesztésében van. A csoporton belüli kontrollként az F-7 jelzésű vetésforgó fogható fel, amely a vízzel erjesztett szalmatrágyán kívül más tápanyagot nem kap.

A harmadik csoport kezelése zöldtakarmány termesztésen alapulnak (F-9, F-10, F-11 és F-12). A vetésforgók közötti különbségek a mű- és istállótrágyázás ill. zöldtrágyázás alkalmazásában mutatkoznak.

A negyedik csoport vetésforgóit a másodvetésű csillagfürt zöldtrágya hatásának tanulmányozására állították be (F-13, F-14 és F-15). Különbség közöttük a zöldtrágya leszántásának idejében és a műtrágyázásban van (LAZÁNYI, 2003).

A kísérlet 74 éve alatt változást a szerves trágyázás módja és a kijuttatott adag mennyisége nem, csak az összetétele mutatott. A kísérletben kiadott műtrágya mennyisége jelentős mértékben nőtt az elmúlt évtizedek alatt (2. melléklet).

A változtatások szabályos időközönként, 21 évenként történtek. A kísérletekben az évszázados hagyományokat és a század elején bevezetett új vetésforgó rendszert is figyelembe vették: a parlagszakaszt követően rozsot és burgonyát termeltek. Az elmúlt több mint hetven év alatt mind a termesztett rozs mind a burgonya fajták sokat változtak az egyre újabb genetikai és növényvédelmi irányvonalaknak megfelelően.

3.3. Mintavételek a tartamkísérletek talajaiból

A tanszékünkön elvégzett talajanalitikai vizsgálatokhoz szükséges talajminták vételezésekor szem előtt tartottuk a vizsgálandó terület domborzati, vízrajzi viszonyait, korábbi talajanalitikai vizsgálati eredményeit, a talajművelés módját és időpontjait, a trágyázás időpontjait és a termesztett növény tenyészidőszakát valamint a szakirodalmi ajánlásokat (JACKSON, 1958; KÁDÁR, 1986; SARKADI et. al., 1986).

3.3.1. Nyírlugos

Talajmintáinkat 1998. ill. 2001. augusztus elején a triticales betakarítása után vettük.

A parcellák területén öt pontmintát vettünk, egyet középről másik négyet a szélekről úgy, hogy a parcellák szélétől 1-1 m-t körben elhagytunk. Minden mintát három rétegből (0-20, 20-40, 40-60 cm) vettünk és a pontminták átlagaiból képeztük a parcellánkénti egy-egy három rétegű átlagmintát. A mintákat erre a célra készített talajfúróval vettük, amely hasznos térfogata 150 cm³.

3.3.2. Westsik-kísérlet, Nyíregyháza

A Westsik-féle kísérletből három évben (2000, 2001, 2002) történt mintavétel. A mintavételt a nyíregyházi Kutató Központ munkatársai végezték Dr. Lazányi János vezetésével.

Az ismétlés nélkül beállított kísérlet talajvizsgálati eredményeinek jobb értékelhetősége, valamint a terepszint különbségekből adódó eltérések kiküszöbölésére a vetésforgók azonos szakaszaiból (2700 m²) arányos osztással 9-9 hely középpontjainak környékéről 12 pontmintát vettek. A pontmintákat átlagolták és kapták az egy szakaszra eső 9 mintát. Minden mintát talajfúró segítségével három rétegből (0-20, 20-40, 40-60 cm) vettek. Mindhárom évben a minták azonos szakaszokból de a vetésforgó rendszeréből adódóan eltérő parcellából származtak. A mintavételezésre a burgonyavirágzás kezdetén került sor.

Ezen mintákból a talajérleléses vizsgálatokhoz három mélység és a kilenc helyi minta összekeverésével (3x9) állítottuk elő a kísérleteinkhez használt átlagmintát, melyek száma így vetésforgónként 1-1 volt.

3.4. 0,01 M-os CaCl₂ talaj extraktumok készítése a talajminták pH-jának és könnyen oldható N-frakcióinak meghatározásához

A szántóföldi talajmintákat szellős helyen, szabadban, léghőmérsékleten, 1-1,5 cm rétegben kiterítve szárítottuk. A légszáraz, előzetesen 1 mm-es szitán átszitált, homogenizált, és exikkátorban tárolt talajmintát 1/10 (m/v) arányban 0,01 M-os CaCl₂ kivonószerrel 2 óra hosszáig szobahőmérsékleten ráztattuk (HOUBA et al., 1986).

A rázatáshoz a talajból analitikai mérlegen 5,0000 g-ot mértünk be, amelyhez 50,00 cm³ kivonószerrel adtunk. Ezután 10 percen keresztül kb. 2800-3000 fordulat/perc fordulatszámra centrifugáltuk, majd SKALAR típusú, fotometriás detektálással ellátott folyamatosan áramló ún. segmented continuous flow (SCF) rendszer segítségével mértük a N-frakciókat illetve a talaj szuszpenzióban meghatároztuk a pH értékét.

3.5. Alkalmazott analitikai módszerek

Vizsgálataink során meghatároztuk az 1:10 arányú 0,01 M CaCl₂ talaj szuszpenzióban a pH értékét, valamint a 0,01 M CaCl₂-ban oldható NH₄⁺-N, NO₃⁻-N, és összes-N mennyiségét (SCF módszer).

A pH-t üveg-kalomel kombinált elektróddal (Radelkis OP-0808P és Radelkis-264 digitális pH-mérő) mértük. A különböző arányú 0,01 M CaCl₂ talaj szuszpenziót a talaj pH mérésére ma már több országban elfogadottnak tekintik (LOCH, 1996). Az így kapott pH érték szoros, szignifikáns kapcsolatban van a hagyományos vizes ill. mólos KCl-os pH-val:

$$\text{CaCl}_2\text{-pH}=1,88+0,754\text{KCl-pH} \quad r=0,948^{***} \quad (n=633)$$

ill.

$$\text{CaCl}_2\text{-pH}=0,16+0,91\text{H}_2\text{O-pH} \quad r=0,934^{***} \quad (n=633)$$

(HOUBA et al., 1991; LOCH, 1996; JÁSZBERÉNYI és LOCH, 1998a).

A 0,01 M CaCl₂-ban oldható összes-N (UV roncsolt) meghatározása során a mintát bórax pufferrel keverik majd fölös mennyiségű K₂S₂O₈-tal oxidálják és UV-roncsolóba vezetik. Ezután a képződött nitrátot redukció után (Cd-Cu oszlopon) Griess-Ilosvay reakcióval színes azovegyületté alakítják majd 540 nm-en fotometrálják.

Az NH_4^+ -N meghatározása módosított Berthelot reakción alapul, mely során az ammóniát először monoklóraminná majd nátrium-szaliciláttal 5-aminosaliciláttá alakítják. Oxidáció után egy zöld színű komplexet kapnak, amelynek fényelnyelési maximuma 660 nm-nél van.

A NO_3^- -N ill. $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ -N meghatározás az összes-N-nél már ismertetett módszerrel történik: redukció után (Cd-Cu oszlopon) Griess-Ilosvay reakcióval színes azovegyületté alakítják majd 540 nm-en fotometrálják (SKALAR, 1996). A három meghatározás szimultán történik, míg a szerves-N mennyisége ezen frakciók különbségéből számítható:

$$N_{\text{szerves}} = N_{\text{össz}} - N_{\text{min}} = N_{\text{össz}} - [(\text{NO}_3 + \text{NO}_2)\text{N} + \text{NH}_4\text{-N}].$$

3.6. Érleléses kísérletek

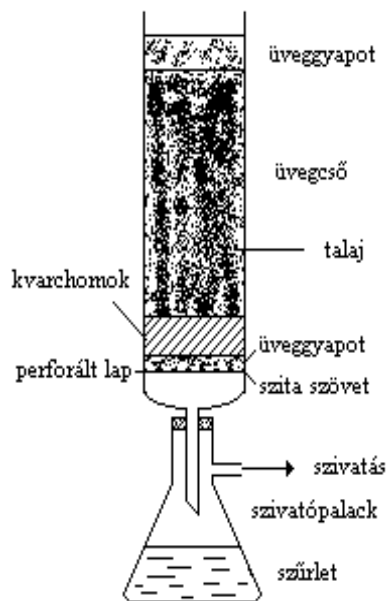
A talaj potenciálisan mineralizálódó N-készleteinek meghatározására egy módosított, szakaszos (kilúgzással kombinált) inkubációs eljárást (STANFORD és SMITH, 1972; FILEP és TÓTHNÉ, 1980a; FILEP és FERENCZ, 1999) alkalmaztunk. A módszer azon alapszik, hogy az inkubációs periódus alatt képződő N-formákat CaCl_2 -os kimosással eltávolítják így akadályozva meg, hogy a felhalmozódó, már mineralizált N-formák - az egyensúly eltolásával - a további mineralizációt visszaszorítsák.

A módszer általunk alkalmazott technikai kivitelezése számos ponton eltér a fentebbi irodalmakban közölt leírásoktól. Újításként megnövelt mintatömeeggel és módosított talaj-kvarchomok aránnyal ill. keverési eljárással dolgoztunk. Az érlelési módszer során 50-50 g légszáraz talajt* mértünk 20 cm hosszúságú 2,5 cm belső átmérőjű alul szitaszöveggel és üveggyapot réteggel elzárt üvegcsövekbe úgy, hogy a csövek aljára az üveggyapot réteg fölé 1-1,5 cm vastagságban (kb. 10 g alt. minőségű) tiszta kvarchomokot rétegeztünk, a talajkimosódás elkerülése végett (3. ábra).

Enyhe tömörítés után a talaj felületét ugyancsak üveggyapot réteggel lefedtük, hogy a talajfelszín öntözés és kioldás miatti szétiszapolódását elkerüljük. Az érlelés megkezdése előtt megállapítottuk az oszlopok vízkapacitását. Közvetlenül az érlelés

* A nyírlugosi kísérlet kezeléseinek négy ismétléséből egy átlagmintát hoztunk létre (0-20 cm), míg a Westsik kísérlet esetén a vetésforgók kilenc helyéről származó rétegmintákat összevontuk (0-60 cm) és vetésforgónként egy-egy mintát képeztünk belőlük.

előtt az oszlopokat finoman permetezett vízzel vízkapacitásig átnedvesítettük majd félóra múlva a talaj eredeti ásványi N-tartalmát 100 cm^3 $0,01\text{ M}$ -os CaCl_2 -oldattal kimostuk. A kilúgzott, nedves talajra ezután 20 cm^3 N-mentes tápoldatot öntöttünk majd megvártuk az oldat elszívárgását és ismét beállítottuk az oszlopok 75%-os vízkapacitásának megfelelő nedvességtartalmat.



3. ábra: Az érleléshez használt inkubációs cső sematikus rajza

Az alkalmazott N-mentes tápoldat összetétele: $0,007\text{ M CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 0,002\text{ M MgSO}_4 + 0,01\text{ M Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + 0,015\text{ M K}_2\text{SO}_4$ elegye.

A fentebb leírt módon előkészített mintákat aerób körülmények között, 35°C -on, állandó nedvességtartalom mellett ($\text{VK}=75\%$) érleltük 16 héten keresztül.

A mineralizálódott N mennyiségét a 2., 3., 5., 7., 9., 12. és 16. hét (Nyírlugos) és az 1., 3., 8., 23. és 32. hét (Westsik) elteltével határoztuk meg.

A mintákat 100 cm^3 CaCl_2 -oldattal kimostuk és a szűrletből a $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, és összes-N mennyiségét mértük (SCF módszerrel). Illetve ezek különbségéből számítottuk a könnyen oldható és oxidálható szerves-N tartalmat.

3.7. Alkalmazott statisztikai módszerek

A talajérleléses kísérletek mérési adatainak értékelésére ún. kumulatív módszert alkalmaztunk. A módszer lényege, hogy a vizsgált időszakok alatt képződött N-formák mennyiségeit összegeztük és elemeztük az eltelt idő függvényében. A kapott adatok értékelését variancia, kovariancia és nemlineáris regresszió analízissel végeztük el SVÁB (1981) nyomán.

A kémiai talajvizsgálati adatok elemzésénél, a kísérleti kezeléseknél a 0,01 M CaCl_2 oldható N-formák mennyiségére gyakorolt hatását a kísérlet típusának megfelelő kéttényezős varianciaanalízissel, évenként értékeltük. A kezelés és a mélység hatása mellett vizsgáltuk a kezelés*mélység kölcsönhatást is.

A kezeléshatások értékelését mind a talajvizsgálati, mind a termésadatok esetén a legkisebb szignifikáns különbség meghatározásán keresztül végeztük el.

Vizsgálatainkban a statisztikai döntés valószínűségi szintjét a mezőgazdasági kutatásokban elterjedt, $P=5\%$ -nak választottuk.

A talajvizsgálati és terméseredmények közötti összefüggéseket lineáris regresszióanalízis alapján vizsgáltuk.

A statisztikai próbák elvégzése Microsoft Excel program segítségével történt.

4. EREDMÉNYEK ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

4.1. Az érleléses kísérletek eredményei

4.1.1. A nyírlugosi tartamkísérlet

A nyírlugosi tartamkísérlet feltalajából származó (0-20 cm) mintákkal az inkubációs kísérletet 16 héten keresztül végeztük.

Az érlelés során a 0,01 M CaCl₂-oldattal oldható N-formák mennyiségét a kísérlet beállításakor, majd a 2., 3., 5., 7., 9., 12. és 16. hét elteltével határoztuk meg. A kapott adatokból számítottuk a NO₃⁻-N- és az NH₄⁺-N-tartalom összegét (N_{min}).

Az érlelés során kapott adatokat ún. kumulatív módszerrel (SVÁB, 1981)) értékeltük, azaz az adatok összegzett értékeit képeztük, így megkaptuk az egyes érlelési szakaszokban mineralizálódott összes szerves N-mennyiségét (kumulált N_{min}).

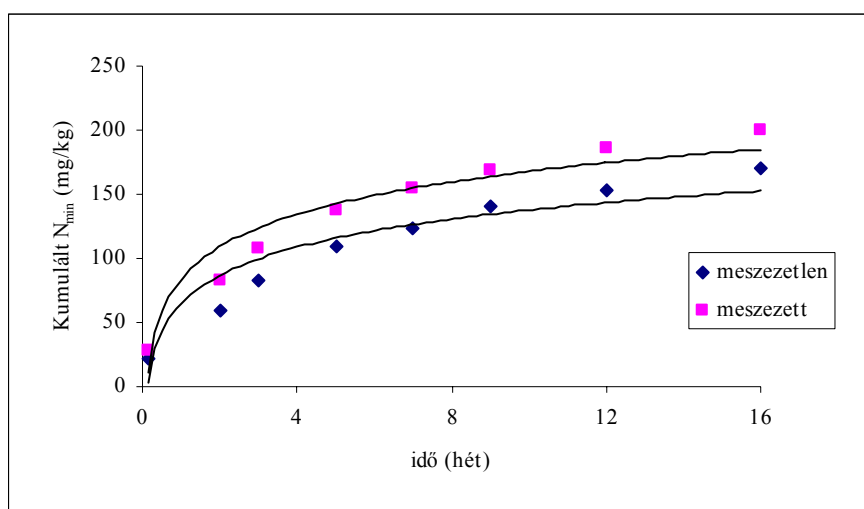
Az érleléses kísérletet mind az 1998-as (4. ábra), mind a 2001-es év (5. ábra) kiválasztott mintáival elvégeztük.

Az eredmények megfeleltek várakozásainknak. Az inkubáció folyamán mineralizálódott nitrogén mennyisége és az érlelési idő között kapott összefüggés nem lineáris.

Az inkubáció időtartamának a hatását a különböző N-formák mennyiségére kovarianciaanalízis segítségével vizsgáltuk. Első lépésként regresszióanalízis segítségével megállapítottuk, hogy a kapott adatokra leginkább logaritmikus görbe illeszthető. A kapott logaritmikus összefüggések jól magyarázhatóak az érleléses kísérletek biológiai jellegével és a szakaszosan eltávolított N-formák egyensúlyi viszonyokra gyakorolt hatásával. Jó egyezést kaptunk, mind a hazai, mind a nemzetközi szakirodalomban közölt érlelési módszerek által szolgáltatott adatokkal (CARTER, 1993; NÉMETH, 1996; FILEP és FERENCZ, 1999).

A regresszióanalízishez a kezelésenkénti adatokat, a mintavételi időpontok kumulált értékeinek az ismétlésekből számított átlagaiból képeztük.

A két vizsgált év adataiból megállapítható, hogy az időegység alatt mineralizálódott N mennyisége az érlelések egyes periódusaiban viszonylag alacsony (10-40 mg/kg/hét), - a talaj tulajdonságainak következtében - és egyre csökken az inkubációs idő előrehaladtával. A kumulált értékek kezdetben monoton növekvő lineáris, majd a vizsgált érlelési időszak végére telítési görbével jellemezhető tendenciát mutatnak az érlelési periódus alatt.

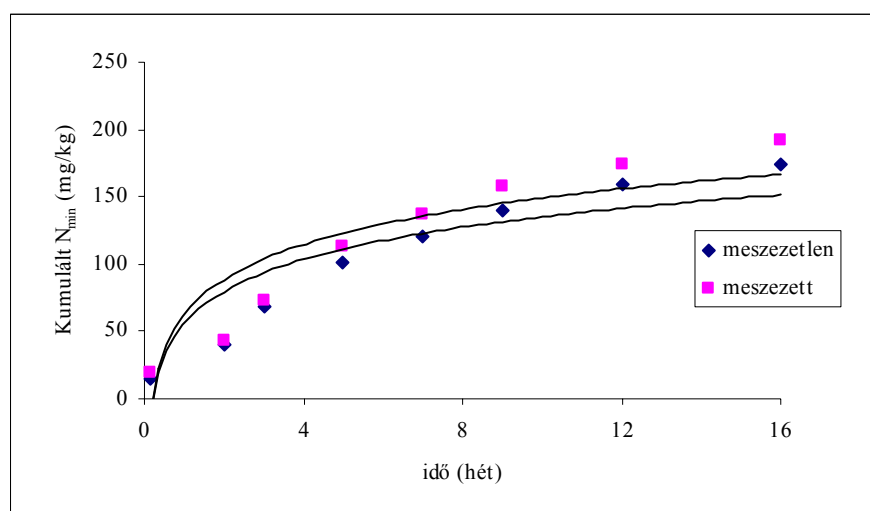


4. ábra: Az érlelési periódus alatt mineralizálódott nitrát-N és ammónium-N formák összege (N_{min}), az idő függvényében (1998. évi talajminták)

A mineralizáció időbeli lefutása, kinetikája az eltérő kezelések ellenére, hasonló regressziós kapcsolattal írható le. Varianciaanalízis alapján megállapítottuk, hogy szignifikáns különbségek csak a meszezetlen és meszezett kezelések N_{min} középértékei között állnak fenn. Ennek alapján a kezeléseket meszezett és meszezetlen csoportra bontottuk. Az elvégzett varianciaanalízis továbbá rámutatott, hogy a különböző kezelések adag- és tápelem kombinációnak különbségei nem okoznak szignifikáns különbséget az N_{min} középértékei között a meszezetlen és meszezett csoportokon belül. Szignifikáns különbségek csak a meszezett és meszezetlen kezelés csoportok között mutatkoztak. A két csoporton belüli kezelések statisztikailag tehát azonos alappopulációt reprezentálnak (SVÁB, 1981).

Ebben az esetben a mineralizálódott N-formák mennyiségének időfüggése a csoportokon belüli kezeléseknél közös regressziós egyenlettel írható le. A két csoport regressziós egyenlete a regressziós állandóban és koefficiensben különbözik. Ez arra enged következtetni, hogy a mineralizációs folyamatok dinamikája - az egyéb befolyásoló tényezők (hőmérséklet, vízellátottság) állandó értéken való tartása mellett - alapvetően a kezelések hatására kialakult kémhatás viszonyoktól függ.

A kapott regressziós egyenletek (3. táblázat) alapján megállapítható, hogy lényeges eltérés a mineralizáció ütemét és kinetikáját, továbbá az ásványiasodott N-formák mennyiségeit tekintve nem tapasztalható a vizsgált két év között.



5. ábra: Az érlelési periódus alatt mineralizálódott nitrát-N és ammónium-N formák összege (N_{min}), az idő függvényében (2001. évi talajminták)

Az 1998-as mintavétel talajaival végzett érleléses kísérlet alapján megállapítható, hogy az érlelési időszak alatt mineralizálódott N mennyisége legnagyobb a meszezett parcellák talajai esetén. A csak egyoldalú N-adagokat kapott talajok csökkent mineralizációs potenciálja a talaj pH savanyodásával, ugyanakkor az N_3 kezelés kiugró értéke az extrém nagy N-dózis hatásával magyarázható (6. ábra).

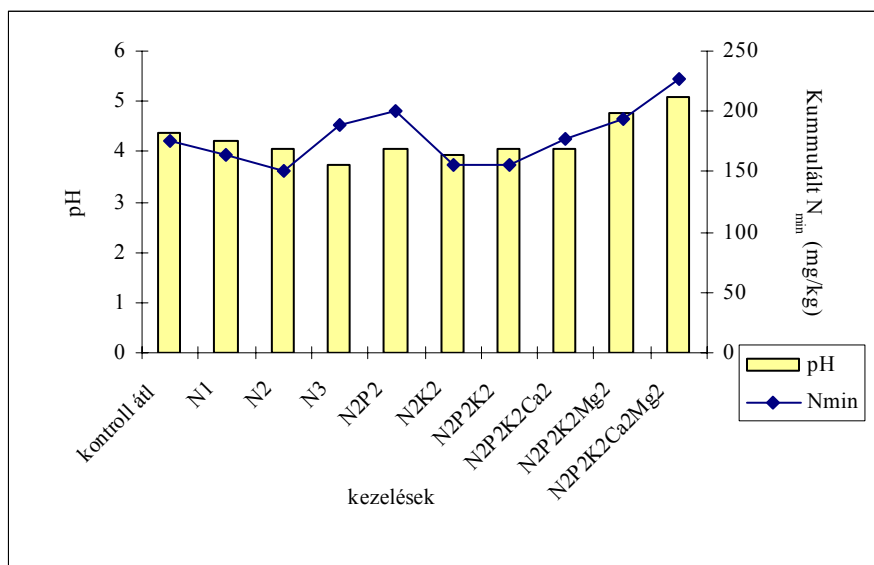
3. táblázat: Az érlelési periódus alatt képződött N_{min} mennyiségek időfüggésének regressziós egyenletei

	Meszezetlen kezelések	Meszezett kezelések
1998		
Regressziós egyenes egyenlete	$y = 31.642 \ln(x) + 64.951$	$y = 36.624 \ln(x) + 83.57$
R	0,946***	0,965***
2001		
Regressziós egyenes egyenlete	$y = 34.527 \ln(x) + 55.654$	$y = 37.55 \ln(x) + 62.615$
R	0,912***	0,900***

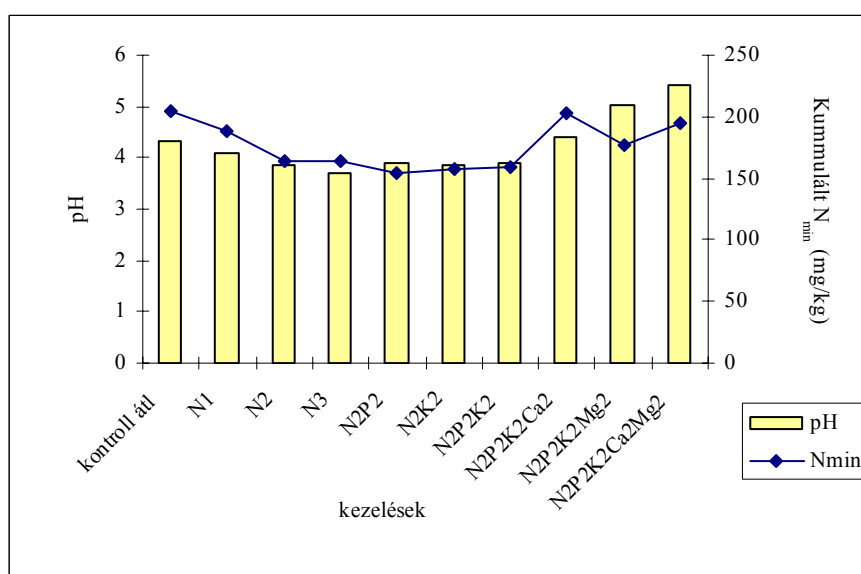
*** - 0,1%-os szinten szignifikáns

ahol: $y = N_{min}$; $x = \text{érlelési idő}$

A meszezés nélküli, csak NP- NK- ill. NPK-kezelést kapott parcellákból származó minták csoportjában, a műtrágyázás talajsavanyító és így a mineralizációt gátló hatása szintén érvényesült. A kontroll parcellák talajainak kisebb mértékű elsavanyodása miatt az érlelési időszak alatt nagyobb volt a mineralizáció által szolgáltatott ásványi N-formák mennyisége.



6. ábra: Az érlelési periódus alatt képződött kumulált N_{min} és a pH, a kezelések függvényében (1998. évi talajminták)



7. ábra: Az érlelési periódus alatt képződött kumulált N_{min} és a pH, a kezelések függvényében (2001. évi talajminták)

A 2001. évi minták eredményei is jól reprezentálják a talaj pH szerepét a mineralizációs folyamatokban (7. ábra). Összevetve a talaj pH értékeket az 1998. évi adatokkal, megállapítható, hogy a meszesetlen talajok esetén további savanyodás figyelhető meg. Legnagyobb mértékű ez a savanyodás az egyoldalú N-adagok esetén, ami az alkalmazott N-műtrágya savanyító hatásával magyarázható. Tovább növeli a savanyodás mértékét az, hogy a N-trágyázás éves lebontásban történik szemben a

kombinált kezelések P-, K- és meszező anyagainak négy éves kijuttatási ciklusaival.

Az NP- NK- ill. NPK-kezelésű talajok kismértékű mineralizációs potenciálja ugyancsak jól magyarázható a talaj pH értékével ($\text{pH} < 4$). A meszezés pH-t növelő és így a mineralizációt elősegítő hatása azonban 2001-ben is megmutatkozott. A meszezett kezelésekben mértük a legnagyobb mennyiségű ásványiasodott N-t a 16 hét alatt.

A kontroll parcellák talajaiban is a meszezetlen kezeléseknél nagyobb N_{\min} -értéket kaptunk, ami ugyancsak a talaj pH kisebb mértékű csökkenésével magyarázható. Látható, hogy a kontroll parcellák pH-ja a meszezett és a meszezetlen parcellák közötti érték.

A bemutatott kísérleti eredmények alkalmasak arra, hogy a potenciálisan mineralizálható N mennyiségét meghatározzuk. A mineralizáció sebessége arányos a mineralizálható N mindenkori mennyiségével és a folyamat kinetikusan elsőrendűnek tekinthető (FILEP és TÓTHNÉ, 1980a). Tehát:

$$dN_t/dt = -k \cdot (N_{\text{pot}} - N_t), \text{ azaz } \ln(N_{\text{pot}} - N_t) = \ln N_{\text{pot}} - kt$$

ahol: t - mineralizáció időtartama

N_{pot} - a potenciálisan mineralizálható N mg/kg

N_t - a t időpontig ásványosodott N összes mennyisége mg/kg

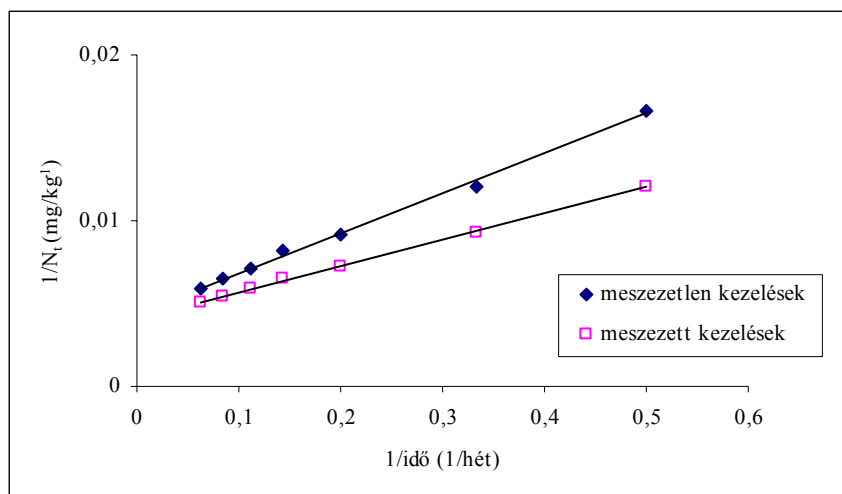
k - a folyamat sebességi állandója hét^{-1}

Kísérletünk bizonyította a szakirodalmi megállapításokat, miszerint az $1/N_t$ és $1/t$ közötti összefüggés lineáris, azaz:

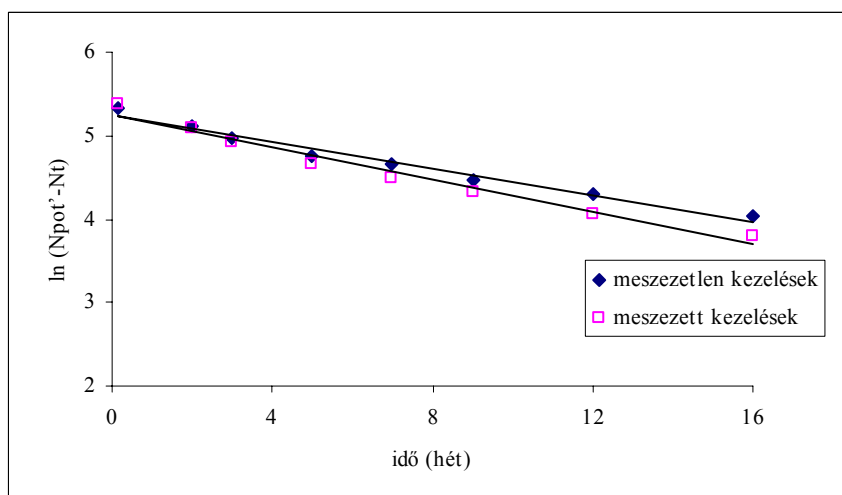
$$1/N_t = 1/N_{\text{pot}} + m \cdot 1/t$$

ahol: m - az egyenes meredeksége

Abban az esetben, ha a mineralizációt igen hosszú (végtelen) időn keresztül nyomon követjük ($t \rightarrow \infty$), akkor az $N_t = N_{\text{pot}}$, azaz annál jobban megközelítjük a maximálisan mineralizálható N értékét. Ha a különböző időpontokig összesen mineralizálódott N reciprokát ($1/N_t$) az idő reciprokának ($1/t$) függvényében ábrázoljuk az egyenes tengelymetszete az $1/N_{\text{pot}}$ közelítő értékét $1/N_{\text{pot}}$, adja (8. ábra). FILEP és TÓTHNÉ (1980a) szerint, ha az $\ln(N_{\text{pot}} - N_t) - t$ összefüggést ábrázoljuk, olyan talajonként jellemző egyeneseket kapunk, amelyek tengelymetszete az $\ln N_{\text{pot}}$, meredeksége pedig a k értékét adja (9. ábra).



8. ábra: A különböző időpontokig összesen mineralizálódott N reciproka ($1/N_t$) az idő reciprokának ($1/t$) függvényében (Nyírlugos 1998)



9. ábra: Az $\ln(N_{pot}-N_t)$ összefüggése az érlelési idővel (Nyírlugos 1998)

A kapott eredményekből az inkubáció során felszabadult ásványi N mennyiségéből a potenciálisan mineralizálható N-készletet (N_{pot}) és a folyamat sebességi állandóját számítottuk (4. táblázat).

4. táblázat: A meszeszett és meszesetlen kezelésenkénti N_{pot} és k értékek (Nyírlugos 1998)

	N_{pot} (mg/kg)	k (35°C)
Meszesetlen kezelések	189,6	0,080
Meszeszett kezelések	189,8	0,097

Eredményeink arra utalnak, hogy a kezelések a talaj potenciálisan mineralizálható N-készletének nagyságát nem befolyásolják, csak ennek a készletnek a képződési sebességét módosítják.

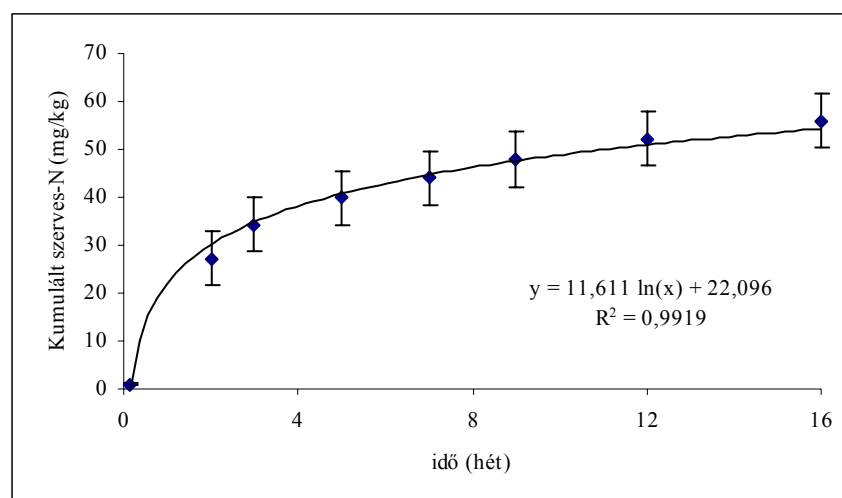
Az így nyert adatok segítségével, a talaj térfogattömegének ($T_s=1,38 \text{ g/cm}^3$) ismeretében a 0-20 cm-es felső réteg potenciálisan mineralizálható N-készlete 523 kg/ha-nak adódott. Ez a mennyiség az összes N-tartalomnak mintegy 38%-a.

Ez azt jelenti, hogy a kis humusztartalmú (0,5-0,6%), finom mechanikai összetételű, levegőzött homoktalajokon, a kedvezőtlen pH viszonyok ellenére, optimális körülmények (nedvességtartalom, hőmérséklet) mellett jelentős mértékű mineralizációval számolhatunk. A kapott eredmények összhangban vannak FILEP (1999) azon megállapításaival, hogy a humuszanyagok közül, a legkönnyebben mineralizálódó, viszonylag kis molekulájú fulvosavak, nagyobb részarányban képződnek a savanyú, gyenge biológiai aktivitású homoktalajokban.

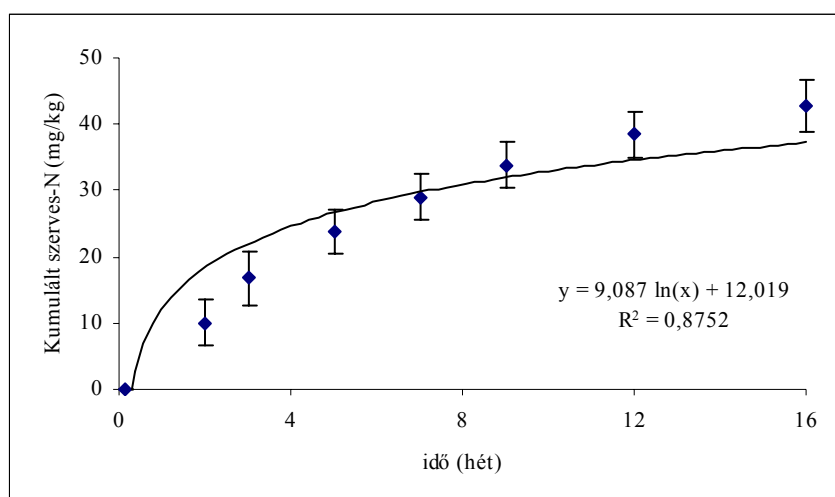
A mineralizált N-formák mennyiségével egyidejűleg, meghatároztuk az érlelési periódus alatt képződött 0,01 M CaCl_2 -oldható, kumulált szerves-N mennyiségét is.

A kumulált szerves-N mennyiségének alakulása az inkubációs periódusban hasonló, logaritmikus lefutású görbével jellemezhető, a vizsgált két évben (10.-11. ábra).

Ezek az adatok arra utalnak, hogy a nitrogén mineralizációjával párhuzamosan, az érlelési periódus alatt megindul a mobilis, kis molekulású szerves formák mennyiségének növekedése ill. átalakulása. Ez a frakció a potenciálisan mineralizálható formák közé tartozik, ezért mennyisége a talaj N-szolgáltató képességét befolyásolja.



10. ábra: Az érlelési periódus alatt képződött kumulált szerves- N mennyisége az idő függvényében (1998. évi talajminták)



11. ábra: Az érlelési periódus alatt képződött kumulált szerves-N mennyisége az idő függvényében (2001. évi talajminták)

A vizsgált két év görbéinek regresszióanalízise alapján megállapítható, hogy nincs különbség az azonos kezelésű mintákra illeszthető a görbék lefutása között.

A 10. és 11. ábrán a kezelésenkénti átlagadatokat alapján illesztett regressziós görbék, egyenleteiket és a görbékhez tartozó konfidenciahatárokat tüntettük fel.

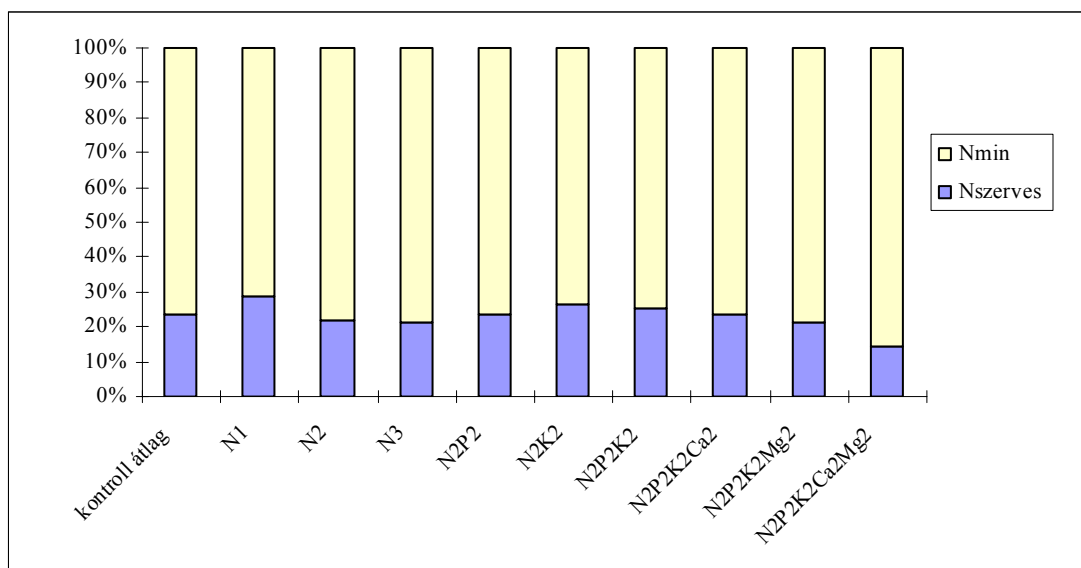
Az egyes kezelésekből - az inkubációs idő végéig - szolgáltatott szerves N-formák mennyisége függ a parcellákon alkalmazott kezelésektől (5. táblázat). A 0,01 M CaCl₂ oldható, könnyen oxidálható szerves N-frakció mennyisége 1998-ban 38,4-66,5; 2001-ben 37,9-59,6 mg/kg/érlelési periódus között változott, kezelésenként.

5. táblázat: Az egyes kezeléseket talajai által az érlelés teljes periódusa során képződött szerves- és szervesetlen N-formák mennyiségei (Nyírlugos 1998-2001)

Kezelések	pH	1998		2001		
		N _{min} (mg/kg)	N _{szerves} (mg/kg)	pH	N _{min} (mg/kg)	N _{szerves} (mg/kg)
Kontroll átlag	4,38	176,10	54,94	4,31	185,34	39,19
N ₁	4,22	163,23	66,49	4,10	188,45	43,13
N ₂	4,04	151,24	42,19	3,86	163,94	43,35
N ₃	3,74	188,52	51,62	3,71	164,22	59,57
N ₂ P ₂	4,07	191,00	58,08	3,92	153,67	47,41
N ₂ K ₂	3,93	156,01	56,15	3,85	157,81	40,30
N ₂ P ₂ K ₂	4,05	156,32	53,69	3,91	158,50	37,93
N ₂ P ₂ K ₂ Ca ₂	4,06	177,83	55,61	4,40	203,51	42,87
N ₂ P ₂ K ₂ Mg ₂	4,78	193,44	52,84	5,01	187,50	37,92
N ₂ P ₂ K ₂ Ca ₂ Mg ₂	5,09	227,29	38,43	5,43	195,28	39,60
<i>Átlag</i>	<i>4,24</i>	<i>179,10</i>	<i>55,00</i>	<i>4,25</i>	<i>176,87</i>	<i>43,13</i>
SzD_{5%}	0,25	14,87	5,89	0,35	12,32	4,02

A kezeléshatások vizsgálata alapján megállapítható, hogy mindkét évben a meszezett parcellák talajai szolgáltatták a legkisebb mennyiségű szerves nitrogént. Ez a tendencia a meszezés hatására felgyorsuló mineralizációs folyamatok előtérbe kerülésével jól értelmezhető. A meszezés hatására ugyanis megnő a híg só oldható, potenciálisan mineralizálható, szerves nitrogén ásványi formává alakulásának sebessége, ami szükségszerűen ennek a frakciónak a mennyiségi csökkenését vonja maga után. Ezt támasztja alá a sebességi állandók értékeinek különbsége meszezett és nem meszezett viszonyok között. A többi kezelés esetén nem kaptunk egyértelmű kezeléshatást.

A kapott adatokból továbbá megállapítható, hogy az inkubációs periódus alatt szolgáltatott 0,01 M CaCl_2 -oldható N-formák között az ásványi formák vannak túlnyomó többségben (71-86%) de a képződő szerves N mennyisége sem elhanyagolható (14-29%). A két N-forma aránya az egyes kezelésekből a 12.-13. ábrán látható.

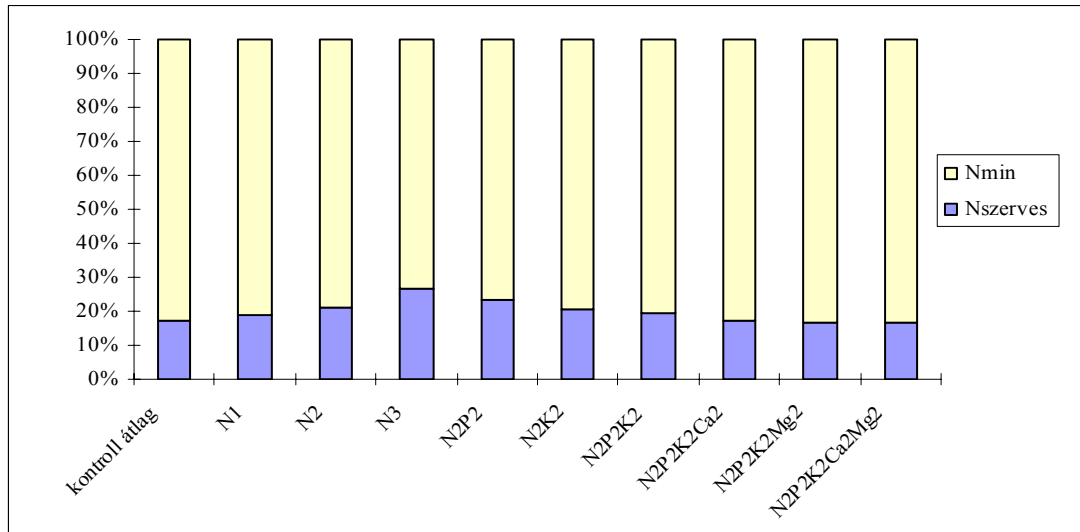


12. ábra: Az érlelési periódus alatt szolgáltatott szervetlen és szerves N-formák mennyiségének arányai, a kezeléseik függvényében (1998. évi talajminták)

A kezelésenkénti mineralizált, és szerves N-frakciók arányai lényegesen nem különböztek a vizsgált két évben. A frakciók aránya döntően a parcellákon alkalmazott kezelésektől függött.

A legnagyobb $N_{\text{min}}/N_{\text{szerves}}$ arány a meszezett kezeléseknél tapasztalható. A meszezés tehát a talaj pH eltolásával elősegíti a mineralizáció lejárását és így növeli a mineralizált N-formák mennyiségét. Az arányaiban jelentős mennyiségű híg só oldható szerves N-frakció jelenléte arra utal, hogy ezen a savanyú kémhatású homoktalajon, a

tenyészedőszak alatt, jelentős mennyiségű szerves forma válhat potenciálisan mineralizálhatóvá. Ennek az átalakulásnak a kinetikája hasonló az ásványi frakciók képződésének kinetikájához. A két átalakulás sebessége azonban eltér és függ a kezelések hatásának eredményeképpen kialakuló talajtulajdonságoktól és egyensúlyi viszonyoktól. A szerves-N forma mennyisége tehát a növénytáplálás szempontjából nem hagyható figyelmen kívül.



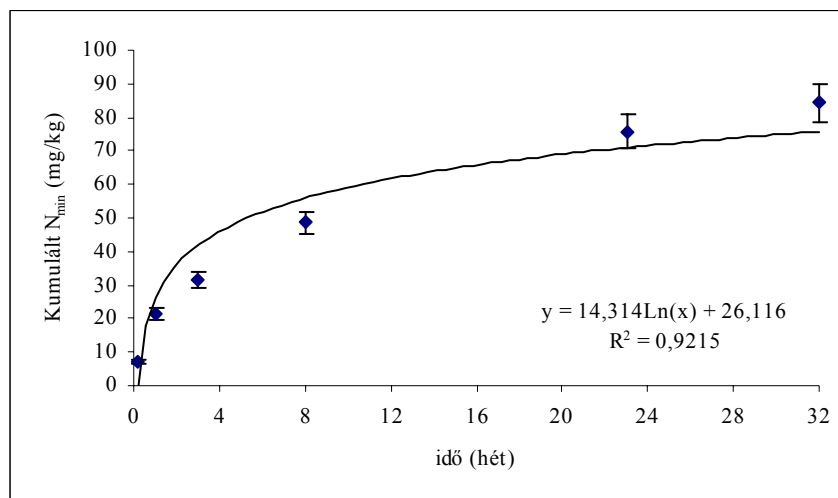
13. ábra: Az érlelési periódus alatt szolgáltatott szervetlen és szerves N-formák mennyiségének arányai, a kezelések függvényében (2001. évi talajminták)

Rövid távú érlelési kísérleteink alátámasztották a terület talajával korábban végzett hosszú távú inkubációs kísérletek eredményeit (LATKOVICSNÉ, 1994), ami az általunk használt technikai megoldás és kivonószer alkalmazhatóságát bizonyítja.

4.1.2. A Westsik-féle tartamkísérlet

A talajérleléses kísérleteket a Westsik-féle kísérletből 2000-ben vett talajmintákkal (0-60 cm) 32 héten keresztül végeztük. Az utolsó mintavételi eredmények (23. és 32. hét) alapján megállapítható volt, hogy az időegység alatt (1 hét) mineralizálódó N-formák mennyiségei jelentősen csökkenő tendenciát mutattak (átlagban az összes N-tartalom 16,6 mg/kg/hétről 1,06 mg/kg/hétre csökkent). Ez arra utalt, hogy a potenciálisan mineralizálható N-készletek mennyisége drasztikusan lecsökkent így nem volt érdemes az inkubációs idő további hosszabbítása.

Az érlelés során, hasonlóan a nyírlugosi mintákhoz, a 0,01 M-os CaCl_2 -oldattal kimosható N-formák mennyiségét mértük. A kapott adatokból számítottuk a $\text{NO}_3\text{-N}$ - és az $\text{NH}_4\text{-N}$ -tartalom összegét az N_{\min} -t. Az adatok kumulált értékeit képeztük, így megkaptuk az egyes érlelési szakaszokban mineralizálódott összes szerves N-mennyiségét (kumulált N_{\min}). A 14. ábrán a kezelésátlagokra illesztett függvény ill. regressziós egyenlete látható a konfidenciahatárok feltüntetésével.



14. ábra: Az inkubációs periódus alatt mineralizálódott, kumulált N_{\min} mennyisége, az idő függvényében (Westsik 2000)

Az érlelés folyamán mineralizálódott nitrogén mennyisége és az érlelési idő között kapott összefüggés, hasonlóan a nyírlugosi érlelési eredményekhez, a biológiai folyamatokra jellemző telítési görbével jellemezhető. Az adatokból megállapítható, hogy a vetéscserék talajai, eltérő kezeléseik ellenére hasonló lefutású mineralizációs görbét szolgáltatnak. A regresszióanalízissel kapott logaritmikus görbe összhangban van a szakirodalomban közölt érlelési módszerek adataival (FILEP és TÓTHNÉ, 1980a).

A Westsik kísérlet különböző kezeléssű talajaival elvégzett érlelés tapasztalatai alapján hasonló megfontolások tehetőek, mint a korábban ismertetett nyírlugosi kísérlet alapján. Megállapítható, hogy a mineralizálódott nitrát- és ammónium-N összege viszonylag kevés, a talajtulajdonságoknak köszönhetően és monoton, de egyre kisebb mértékben növekvő tendenciát mutat az érlelési periódus alatt.

A két tartamkísérlet által az érlelés alatt szolgáltatott N_{\min} mennyiségében azonban jelentős eltérést tapasztaltunk. A nyírlugosi talajok esetén a 16 hetes érlelés alatt 170-200 mg/kg nitrogén ásványosodott, míg a Westsik kísérlet talajai 32 hét alatt 63-103 mg/kg ásványi nitrogént szolgáltatottak.

Ennek az a magyarázata, hogy a nyírlugosi minták a feltalajból (0-20 cm) míg a Westsik kísérlet mintái a teljes vizsgált talajrétegből (0-60 cm) származtak.

A két tartamkísérlet talajaival elvégzett érleléses kísérletek összehasonlítása éppen ezért nem végezhető el egzak módon. Messzemenő következtetések, csak fenntartásokkal tehetőek.

Az egyes vetésforgók talajai által - az inkubációs idő végéig - szolgáltatott N_{\min} mennyisége erősen függ az alkalmazott kezelésektől (6. táblázat). Megállapítható, hogy a legnagyobb mennyiségű ásványi N-tartalom sorrendben az F-8, F-13, F-5 ill. F-12 jelzésű vetésforgók mintáiban képződött.

6. táblázat: Az egyes vetésforgók talajai által az érlelés teljes periódusa során szolgáltatott szerves- és szervetlen N-formák mennyiségei (Westsik 2000)

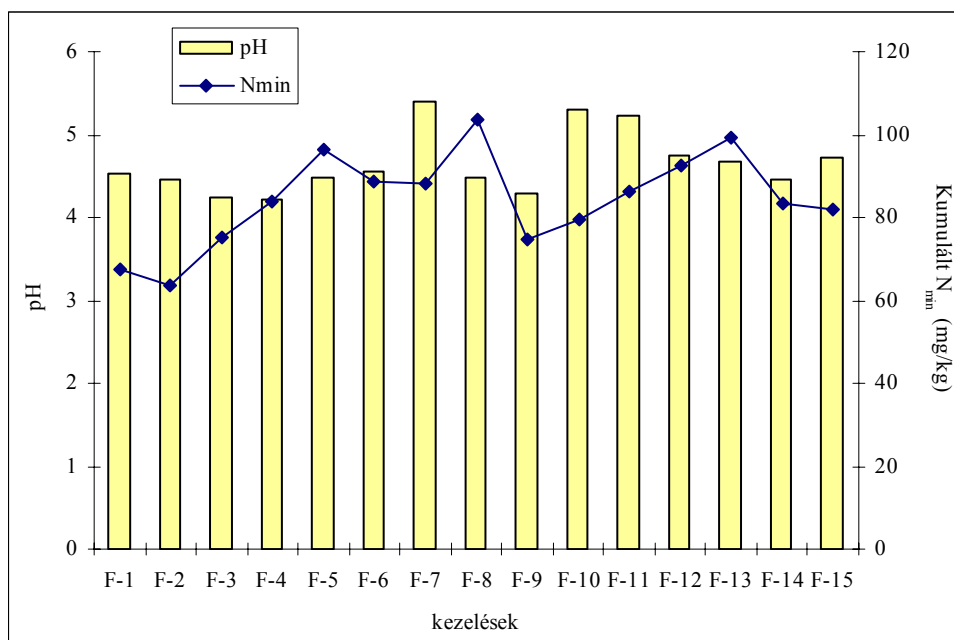
vetésforgó	pH	N_{\min} (mg/kg)	N_{szerves} (mg/kg)
F-1	4.52	67,43	7,14
F-2	4.46	63,52	7,83
F-3	4.24	75,24	9,24
F-4	4.21	83,04	9,33
F-5	4.48	96,26	10,4
F-6	4.55	88,57	10,21
F-7	5.39	88,13	8,79
F-8	4.49	103,48	11,05
F-9	4.29	74,86	8,54
F-10	5.30	79,75	9,28
F-11	5.23	86,42	11,12
F-12	4.74	92,53	10,69
F-13	4.68	99,45	11,02
F-14	4.46	83,48	11,77
F-15	4.73	82,10	8,76
<i>Átlag</i>	<i>4,65</i>	<i>84,35</i>	<i>9,68</i>
SzD_{5%}	0,19	5,67	0,68

A kapott adatok megerősítik azokat a korábbi feltételezéseket, hogy az előveteményként alkalmazott első és másodvetésű csillagfürt valamint az NPK műtrágya adagok nagyban elősegíti a kis humusztartalmú, rossz tápelem ellátottsággal rendelkező homoktalajokon a potenciálisan mineralizálható N-formák mennyiségének növekedését (LAZÁNYI, 1994). Ezáltal a talaj termőképességének fokozásában jelentős szerepet töltenek be.

A legkisebb mineralizálódott N-tartalmat az F-1 (kontroll) ill. F-2 kezelések nyújtották. Ezen kezelések talajai által az inkubációs idő végéig szolgáltatott N_{min} mennyisége átlagban mintegy 65%-a a fentebbi, legnagyobb mineralizációs potenciállal rendelkező talajok által nyújtott értékeknek. A talajérleléssel kapott adatok szoros összefüggésben állnak a vetésforgók által szolgáltatott talajvizsgálati ill. terméseredményekkel (LAZÁNYI, 1994, 2003).

Bizonyítható tehát, hogy az általunk használt érlelési módszer alkalmas a tenyészidőszak alatt mineralizálódott N-formák mennyiségének becslésére, és támpontul szolgál a talajtermékenység megítéléséhez.

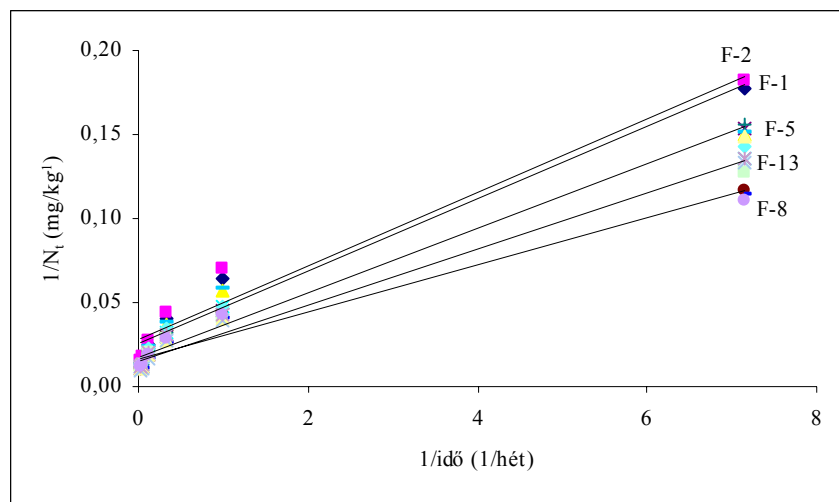
Az érlelési periódus alatt képződött N_{min} értékek és a talaj pH között nem kaptunk olyan egyértelmű összefüggést, mint a nyírlugosi kísérlet talajaival végzett inkubációs kísérletekben (15. ábra).



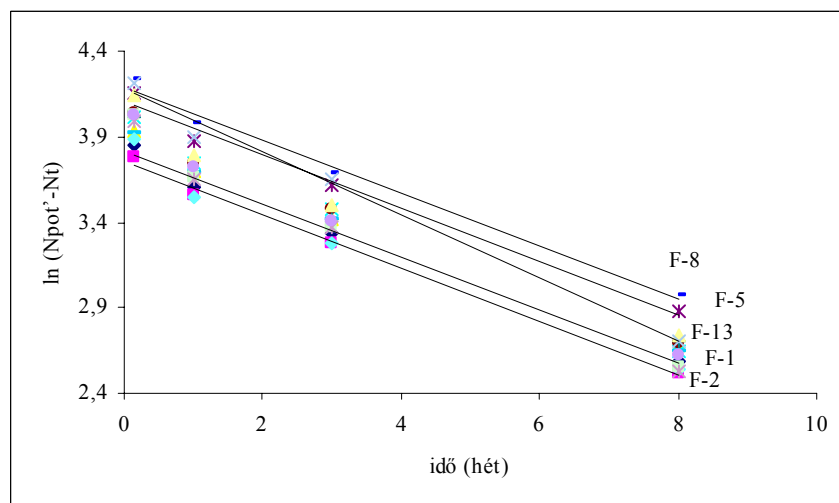
15. ábra: Az érlelési periódus alatt képződött kumulált N_{min} és a pH, a kezelések függvényében (Westsik 2000)

A mineralizáció és nitrifikáció ütemét a pH mellett ugyanis a talaj könnyen oldható, azaz mineralizálódni képes tápanyagkészlete határozza meg. A Westsik kísérlet eltérő kezelései hatására ez a tápanyagkészlet jelentősen változik a kontroll, parlagoltatáshoz képest.

A Westsik kísérlet talajainál szintén meghatároztuk a potenciálisan mineralizálható N mennyiségét a korábban ismertetett számítási módszer alapján (FILEP és TÓTHNÉ, 1980a). Az N_{pot} értékeit a 16. ábra görbéi alapján számítottuk.



16. ábra: A különböző időpontokig összesen mineralizálódott N reciproka ($1/N_t$) az idő reciprokának ($1/idő$) függvényében, jellemző kezeléseknél (Westsik 2000)



17. ábra: Az $\ln(N_{pot} - N_t)$ és az érlelési idő összefüggése, jellemző kezeléseknél (Westsik 2000)

A potenciálisan mineralizálható N-készletet (N_{pot}) és a sebességi állandó (k) értékeit a 17. ábra görbéinek tengelymetszetéből és meredekségéből határoztuk meg (7. táblázat). A különböző vetésforgók esetén kapott N_{pot} értékek és a sebességi állandók a 7. táblázatban láthatóak.

A 7. táblázat adatai megerősítik azokat a korábbi megállapításokat, miszerint a legnagyobb mineralizációs potenciállal az F-8, F-13 és F-5, míg legkisebbel az F-2, F-10 és F-1 jelzésű vetésforgók rendelkeznek.

7. táblázat: Kezelésenkénti N_{pot} és k értékek (Westsik 2000)

Kezelések	N_{pot} (mg/kg)	k (35°C)
F1	45,36	0,155
F2	42,82	0,156
F3	49,43	0,154
F4	53,34	0,167
F5	60,39	0,155
F6	53,55	0,162
F7	51,08	0,157
F8	65,73	0,154
F9	48,97	0,157
F10	44,85	0,162
F11	51,22	0,176
F12	57,51	0,176
F13	65,10	0,183
F14	50,52	0,177
F15	52,40	0,169
<i>Átlag</i>	52,82	0,146
SzD_{5%}	3,46	0,005

A kapott adatok segítségével, a talaj térfogattömegének ($T_s=1,34 \text{ g/cm}^3$) ismeretében a 0-20 cm-es felső réteg potenciálisan mineralizálható N-készlete átlagban 141,6 kg/ha-nak adódott. Ez a mennyiség a talaj összes N-tartalmának mintegy 9,6%-a.

A sebességi állandókra, ebben a kísérletben kapott nagyobb értékek, magyarázhatóak – egyrészt a különböző N-frakciók mélységgel történő változásával, másrészt a két kísérlet eltérő kezelés típusaival.

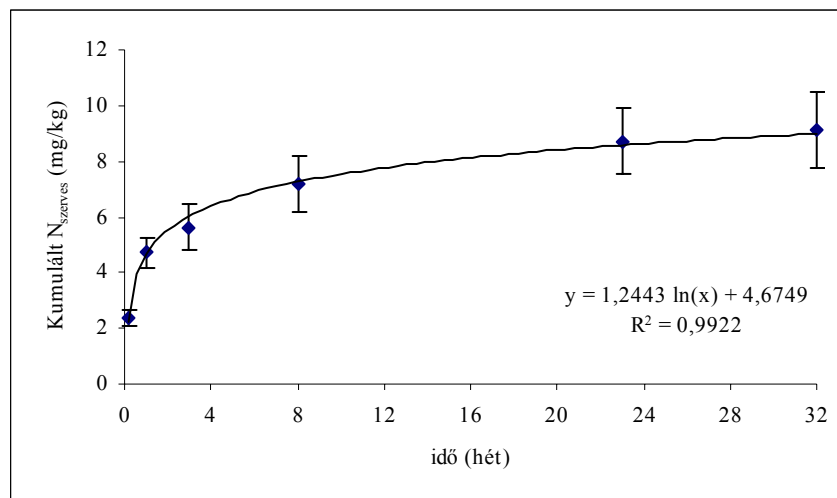
A talajok mineralizációs potenciálját elsősorban nem a már ásványosodott formák mennyiségi viszonyai, hanem a könnyen oldható és mobilizálható kis molekulatömegű szerves N-frakció mennyisége határozza meg.

Ezt erősíti meg a 0,01 M CaCl_2 -oldható szerves N-frakció mennyiségében az érlelés során bekövetkezett változás.

A mineralizálódott N-formák mennyiségével párhuzamosan ugyanis mértük az inkubáció alatt az egyes kezelések talajai által szolgáltatott szerves N-frakció mennyiségét is (6. táblázat).

A híg CaCl_2 -oldható kumulált szerves-N mennyiségei az érlelési periódus alatt szintén logaritmikus lefutású görbék szerint alakultak, függetlenül a kezelésektől (18. ábra).

A kezelések csak az inkubációs idő végéig szolgáltatott szerves N-formák mennyiségét befolyásolták, az időbeli lefutást nem.



18. ábra: Az inkubációs periódus alatt képződött kumulált N_{szerves} mennyisége, az idő függvényében (Westsik 2000)

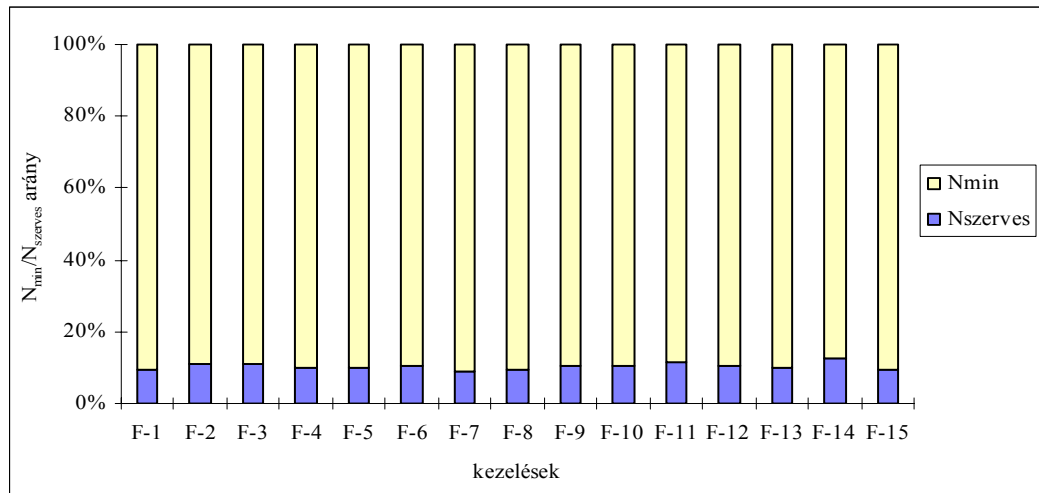
Legnagyobb értékeket az F-14, F-11, F-8 ill. F-13-as kezelésekben kaptunk. Ezek az adatok alátámasztják azt, hogy mind az istállótrágyázás mind a zöldtrágyázás hatékonyan növeli a talaj 0,01 M CaCl_2 -oldható szerves-N mennyiségét.

A legkisebb szerves-N mennyiséget a kontrollnak tekinthető parlagoltatás adta, az itt kapott érték csak 63%-a az istállótrágyázott ill. zöldtrágyázott kezelésekben mért értékek átlagának.

A kapott adatok alapján az a következtetés vonható le, hogy a mineralizáció mértéke azoknál a vetésforgóknál jelentősebb, ahol az kezdeti 0,01 M CaCl_2 oldható szerves N-frakciók mennyisége nagyobb és ennek a frakciónak az utánpótlása megfelelő sebességű.

Az adatokból látható, hogy az inkubációs periódus alatt szolgáltatott CaCl_2 -oldható N-formák között a mineralizálódott formák (NO_3^- -N és NH_4^+ -N összege) vannak túlnyomó

többségben (88-90%) de a képződő szerves N mennyisége sem elhanyagolható (9-12%). A két N-forma aránya az egyes kezelésekben a 19. ábrán látható.



19. ábra: Az érlelési periódus alatt mineralizálódott N-formák és a képződött szerves-N mennyiségének arányai, a kezelések függvényében (Westsik 2000)

A Westsik kísérletben mért szerves-N kisebb részaránya jó összhangban van a sebességi állandókra kapott nagyobb értékekkel. A mineralizáció üteme tehát a Westsik kísérletben gyorsabb, ami a szervestrágyázás miatt kialakuló élénkebb mikrobiológiai élettel, a nitrifikáló baktériumok nagyobb számával ill. az ehhez kapcsolódó nagyobb pH-val magyarázható (KÁTAI et al., 1999).

4.2. A kémiai vizsgálatok eredményei

4.2.1. A trágyázás hatása a 0,01 M CaCl₂-ban oldható N-formák mennyiségére (Nyírlugos)

A kísérlet kezeléseinek termés adatait az 1980-as évek eleje óta, amikor az 512 parcellás, több mint 3 hektáros kísérleti terület 128 parcellára, 4 ismétlésre és kb. 1 hektárra csökkent, csak néhány kiemelt kezelés esetében határozzák meg a kísérletért felelős szakemberek. A termést mintakévként alapján történő termésbecsléssel adják meg. Mivel az 1980-as évek elejéig az eltérő N-szintek termésre gyakorolt hatásában érdemi különbség nem adódott, azóta a kezeléseket összevontan értékelik (KÁDÁR és SZEMES, 1994). A meszezés kiemelését és kísérletes vizsgálatát a talaj pH csökkenése indokolta. Az így kialakított mintavételi eljárás 14 kezelést 4 ismétlésben tartalmaz, azaz 56 parcella adatait gyűjti össze. A mintavételezésre kerülő parcellák kezelésszámait a 8. táblázatban láthatóak.

8. táblázat: A nyírlugosi tartamkísérlet kiemelt kezelései (MTA TAKI)*

Kezelésszám	Kezelés kombináció	Összesített kezelés
17	Kontroll	Kontroll
23	N ₁	
18	N ₂	
1	N ₃	N
19	N ₂ P ₁	
9	N ₂ P ₂	
29	N ₂ P ₃	NP
20	N ₂ K ₁	
25	N ₂ K ₂	
30	N ₂ K ₃	NK
6	N ₂ P ₂ K ₂	NPK
31	N ₂ P ₂ K ₂ Ca ₂	NPKCa
16	N ₂ P ₂ K ₂ Mg ₂	NPKMg
32	N ₂ P ₂ K ₂ Ca ₂ Mg ₂	NPKCaMg

* A kezelések számszerű értékei az 1. mellékletben szerepelnek

Nekünk is igazodnunk kellett ehhez a vizsgálati koncepcióhoz így a továbbiakban csak ezeknek a kezeléseknak, az általunk kiválasztott kezelésekkal közös kezeléseinek elemzésével ill. termésre gyakorolt hatásával foglalkozunk.

A nyírlugosi tartamkísérletből talajmintákat két alkalommal, 1998-ban és 2001-ben vettünk. Mindkét évben, augusztus elején, a triticales betakarítása után. Az 1998-as talajminták 0,01 M-os CaCl_2 -ban oldható N-formáinak átlagértékei minden kezelésben a 3.-6. mellékletekben, míg a 2001-es talajminták adatai a 7.-10. mellékletekben láthatóak.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a két vizsgálati év adatai között lényeges eltéréseket a N-formák mennyiségének és eloszlásának tendenciáiban nem tapasztaltunk. Így kézenfekvő a két adatsor egymás melletti értékelése.

Eredményeink alapján megállapítható, hogy a N-kezelésekben és ezek kezelés kombinációinak többségében a talaj NO_3^- -N-tartalma a mélységgel növekvő tendenciát mutat (9. táblázat). Ez a mélységi tagozódás magyarázható a nitrácionok mozgékonyásával, lemosódási hajlamával.

9. táblázat: A 0,01 M CaCl_2 oldható NO_3^- -N mennyisége (mg/kg) a nyírlugosi tartamkísérlet kiemelt kezeléseinek talajaiban (1998-2001)

Kezelés	NO_3^- -N (mg/kg)					
	1998			2001		
	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
Kontroll átlag	0,29	0,14	0,26	0,11	0,04	0,60
N ₁	0,75	0,68	1,20	0,44	0,83	1,24
N ₂	0,30	1,10	1,13	2,17	3,41	4,48
N ₃	2,58	10,17	7,50	6,70	10,43	9,50
N ₂ P ₂	0,23	1,65	2,98	1,66	3,67	3,70
N ₂ K ₂	4,68	3,70	2,63	1,44	3,24	5,71
N ₂ P ₂ K ₂	0,40	0,73	0,93	0,88	1,88	2,26
N ₂ P ₂ K ₂ Ca ₂	4,95	6,90	6,15	2,04	5,48	5,37
N ₂ P ₂ K ₂ Mg ₂	1,15	1,90	2,03	3,04	6,87	4,93
N ₂ P ₂ K ₂ Ca ₂ Mg ₂	6,55	7,10	3,45	1,53	5,78	7,06
Átlag	2,19	3,41	2,83	2,00	4,16	4,49
SzD_{5%}	1,47	2,14	1,46	1,15	1,92	1,67

A kezeléshatások eredményeképpen megállapítható, hogy az egyoldalú N-trágyázási kezeléseknél a növekvő N-adagok arányában jelentősen növekedett mindhárom réteg NO_3^- -N-tartalma (LATKOVICSNÉ, 1994).

Az 1998-as évben, mindhárom rétegben, a kontroll kezeléshez képest szignifikáns különbséget csak az N₃ kezelés esetén kaptunk, míg 2001-ben már az N₂ kezelés is szignifikáns különbséget okozott. Az NP kezelés a két vizsgálati év viszonyában jelentős eltérést mutat, ami a mélységgel tompul. A 2001-es adatok mindhárom mélységben meghaladják az 1998-ban mért értékeket. A kontrollhoz képest, szignifikáns különbséget az NP kezelés csak 2001-ben okozott a talaj NO₃⁻-N-tartalmában. Az NK kezelés mindkét évben, minden rétegben jelentősen növelte a nitrát tartalmat. Az NPK kezelés, hacsak kismértékben is, de szintén növelte a vizsgált rétegek ill. teljes szelvény nitrát-N tartalmát a kontroll kezeléshez képest.

A meszezés és kezelés kombinációi jelentős és szignifikáns hatással voltak a talaj nitrát-N-tartalmára. Látható, hogy legerőteljesebb hatást a meszezés és a kalcium és magnézium együttes adagolása, illetőleg a legnagyobb dózisú nitrogénkezelés okozta a talaj nitrát-N tartalmában (9. táblázat).

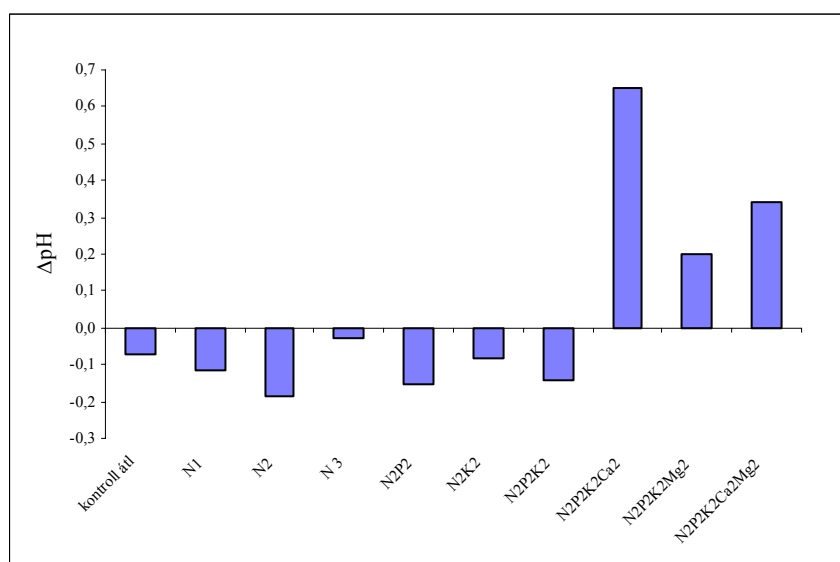
A hatás magyarázható egyrészt a talaj pH kedvező irányú, a nitrifikációt elősegítő megváltozásával másrészt az extrém nagy N-dózissal.

A meszezetlen és csak egyoldalú nitrogénnel trágyázott talajokon viszont a kedvezőtlen talaj pH (pH_(KCl)=3,4-3,6 ill. pH_(CaCl₂)=3,7-4,3) miatt a nitrifikáció gátolt, így a kezeléshatás csak mérsékelten érvényesült. Adataink jó egyezést mutatnak és megerősítik a korábbi tapasztalatokat (KÁDÁR et al., 1999; KÁDÁR és PUSZTAI, 1997).

A talaj pH-jában a vizsgált évek között bekövetkezett változások összhangban vannak a fentebbi megállapításokkal. Az 1998-as adatokhoz képest a talaj pH csak a meszezett parcellák esetén nőtt (Δ pH=0,08-0,34) a többi kezelés ill. kezeléskombináció esetén viszont, függően a kezeléstől csökkent (Δ pH=0,03-,19) (20. ábra).

A legnagyobb dózisú N₃ kezelésnél tapasztalt kismértékű pH csökkenés magyarázható azzal, hogy ennek a parcellának a pH-ja már 1998-ban is a legalacsonyabb (pH=3,74) volt és a tovább savanyodás mértéke lassúbb.

Az NP, NK és NPK kezeléseknél tapasztalt talajsavanyodás a meszezés szükségességét hangsúlyozza a már eleve savas pH értékkel rendelkező, kis pufferkapacitású, homoktextúrájú talajokon történő gazdálkodás esetén.



20. ábra: A talaj pH (CaCl_2) változása a nyírlugosi tartamkísérletben (1998-2001)

A talaj NH_4^+ -ion készletére és rétegenkénti eloszlására a következő megállapítások tehetőek. A talaj NH_4^+ -N tartalma - kis mozgékonyáságnak köszönhetően - a kezelések többségében a mélységgel csökken (10. táblázat). A vizsgált három rétegben sokkal egyenletesebb eloszlást mutat, mint a NO_3^- -N tartalom.

A kiegyensúlyozottabb eloszlás szintén a kisebb mértékű mozgékonyással magyarázható.

10. táblázat: A 0,01 M CaCl_2 oldható NH_4^+ -N mennyisége (mg/kg) a nyírlugosi tartamkísérlet kiemelt kezeléseinek talajaiban (1998-2001)

Kezelés	NH_4^+ -N (mg/kg)					
	1998			2001		
	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
Kontroll átlag	2,91	1,78	1,16	4,46	3,31	2,43
N ₁	3,43	3,13	2,28	5,85	4,77	6,05
N ₂	3,10	2,30	2,90	3,77	4,40	6,04
N ₃	7,05	3,80	2,38	14,77	3,90	2,45
N ₂ P ₂	3,08	2,15	1,53	3,77	3,71	2,68
N ₂ K ₂	3,37	2,37	2,18	4,46	4,35	3,02
N ₂ P ₂ K ₂	2,15	2,83	1,30	5,55	2,54	3,74
N ₂ P ₂ K ₂ Ca ₂	2,75	2,63	1,85	3,93	2,84	3,15
N ₂ P ₂ K ₂ Mg ₂	2,60	2,23	1,75	4,78	2,56	2,14
N ₂ P ₂ K ₂ Ca ₂ Mg ₂	2,55	2,25	1,73	3,07	4,05	3,81
Átlag	3,30	2,54	1,90	5,44	3,64	3,55
SzD _{5%}	0,85	0,36	0,33	2,10	0,49	0,88

A kezeléshatások tekintetében megállapítható, hogy a kontrollhoz képest, szignifikáns különbségeket – az N₃ kezelést kivéve - nem tudunk kimutatni a kezelések NH₄⁺-N tartalmában. Ebben a kezelésben, a feltalajban kiugróan nagy mennyiségű ammóniumion felhalmozódást mértünk, ami a nitrát-N és pH adatokkal összevetve szintén a csökkent mértékű nitrifikációra utal. Látható, hogy a meszezés és kombinációi sem voltak jelentős hatással a parcellák ammónium-N tartalmára. Ezek az eredmények összhangban vannak azokkal a szakirodalmi állításokkal, miszerint a kezeléshatást a talaj ammónium-N tartalmában nem lehet kimutatni, még tartamkísérletek esetén sem (BUZÁS, 1983b; NÉMETH, 1996).

A vizsgált talajok könnyen mobilizálható szerves-N mennyisége a feltalajban igen jelentős (4,1-7,3 mg/kg (1998) ill. 4,8-6,04 mg/kg (2001)), ami a mélységgel jelentősen csökken (11. táblázat). Ennek magyarázatául a mélységgel csökkenő szervesanyag-tartalom szolgálhat, illetőleg a feltalaj szerves frakciókban való feldúsulása, amit a kezelések termésre gyakorolt hatása és az ebből adódó gyökérmaradvány mennyiségének növekedése okoz.

11. táblázat: A 0,01 M CaCl₂ oldható szerves-N mennyisége (mg/kg) a nyírlugosi tartamkísérlet kiemelt kezeléseinek talajaiban (1998-2001)

Kezelés	szerves-N (mg/kg)					
	1998			2001		
	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
Kontroll átlag	4,18	3,80	2,21	5,45	4,08	3,13
N ₁	4,15	3,60	1,35	4,97	4,86	3,18
N ₂	4,98	3,53	1,60	5,90	7,52	2,98
N ₃	4,55	3,85	1,78	5,19	5,95	3,72
N ₂ P ₂	4,53	3,85	1,75	5,85	6,18	4,35
N ₂ K ₂	6,43	1,85	0,68	5,15	6,28	2,28
N ₂ P ₂ K ₂	4,75	4,15	2,50	5,77	4,92	4,16
N ₂ P ₂ K ₂ Ca ₂	4,98	3,23	0,90	6,04	4,79	1,92
N ₂ P ₂ K ₂ Mg ₂	5,63	4,80	1,65	5,67	4,81	4,05
N ₂ P ₂ K ₂ Ca ₂ Mg ₂	7,25	5,10	3,88	4,80	4,44	3,34
<i>Átlag</i>	<i>5,14</i>	<i>3,78</i>	<i>1,83</i>	<i>5,48</i>	<i>5,38</i>	<i>3,31</i>
SzD_{5%}	0,63	0,55	0,56	0,27	0,66	0,49

A mérési eredmények azt mutatják, hogy a feltalajban és az alsóbb rétegekben is jelentős mennyiségű szerves-N készlet alakulhat ki, amely potenciális résztvevője a mobilizációs és nitrifikációs folyamatoknak és így alapvető jelentőségű mind a növénytáplálás mind a környezeti hatások szempontjából.

A szerves-N formák mennyiségei a kezeléshatások tekintetében kiegyenlített értékeket mutatnak. Ez arra enged következtetni, hogy a szerves frakció kevésbé érzékenyen reagál a kezeléshatásokra, mint a NO_3^- -N tartalom.

A meszezéses kezelések általában szignifikánsan növelik a szerves-N tartalmat, de ez a hatás némely kezelés esetén nem kifejezett. A szerves-N és az ammónium-N mennyiségének kezelésenkénti változásait összevetve, megállapítható, hogy a 0,01 M CaCl_2 oldható szerves N-frakció jobban jelzi a kezeléshatást, mint az ammónium-N tartalom. A szerves frakció ezen tulajdonsága, és mennyisége felhívja a figyelmet a trágyázási szaktanácsadásban történő alkalmazhatóságának fontosságára és előnyeire.

A 0,01 M CaCl_2 -ban oldható összes-N mennyisége a mélységgel általában csökkenő tendenciát mutat, ez a vertikális eloszlás azonban kevésbé differenciált, mint az előbbieken említett frakciók esetén. Azaz a nitrát tartalom mélységi növekedését kompenzálja az NH_4 -N és szerves frakció ellentétes irányú mennyiségi változása a mélységgel. A 10. táblázat adatsoraiból látható, hogy a CaCl_2 -oldható összes-N mennyisége jól tükrözi a növekvő N-adagok és a meszezés hatását. Ez a tendencia azonban csak kisebb mértékben érvényesül a kiegészítő kezelésekkel kapcsolatban.

A 150 kg/ha-os N-adagot kapott parcella (N_3) altalajának kiugróan nagy összes-N tartalma rámutat, hogy a talaj olyan, fölös N-készlettel rendelkezik, amely környezetvédelmi és gazdaságossági szempontból egyaránt megkérdőjelezhető.

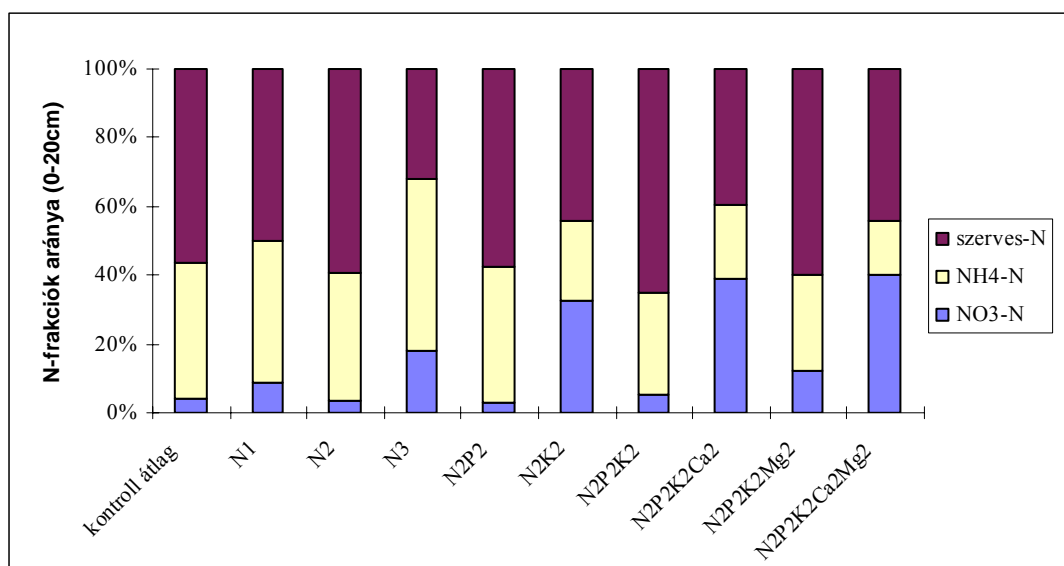
A meszezés kombinációk szintén szignifikánsan növelik a talaj összes-N tartalmát (12. táblázat). Ez a hatás azonban nem olyan mértékű, mint az N_3 kezelésé, továbbá ez a növekedés a mélységgel jelentősen tompul, azaz nem áll fenn a nitrogénformák (leginkább nitrát) mélyebb rétegekbe történő lemosódása.

Megállapítható, hogy a rétegenkénti és a kezeléshatásban mutatkozó tendenciák összemosódásának magyarázata ennél a frakciónál, az említett három forma mennyiségi változásainak összegzett hatásában keresendő.

12. táblázat: A 0,01 M CaCl₂ oldható összes-N mennyisége (mg/kg) a Nyírlugosi tartamkísérlet kiemelt kezeléseinek talajaiban (1998-2001)

Kezelés	összes-N (mg/kg)					
	1998			2001		
	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
Kontroll átlag	7,38	5,72	3,63	10,01	7,35	6,16
N ₁	8,33	7,40	4,83	11,26	10,45	10,46
N ₂	8,38	6,93	5,63	11,83	15,33	13,50
N ₃	14,18	17,82	11,65	26,67	20,28	15,66
N ₂ P ₂	7,83	7,65	6,25	11,28	13,55	10,74
N ₂ K ₂	14,47	7,92	5,48	11,05	13,87	11,01
N ₂ P ₂ K ₂	7,30	7,71	4,73	12,21	9,33	10,16
N ₂ P ₂ K ₂ Ca ₂	12,68	12,75	8,90	12,02	13,11	10,44
N ₂ P ₂ K ₂ Mg ₂	9,38	8,93	5,43	13,49	14,24	11,12
N ₂ P ₂ K ₂ Ca ₂ Mg ₂	16,35	14,45	9,05	9,40	14,27	14,21
Átlag	10,63	9,73	6,56	12,92	13,18	11,34
SzD _{5%}	2,12	2,43	1,54	3,08	2,21	1,63

Az előbbieket értelmében nem meglepő, hogy az említett N-formák mennyiségeinek, egymáshoz viszonyított aránya eltéréseket mutat mind a mélység, mind a kezelések függvényében. A jelenség a különböző N-formák eltérő mozgékonyásával és a kezeléshatásokkal indokolható (21.-24. ábrák).



21. ábra: 0,01 M CaCl₂-ban oldható N-frakciók aránya (0-20cm) (Nyírlugos 1998)

Látható, hogy a vizsgált három egyedi frakción belül a NO₃⁻-N/NH₄⁺-N arány erős kezelésfüggést mutat (21.-24. ábrák). A kontroll parcellák feltalajban mért kis nitrát/ammónium aránya (≈ 1/10 – 1/40) a teljes vizsgált rétegre vonatkoztatva sem

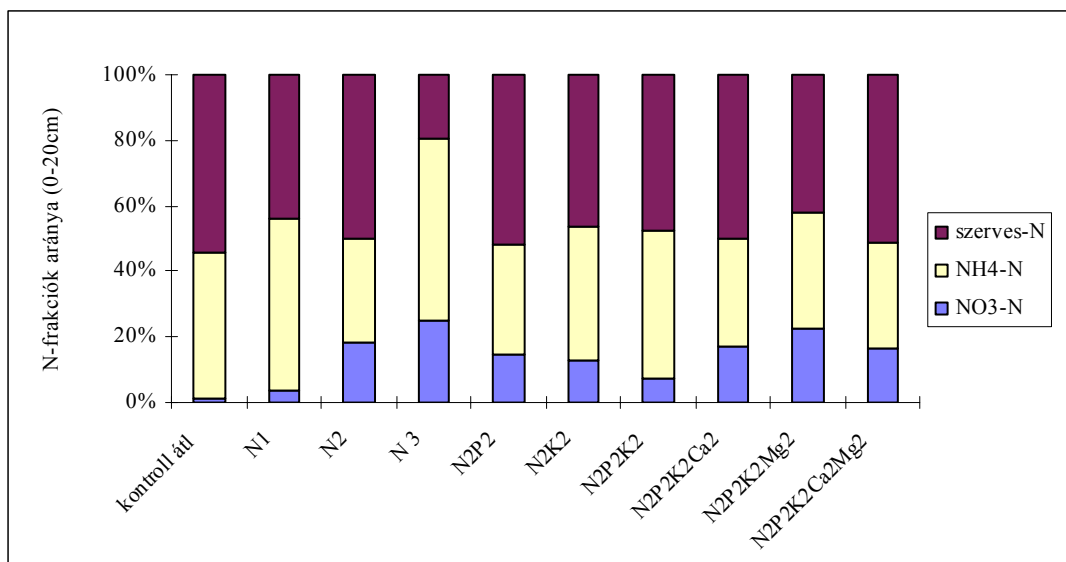
tompul és megerősíti a gátolt nitrifikáció tényét.

A legnagyobb N-adag nagy - a meszezett parcellák adataival összevethető - nitrát/ammónium aránya jelentősen változik a vizsgált rétegek függvényében.

A feltalajban mért 2/5 arány a teljes vizsgált rétegben megfordul: 3/2. A kapott eredmény az extrém nagy N-adaggal magyarázható. Látható, hogy a legnagyobb N-dózis, bár az ammónium-N mennyiségét is jelentősen növelte, döntően mégis a nitrát mennyiségre hatott. Az aránynak, a teljes vizsgált rétegben történő megfordulása jelzi a fölős N-trágyázás hatását a nitrogénformák egyensúlyának mélységi eltolódására.

A meszezés egyértelműen nitrát frakció részarányát növelte meg, jórészt az ammónium-forma rovására.

A nitrát/ammónium arány erős kezelésfüggése és összhangja a talaj pH értékével szintén alátámasztható a N-átalakulási folyamatok egyensúlyának eltolódásával.

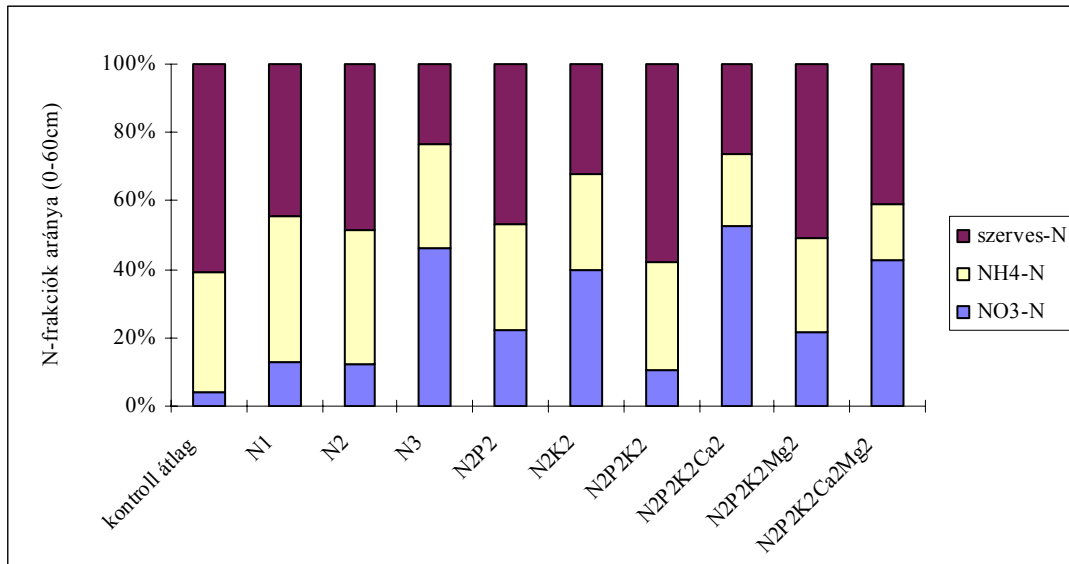


22. ábra: 0,01 M CaCl₂-ban oldható N-frakciók aránya (0-20cm) (Nyírlugos 2001)

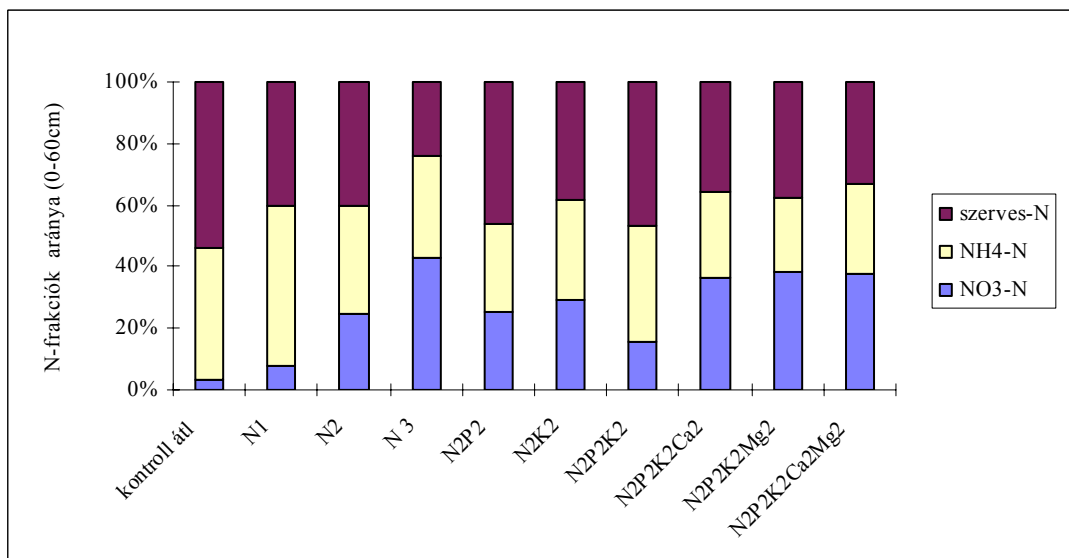
A kezeléshatás az egyes rétegekben külön-külön és a teljes vizsgált szelvényben egyaránt érvényesül. Külön figyelemre méltó, hogy a szerves-N frakció mennyisége a feltalajban a maximális N-adagot kapott kezeléstől eltekintve (ahol a szerves-N frakciók részaránya nagyobb) igen jelentős (40-65%). Amennyiben a teljes, általunk vizsgált réteget (0-60 cm) tekintjük, a szerves frakció mennyisége - a maximális N-adagot kapott kezeléstől szintén eltekintve - 26-60% között mozog (21.-24. ábrák).

A szerves frakció részaránya a mélyebb rétegekben tehát nem olyan domináns, mint a feltalajban, mennyisége mégis összemérhető a szerves-N formák mennyiségével.

Mennyisége számos kezelésben a szervesen formák összegét is meghaladja ill. vetekszik azzal. Megállapítható, hogy az egyes frakciók arányát döntően a kezelések határozzák meg. A mélység pedig, a N-formák eltérő mozgékonyága révén, módosító hatással van a frakciók részarányára.



23. ábra: 0,01 M CaCl₂-ban oldható N-frakciók aránya (0-60cm) (Nyírlugos 1998)



24. ábra: 0,01 M CaCl₂-ban oldható N-frakciók aránya (0-60cm) (Nyírlugos 2001)

Összegezve a két vizsgálati év adatait, megállapítható, hogy a kísérlet 0,01 M CaCl_2 oldható N-frakcióinak mennyiségére az évhatáson túl tendenciózus kezelés és mélység hatás érvényesül. Ezt erősítik meg - a függelékben található - variancia táblázatok adatai is (3.-12. mellékletek). 1998-ban, az összes kezelés viszonyában, a vizsgált N-frakciók mennyiségére, $P=0,1\%$ -os valószínűségi szinten, szignifikáns kezelés, mélység és kezelés*mélység kölcsönhatást kaptunk (3.-6. mellékletek).

A kiemelt kezeléseknél hasonlóan szoros összefüggéseket tudtunk kimutatni (11. melléklet). A 2001-es adatok összes kezelésre elvégzett varianciaanalízise szoros kezelés és mélység hatást bizonyított. Ellenben, kezelés*mélység kölcsönhatást egyik frakció esetében sem tudtunk kimutatni az F-próbával. A kiemelt kezelések variancia vizsgálatai ennek megfelelően alakultak (12. melléklet). Az ásványi frakciók erős kezelés és mélység hatást, a szerves forma csak mélység függést mutatott. Az összes-N mennyiségében viszont 0,1%-os valószínűségi szinten szignifikáns kezeléshatást kaptunk. A kezelés*mélység kölcsönhatást az NH_4^+ -N frakción kívül, nem tudtunk kimutatni.

Megállapítható továbbá, hogy a kontroll kezelések talajaiban mérhető a legkisebb nitrát-N koncentráció, míg az ammónium-N és a szerves-N mennyisége ebben a kezelésben, mind a feltalajban mind a vizsgált teljes rétegben jelentős.

Az egyoldalú N-kezelések jelentősen növelik mind a 0-20, mind a 0-60 cm-es réteg nitrát-N tartalmát és csökkentik a szerves-N mennyiségét.

A meszezetlen NP, NK és NPK kezelésekből, a kontrollhoz képest, kiegyensúlyozottabb nitrát/ammónium/szerves-N arányt mértünk.

A meszezés és kombinációi - a talaj pH eltolása révén - kedveznek a NO_3^- -N tartalom növekedésének, ami elsősorban az NH_4^+ -N tartalom csökkenését és a szerves-N tartalom mérséklődését vonja maga után (nitrifikáció).

Vizsgálataink megerősítették azokat a korábbi tapasztalatokat, amelyek szerint a kis pufferkapacitású, a műtrágyázás kedvezőtlen hatásaira érzékenyebb homoktalajok esetén a tápanyagfelvétel szempontjából lényeges átalakulási folyamatok megfelelő mértékű lejátszódása csak az adottságokhoz és igényekhez igazodó mértékű és talajtulajdonságot javító kombinált trágyázással biztosítható.

Bizonyítottuk továbbá, hogy a 0,01 M CaCl_2 oldható N-frakciók alkalmasak a változások nyomon követésére, a talaj jellemzésére.

4.2.2. A 0,01 M CaCl₂-ban oldható N-frakciók és a triticales terméseredmények összefüggései (Nyírlugos)

A kezeléseknek a termésre gyakorolt hatásával kapcsolatban számos publikáció látott napvilágot az elmúlt években (KÁDÁR és SZEMES (1994), KÁDÁR et al., (1998, 1999)). A dolgozatban ezért elsősorban a kapott talajvizsgálati eredmények és a triticales termés kapcsolatát vettük górcső alá, a hangsúlyt a N-vizsgálati eredményekre helyezve.

A talajban lévő könnyen oldható N-formák mennyisége és a terméseredmények között elvégzett kovariancia- ill. korrelációanalízis többnyire gyenge, nem szignifikáns kapcsolatot jelzett. A termés nagyságát ugyanis számos tényező együttesen határozza meg, és hatásuk súlyozottan érvényesül. Rontja az összefüggést az is, hogy az N₃ (N₂) kezelések termésdepressziót okoznak.

Ezért az eredmények értékelése során kénytelenek voltunk bizonyos csoportosítást végezni a kiemelt kezelések között azért, hogy a vizsgált talajparaméterek termésre gyakorolt hatását statisztikailag kezelni és bizonyítani tudjuk.

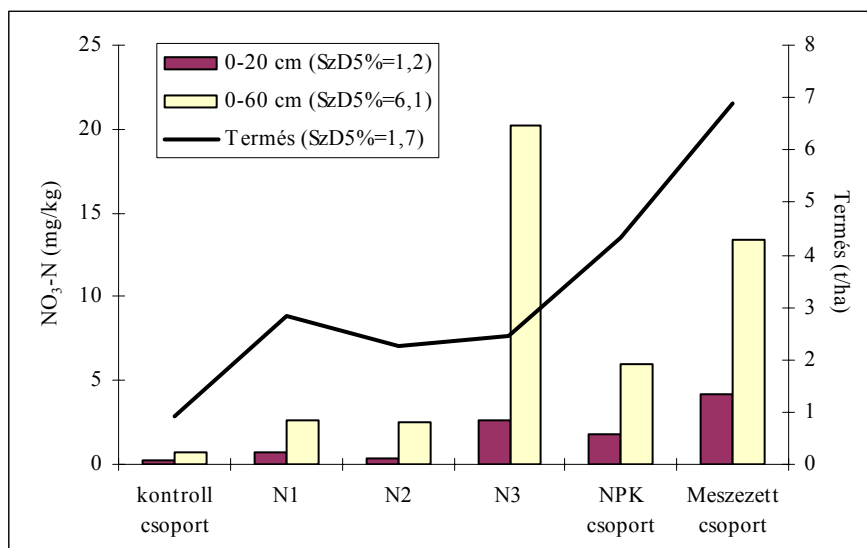
Ennek alapján hat kezeléscsoportot különítettünk el.

A kontroll csoportot a két kontroll kezelés, az NPK csoportot az N₂P₂, N₂K₂ és N₂P₂K₂ kezelés, illetőleg a meszezett csoportot az N₂P₂K₂Ca₂, N₂P₂K₂Mg₂ és N₂P₂K₂Ca₂Mg₂ kezeléssel képeztük. Az egyedi N-kezeléseket azért nem vontuk össze, mert ezeknél a kezeléseknél a kijuttatott N-adag eltérő volt és összevonásukkal a N-adagok hatását nem tudtuk volna vizsgálni (25.-32. ábrák).

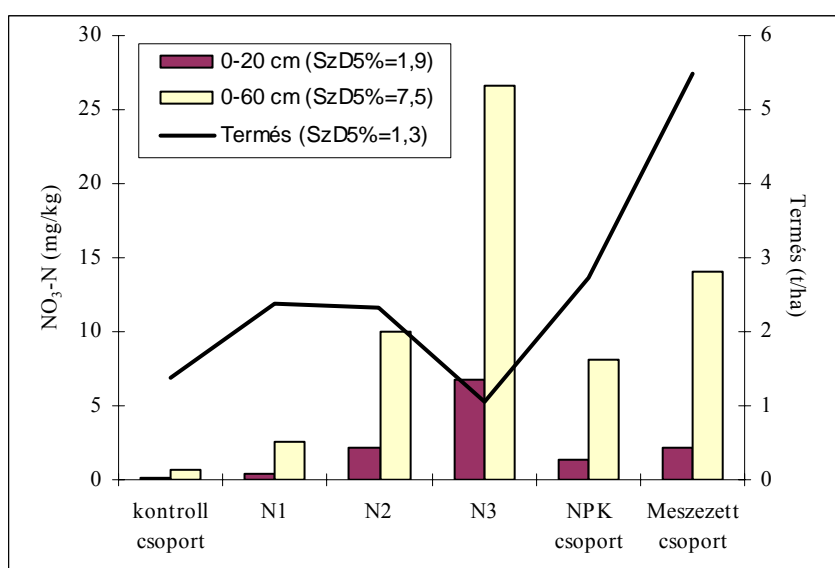
Statisztikailag elemeztük a kezeléscsoportokon belül a feltalaj és a vizsgált teljes réteg N-formáinak és a termés mennyiségének kapcsolatát mindkét kísérleti évben.

A két év viszonylatában alapvető eltéréseket a kezelések tendenciáit illetően nem tapasztaltunk, így a kapott eredmények értékelését együttesen végezhetjük el.

A kapott adatok alapján megállapítható, hogy a triticales termés nagysága a kontroll csoporthoz képest az egyoldalú N-kezeléseket kivéve minden kezelés ill. kezeléscsoportban szignifikánsan nagyobb. A kezelések termésmenvelő ill. az említett kezelések termést csökkentő hatása jól magyarázható mind a feltalaj mind a vizsgált teljes réteg N-formáinak mennyiségi viszonyaival.



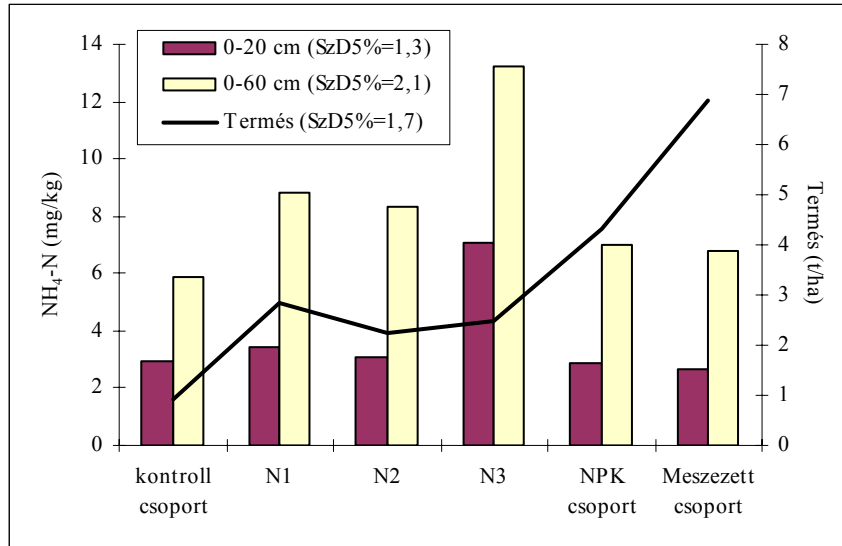
25. ábra: A 0,01 M CaCl₂-ban oldható NO₃⁻-N mennyiségének kapcsolata a triticales terméseredményekkel (Nyírlugos 1998)



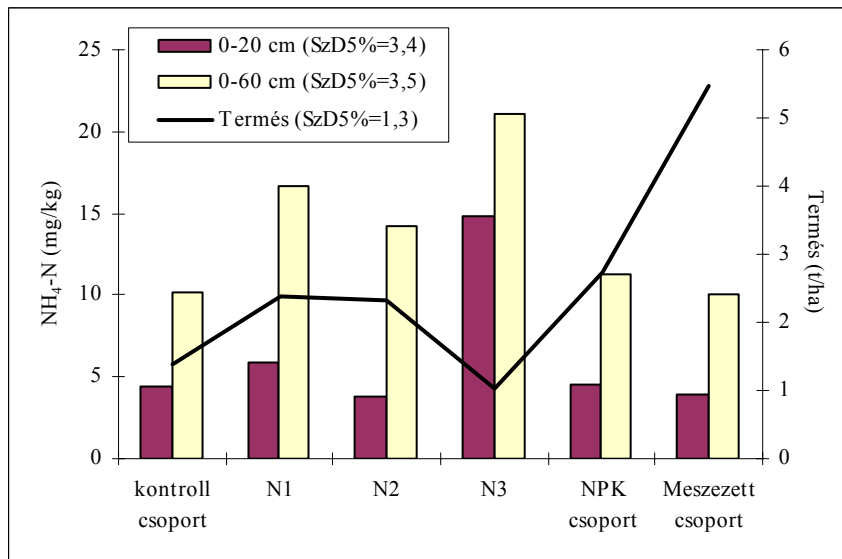
26. ábra: A 0,01 M CaCl₂-ban oldható NO₃⁻-N mennyiségének kapcsolata a triticales terméseredményekkel (Nyírlugos 2001)

Az egyoldalú N-kezelések csoportjában megállapítható, hogy a legnagyobb termést már az 50kg/ha-os N₁ kezelés biztosítja (25.-32. ábrák). Az emelkedő N-adagok növelik ugyan a talaj oldható N-készletét, de ez a növekedés elsősorban a nagy mozgékonyságú és éppen ezért könnyen kimosódó, alsóbb rétegekbe kerülő szervesetlen NO₃⁻-N forma mennyiségében jelentkezik. Az egyoldalúan 50kg/ha N-adag fölé növelt kezelések tehát döntően, csak az alsóbb rétegek N-tartalmát növelik meg és ráadásul termésdepressziót

okoznak, ami növénytáplálási és környezetvédelmi szempontból erősen kifogásolható (25.-32. ábrák). Az NPK és meszezett csoportok a kontrollhoz képest szignifikáns terméstöbbletet okoznak, ami jól korrelál a NO_3^- -N tartalomban bekövetkezett változásokkal.



27. ábra: 0,01 M CaCl_2 -ban oldható NH_4^+ -N mennyiségének kapcsolata a triticales terméseredményekkel (Nyírlugos 1998)



28. ábra: 0,01 M CaCl_2 -ban oldható NH_4^+ -N mennyiségének kapcsolata a triticales terméseredményekkel (Nyírlugos 2001)

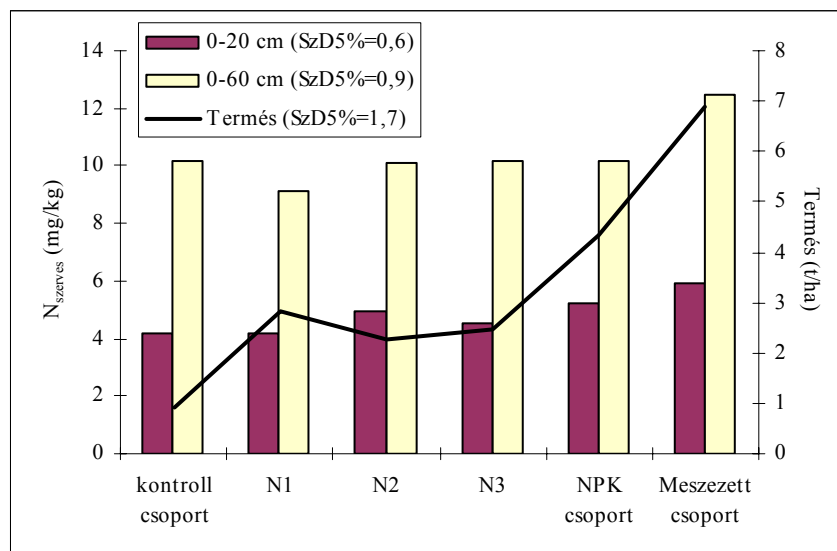
A pozitív korreláció a nitrát tartalom és a terméseredmények között rámutat, hogy terméstöbbségért a könnyen oldható N-frakciók közül elsősorban a nitrát felelős.

Az eredmények a nitrát- és ammóniumtáplálásban jelenlévő különbségekkel jól magyarázhatók. Bizonyítható tehát, hogy erősen savanyú közegben (pH≈4) a nitráttáplálás jelentősége megnő (25.-26. és 27.-28. ábrák).

A legnagyobb és termésadatok alapján túlzottnak mondható NH₄-N koncentráció a 150kg/ha-os N₃ kezelésben fordult elő (27.-28. ábrák). Az egyoldalú N-trágyázás terméstöbbségét nem okozott csak a talaj ammónium-ion készletét növelte meg.

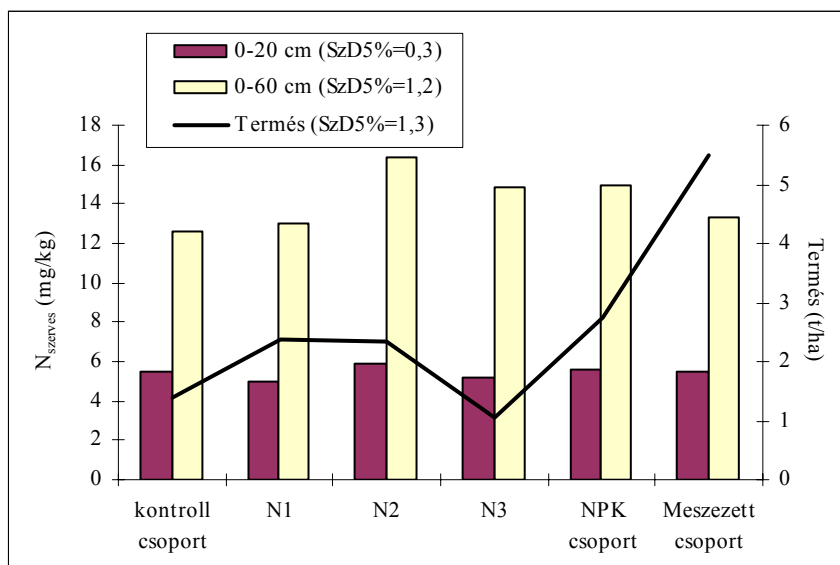
A 27.-28. ábrákon látható, hogy az NPK és meszeztett kezeléscsoportok termés növekedéséért nem az NH₄-N frakció a felelős.

Ami a könnyen oldható szerves-N készletet jelenti, a növekvő N-adagok szignifikánsan nem növelik ennek a frakciónak a mennyiségét (29.-30. ábrák).



29. ábra: 0,01 M CaCl₂-ban oldható szerves-N mennyiségének kapcsolata a triticales terméseredményekkel (Nyírlugos 1998)

Azaz a többlet nitrogén elsősorban a szerves N-készletre van hatással. A kialakuló termésdepressziót ezért a növekvő N-adagok hatására a talajtulajdonságokban bekövetkező változások (pH csökkenés) és az eltolódó N-egyensúlyi viszonyok okozzák.

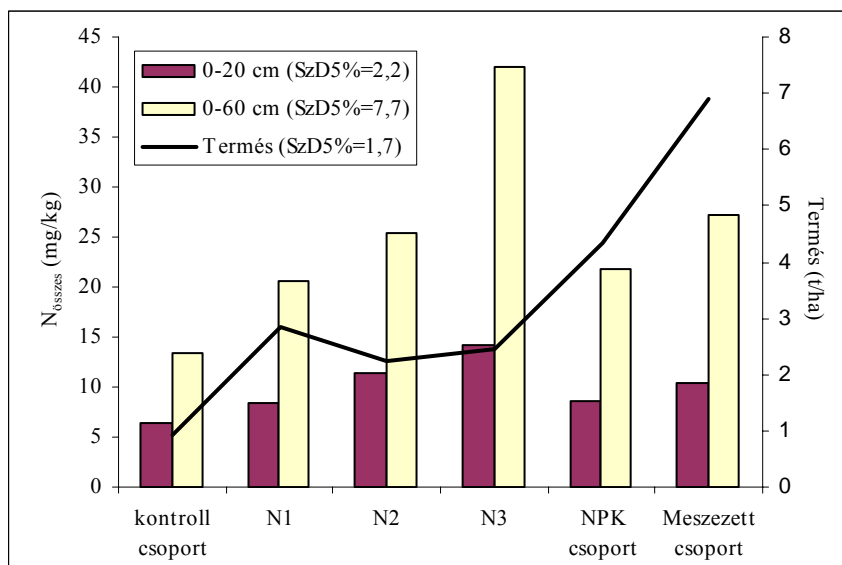


30. ábra: 0,01 M CaCl₂-ban oldható szerves-N mennyiségének kapcsolata a triticales terméseredményekkel (Nyírlugos 2001)

Az azonos (N₂) szinten alkalmazott NPK és meszeztett kezeléscsoport szignifikánsan növelte a feltalaj szerves-N tartalmát és a termés nagyságát is. 1998-ban a teljes vizsgált rétegben a kontrollhoz képest csak a meszezésnek volt szignifikáns hatása a szerves-N frakcióra, ami a termés növekedésében is megnyilvánul (29. ábra).

Az összes-N tartalomnak a triticales terméssel való kapcsolata jól szemlélteti a korábban megállapítottakat (31. és 32. ábrák). Az N₁ kezelési szintnek megfelelő mennyiségű N-frakciók elegendőek a legnagyobb termés kialakításához. A többlet nitrogén adagok a termést nem, csak az oldható N-frakciók mennyiségét növelik meg. A növekedés a potenciálisan veszélyesnek minősülő nitrát mennyiségét érinti leginkább. Adatainkból megállapítható, hogy az adott talajtípuson egyoldalú N-kezeléseknél 50 kg/ha, kombinált kezeléseknél 100 kg/ha N adag elegendő a maximális triticales termés kialakításához.

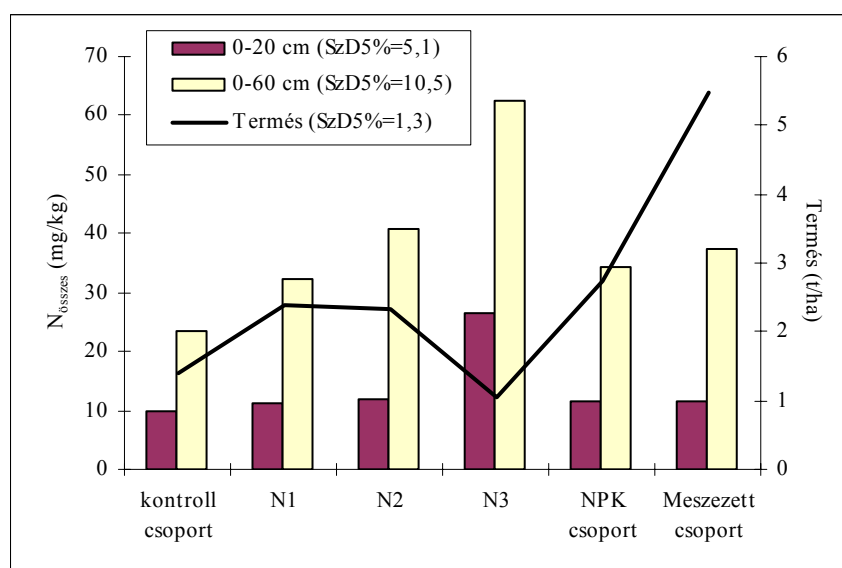
A könnyen oldható összes-N mennyisége a feltalajban kevésbé függ az alkalmazott kezelésektől. Jelentősebb kezeléshatás csak a vizsgált teljes rétegben jelentkezik és itt is csak az egyoldalú N-kezelések eredményeképpen. Ez a tendencia a kapott termésadatok jelentős kezelésfüggésével összevetve azt jelenti, hogy a 0,01 M CaCl₂ oldható összes-N tartalom kevésbé alkalmas a várható terméseredmények megállapítására, mint a mért N-frakciók, kiváltképp a nitrát-N és szerves-N tartalom. A bemutatott ábrák és a statisztikai próba is egyértelműen bizonyítják, hogy a meszeztett kezeléscsoport van a legnagyobb hatással a termés mennyiségére (11. és 12. melléklet).



31. ábra: 0,01 M CaCl₂-ban oldható összes-N mennyiségének kapcsolata a triticale terméseredményekkel (Nyírlugos 1998)

A meszezés szignifikánsan növeli mind a feltalaj mind a vizsgált teljes réteg NO₃⁻-N és szerves-N tartalmát is. A meszezés termésnövelő hatása a kontroll kezeléshez képest négy-hétszeres, az NPK csoporthoz képest pedig megközelíti a kétszeres szorzót.

Ez azt bizonyítja, hogy a kis pufferkapacitású, elsavanyodásra hajlamos talajok esetén a megfelelő N-adag kiválasztása mellett a foszfor és káliumtrágyázáson kívül fokozott hangsúly kell fektetni a kémhatás viszonyok rendezésére is.



32. ábra: 0,01 M CaCl₂-ban oldható összes-N mennyiségének kapcsolata a triticale terméseredményekkel (Nyírlugos 2001)

4.2.3. A trágyázás hatása a 0,01 M CaCl₂-ban oldható N-formák mennyiségére (Westsik)

A 2000-es év talajvizsgálati eredményei alapján megállapítható, hogy az összes kezelés esetén a talaj NO₃⁻-N tartalma a mélységgel növekvő tendenciát mutat.

Ez a mélységi tagozódás magyarázható a nitrát-ionok nagy mozgékonyásával, lemosódási hajlamával (13. táblázat).

A 2001-es és 2002-es években nem tapasztaltunk ilyen egyértelmű összefüggést a talaj NO₃⁻-N tartalma és a mélység között.

A nitrát mélységi eloszlásában a legnagyobb kezelésenkénti különbségeket 2001-ben, míg a legkisebbeket 2002-ben mértük. Megállapítható továbbá, hogy a feltalaj NO₃⁻-N tartalma 2000-ben szignifikánsan kisebb volt, mint 2001- ill. 2002-ben. Értéke a kezelések átlagában, 2000-ben 1,6 mg/kg, 2001- és 2002-ben 3,8 ill. 5,2 mg/kg. Természetesen az egyes kezelések között jelentős eltérések mutatkoztak.

A 20-40 cm-es réteg NO₃⁻-N koncentrációja átlagban csak 2000-ben haladta meg a feltalajban mért értékeket, 2001- és 2002-ben lényeges eltérések nem adódtak a rétegek NO₃⁻-N tartalmában, sőt némely kezelés esetén a feltalajban nagyobb nitrát koncentrációt mértünk. Ugyanakkor a vizsgált évek adatai alapján megállapítható, hogy a kezelések többségében 2002-ben kaptuk a legmagasabb nitrát koncentrációt, ami a vizsgált időszak csapadékviszonyaival magyarázható.

A 40-60 cm-es réteg nitrát vizsgálati adatai, átlagban, szignifikánsan nem különböznek a felsőbb rétegek adataitól. Átlagosan 2,0-5,3 mg/kg közötti értékeket mértünk.

Ebben a rétegben a kezelések többségében, 2002-ben mértük a legnagyobb NO₃⁻-N tartalmat, míg a 2001-es év adatai szinte minden kezelésben a legkisebbnek adódtak.

Összefoglalóan megállapítható, hogy a vizsgált években a talaj nitrát-N tartalmában egyértelmű mélységfüggést csak 2000-ben kaptunk és a vizsgált évek évenkénti hatása kimutatható volt.

A talaj nitrát-N tartalmában a kezeléshatások tekintetében a következő megállapítások tehetőek:

A feltalaj 0,01 M CaCl₂ oldható NO₃⁻-N tartalma 2000- és 2002-ben a kontroll kezelés (F-1) mellett az F-2, F-3 ill. F-9-es kezelésben volt a legkisebb, 2001-ben pedig szintén az F-1, F-2, F-3 és az F-15 kezelésben.

13. táblázat: A 0,01 M CaCl₂ oldható NO₃⁻-N mennyisége a Westsik tartamkísérlet vetésforgóinak talajaiban (2000-2002).

kezelés	NO ₃ ⁻ -N (mg/kg)								
	2000			2001			2002		
	Rétegek (cm)			Rétegek (cm)			Rétegek (cm)		
	0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60
F-1	0,60	0,88	1,84	3,21	1,23	1,04	2,35	2,60	3,24
F-2	0,72	1,13	1,71	2,04	2,13	1,14	1,94	1,77	1,50
F-3	1,31	1,72	2,40	1,83	1,68	0,78	2,41	2,28	2,11
F-4	1,81	2,13	3,66	4,56	1,90	1,13	4,00	3,75	3,63
F-5	1,96	2,30	3,64	3,02	4,88	1,50	4,04	4,85	6,00
F-6	2,27	2,99	4,91	4,68	5,73	2,33	6,41	8,92	9,08
F-7	1,96	3,12	3,30	1,72	1,48	1,17	5,32	3,62	3,63
F-8	2,34	4,43	8,20	8,75	4,76	3,43	13,77	6,74	5,18
F-9	0,54	0,76	1,33	2,58	2,15	1,41	3,54	3,65	3,41
F-10	1,26	2,12	2,97	4,62	3,46	3,26	5,48	6,11	6,81
F-11	1,66	2,87	4,67	4,45	4,55	3,43	7,10	7,72	8,55
F-12	1,88	2,59	2,87	2,20	1,94	1,08	4,33	7,92	9,06
F-13	1,29	2,01	3,11	3,75	1,56	1,16	5,81	6,72	11,23
F-14	1,78	2,28	3,37	7,83	2,75	5,74	7,86	5,72	3,53
F-15	2,20	3,53	4,13	1,48	5,62	0,81	3,76	2,80	1,88
Átlag	1,57	2,32	3,47	3,78	3,06	1,96	5,21	5,01	5,26
SzD _{5%}	0,30	1,09	1,49	0,50	0,82	1,15	0,84	0,71	1,54

A kontroll, parlagoltatásos vetésforgó adatai önmagukért beszélnek. Az F-2, F-3 vetésforgók alacsony NO₃⁻-N tartalma magyarázható azzal, hogy ezekben a kezeléseknél fővetésű csillagfűt szerepel a burgonya N-szolgáltatójaként, kis mennyiségű N-műtrágya kiegészítéssel. A 2001-es év kis nitrát koncentrációja az F-15 kezelésben abból adódik, hogy az F-15 kezelés a saját kezeléscsoportjában kontrollnak számít, műtrágyázásban nem részesül.

Az F-4-5-6 vetésforgókban a NO₃⁻-N tartalom mindhárom évben nagyobb, mint a fentebbi kezeléseknél majd az F-7-es kezelésben kis mértékű csökkenés tapasztalható. Az F-4-7 szalmatrágyázásos kezeléscsoporton belüli, F-7-es vetésforgó kisebb NO₃⁻-N tartalma azzal magyarázható, hogy a kezelés, a vízzel erjesztett szalmatrágyán kívül más tápanyagot nem kap így csoporton belüli kontrollként is felfogható.

A feltalajban a legnagyobb NO₃⁻-N tartalmat az F-8 kezelés szolgáltatta mindhárom vizsgált évben.

Ebben a kezelésben a csillagfűt kétszer is szerepel a burgonya előtt ráadásul jelentősebb műtrágyázással kiegészítve. Az F-10-12 jelzésű vetésforgók esetén a feltalaj NO₃⁻-N tartalma a kontrollhoz képest nagyobb, a vizsgált évek viszonylatában azonban változatos képet mutat. Az F-13-15 kezeléscsoporton belül az F-15-ös kezelés kontroll

jellege a 2000-es év adataitól eltekintve markánsan jelentkezik. A vetésforgó csoporton belül az F-14-es esetében mértük a legnagyobb nitrát koncentrációt mindhárom évben. Adatait összehasonlítva az F-13-as kezelésben kapottakkal, ez azt jelentheti, hogy az őszi leszántás azokban az években, amikor a csapadékhiány miatt kisebb a lemosódás veszélye ill. kisebb deflációs veszteség merül fel, kedvezőbb lehet az elővetemény hosszabb átalakulási, lebomlási ideje miatt. Ezzel összefügg a szerves-N mennyiségi viszonyainak épp fordított aránya a két vetésforgóban, továbbá (LAZÁNYI, 2003) azon megállapítása, hogy a másodvetésű csillagfürt zöldtömege és trágyahatása erősen függ az időjárási viszonyoktól.

A mélyebb rétegekben a kezeléshatások kiegyenlítettebben jelentkeztek.

A 20-40 cm-es rétegben a kezeléshatások kevésbé differenciáltan érvényesültek, szignifikáns eltérések, a vizsgált évek adatai között, csak bizonyos kezeléseknél mutatkoztak. A kontroll kezeléshez képest az F-2-6 kezeléseknél fokozatosan növekvő nitrát koncentrációt mértünk ebben a rétegben. Kiugróan nagy volt az F-6-os kezelés NO_3^- -N tartalma a 2002-es évben. Az F-7 kezelés kis nitrát koncentráció értékei hasonlóan a feltalajban tapasztaltakhoz a kezelés csoporton belüli kontroll jellegéből adódnak. Figyelemre méltó az F-8 és az F-10-14 vetésforgók kiemelkedő nitrát koncentráció értékei, ami a vetésforgók megfelelő tápanyag szolgáltatási képességét jelzi. Az F-8 jelzésű vetésforgó kiemelkedő nitrát koncentrációi összhangban vannak KÁTAI et al. (1999) azon megállapításaival, mely szerint a nyári, aszályosabb időszakban csak bizonyos kezeléseknél mérhető jelentős mennyiségű nitrifikáló baktérium (F-8, F-12). A 40-60 cm-es réteg kezelésenkénti vizsgálati adataiban hasonló tendenciák érvényesültek, mint az említett felsőbb rétegekben. Az F-8 kezelés mellett az F5-6 ill. F10-13 kezeléseknél mértük a legnagyobb NO_3^- -N tartalmat. Az F2-3, F-9 és F-15 kezelés NO_3^- -N értékei ezektől a kezelésektől - szintén - elmaradtak. Ebben a mélységben is kifejezett volt a 2002-es év nagy NO_3^- -N koncentráció értékei. A kapott adatok magyarázhatóak a vizsgált évek csapadék viszonyaival illetve a 2002-es év nyarának bőséges csapadék mennyiségével. A három év közül a 2001-es volt a legcsapadékosabb, ami szintén elősegítette a nitrát mélységi elmozdulását.

Összefoglalóan tehát megállapíthatjuk, hogy a talaj nitrát-N tartalma a talajtulajdonságoknak megfelelően alacsony, rétegenként jelentős eltérést csak bizonyos kezeléseknél mutat. A kezeléshatások az egyes csoportokon belül és a kontrollhoz képest is érvényesítik hatásukat és ez a hatás a mélyebb rétegekben sem tompul számottevően.

A 0,01 M CaCl₂ oldható NH₄⁺-N tartalom a nitráttal ellentétesen, a mélységgel csökkenő tendenciát mutat mindhárom év összes kezelése esetén (14. táblázat).

Ez a mélységi tagozódás - hasonlóan a nyírlugosi kísérlet adataihoz - az NH₄⁺-ionok kisebb mozgékonyásával függ össze.

A vizsgált évek viszonyában megállapítható, hogy a 2001-es év adatai mindhárom vizsgált rétegben és a kezelések átlagában is meghaladják a másik két év adatait. Ez arra enged következtetni, hogy a mineralizációs folyamatok feltételei kedvezőtlenek, amit az adott év nyári csapadékbősége is alátámaszt.

14. táblázat: A 0,01 M CaCl₂ oldható NH₄⁺-N mennyisége a Westsik tartamkísérlet vetésforgóinak talajaiban (2000-2002).

kezelés	NH ₄ ⁺ -N (mg/kg)								
	2000			2001			2002		
	Rétegek (cm)			Rétegek (cm)			Rétegek (cm)		
	0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60
F-1	2,79	2,43	1,46	4,75	2,72	2,14	0,10	0,02	0,02
F-2	2,30	1,53	1,23	5,18	5,12	2,88	0,66	0,17	0,03
F-3	2,92	2,27	1,54	3,59	3,03	2,50	1,13	0,83	0,46
F-4	3,24	2,39	1,50	4,89	3,92	3,50	1,78	1,08	0,54
F-5	2,89	2,26	1,52	4,89	5,80	2,68	1,78	1,23	0,75
F-6	3,86	3,56	2,04	4,56	3,94	2,67	2,25	1,89	1,25
F-7	2,81	2,59	1,81	3,97	2,68	2,21	2,02	1,26	1,33
F-8	3,79	3,30	2,12	4,09	2,71	1,51	4,34	1,26	0,00
F-9	3,31	2,70	1,63	3,88	3,10	2,40	1,93	1,39	0,58
F-10	2,69	2,30	1,50	4,58	2,95	2,52	1,69	1,55	0,87
F-11	2,86	2,39	1,71	4,49	4,88	3,01	2,06	1,39	0,78
F-12	2,79	2,39	1,80	5,86	5,78	1,97	1,82	1,31	1,04
F-13	2,99	2,56	1,73	5,73	3,30	1,87	2,57	3,53	5,30
F-14	3,20	2,09	1,38	9,47	3,17	4,29	2,96	3,48	1,05
F-15	4,09	3,06	1,29	6,91	8,30	3,26	4,39	1,94	1,40
<i>Átlag</i>	<i>3,10</i>	<i>2,52</i>	<i>1,62</i>	<i>5,12</i>	<i>4,09</i>	<i>2,63</i>	<i>2,10</i>	<i>1,49</i>	<i>1,02</i>
SzD_{5%}	0,25	0,75	0,59	0,25	0,81	0,49	0,13	0,36	0,64

Legkisebb értékeket rétegenként és kezelésként egyaránt a 2002-es évben kaptunk, ami a nagyobb mértékű mineralizációs folyamatokkal magyarázható.

Az NH₄⁺-N tartalom a feltalajban kezelés átlagonként 2,1-5,1 mg/kg között mozgott a vizsgált években.

A 20-40 cm-es réteg NH₄⁺-N tartalma szignifikánsan csak néhány kezelés esetén különbözött a 0-20 cm-es rétegetől, átlagosan 1,5-4,1 mg/kg-nak adódott.

A 40-60 cm-es rétegben mértük a legkisebb ammónium-N koncentrációt, átlagosan 1,0-2,6 mg/kg-ot.

A talaj NH_4^+ -N tartalmára a kezeléshatások tekintetében a következő megállapítások tehetők.

A feltalajban a kontroll parcella NH_4^+ -N tartalma - a 2002-es évtől eltekintve, amikor feltűnően kis értéket mértünk - szignifikánsan nem különbözött a kezelések többségében mért értékektől. Ez összhangban van a nyírlugosi talajvizsgálati adatokkal és megerősíti azokat a véleményeket, hogy az ammónium-N tartalom kevésbé függ a kezelések hatásától, mint nitrát-N tartalom. Az ammónium-N tartalomban az F-2-6 kezelésekben kismértékű növekedést majd az F-7 kezelésnél csökkenést tapasztaltunk. Az F-8 kezelésben, mindhárom évben jelentős mennyiségű NH_4^+ -N tartalmat mértünk. Az F-10-15 jelzésű vetésforgókban az NH_4^+ -N koncentráció kismértékben nő, ahogy haladunk a nagyobb számú kezelés felé.

Kiugróan nagy értéket kaptunk 2001-ben az F-14-es vetésforgóban.

A 20-40 cm-es réteg NH_4^+ -N tartalmában bekövetkezett változások követik a feltalajban ismert tendenciákat. Kiemelkedő értéket az F-2, F-5, F-11, F-12 és F-15 kezelésekben (5,1-8,3 mg/kg) mértünk de csak 2001-ben.

A 40-60 cm-es réteg NH_4^+ -N tartalma a kezelések függvényében kiegyensúlyozott képet mutat. Feltűnő az F-1, F-2 és F-8 kezelések nem mérhető ammónium-N koncentrációja a 2002-es évben.

Összegzésként megállapítható, hogy a talaj ammónium-N-mennyisége a mélységgel egyértelmű csökkenő tendenciát mutat, viszont szignifikáns kezeléshatások csak néhány kezelés között mutathatóak ki. A vizsgált évek közötti eltérések többnyire felülmúlják az egyes kezelések hatásait.

Vizsgálataink során mért adatokból megállapítható, hogy a 0,01 M CaCl_2 oldható szerves-N mennyisége a mélységgel kismértékben csökkenő tendenciát mutat (15. táblázat). Értéke a három év kezelésenkénti átlagában 3,4 mg/kg-ról 2,2 mg/kg-ra csökken. Ez azt mutatja, hogy a szervesanyag-tartalom a vizsgált 0-60 cm-es rétegben egyenletesen oszlik meg. Ez a csökkenés kifejezettebb, ha a felső két és a harmadik vizsgált réteg közötti adatokat tekintjük (LAZÁNYI, 1994). A csökkenés magyarázható a kísérletben alkalmazott szervestrágyázási gyakorlattal. A kezelések során a talajba juttatott szervesanyag, ugyanis ebbe a rétegbe kerül bemunkálásra.

Megállapítható, hogy éves bontásban az adatok között olyan mértékű különbségeket, mint a szerves, elsősorban NO_3^- -N formák között adódott - nem tapasztaltunk.

Az évenként mért adatok kisebb ingadozása előrevetíti, hogy ez a N-frakció valamivel kisebb mértékben érzékeny a külső tényezőkre, az évjárat hatására.

A 0,01 M CaCl₂ oldható szerves-N mennyiségének kezelésfüggésére, mélységtől függetlenül, hasonló megállapítások tehetők, mint a szervetlen formákra.

15. táblázat: A 0,01 M CaCl₂ oldható szerves-N mennyisége a Westsik tartamkísérlet vetésforgóinak talajaiban (2000-2002).

kezelés	szerves-N (mg/kg)								
	2000			2001			2002		
	Rétegek (cm)			Rétegek (cm)			Rétegek (cm)		
	0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60
F-1	2,21	2,36	1,67	1,87	1,34	0,72	2,09	1,83	1,47
F-2	2,20	1,96	1,54	2,51	2,42	1,89	2,04	1,69	1,33
F-3	2,84	2,87	2,19	2,22	1,59	1,03	3,01	2,52	2,23
F-4	2,20	2,08	1,34	2,88	2,54	1,64	3,53	2,87	2,28
F-5	3,31	3,20	2,17	6,21	5,39	3,91	4,00	3,63	2,52
F-6	4,30	4,04	2,79	4,40	4,47	3,27	4,75	4,50	3,11
F-7	3,47	3,40	2,19	3,37	2,72	1,99	3,47	3,27	2,89
F-8	4,84	4,74	2,87	4,54	4,28	2,47	4,65	3,82	2,80
F-9	2,96	3,01	1,99	2,57	1,37	0,53	3,35	3,12	2,38
F-10	3,63	3,51	2,51	3,62	2,00	1,09	3,68	3,87	3,21
F-11	4,28	4,22	3,10	4,25	4,43	3,22	3,59	3,67	2,59
F-12	4,12	4,11	3,33	3,32	3,06	1,52	2,94	2,55	2,23
F-13	4,37	4,14	2,96	3,76	3,75	2,29	4,09	3,28	4,67
F-14	4,39	4,20	2,42	3,06	2,29	1,30	2,99	2,62	2,36
F-15	2,78	2,51	1,57	2,56	2,27	1,34	2,55	2,19	2,23
<i>Átlag</i>	<i>3,46</i>	<i>3,36</i>	<i>2,31</i>	<i>3,41</i>	<i>2,93</i>	<i>1,88</i>	<i>3,38</i>	<i>3,03</i>	<i>2,55</i>
SzD_{5%}	0,45	0,56	0,41	0,44	0,64	0,41	0,31	0,50	0,39

A feltalajban, a kontroll kezelésben mértük a legkisebb szerves-N mennyiségeket.

Az F-2-3 kezelések, hacsak kismértékben de növelik a szerves-N tartalmat. Az F-4-6 kezelésemblokkban kismértékű, de növekvő tendencia figyelhető meg. Az F-7 és F-15 kezelések "csoport kontroll" jellege, valamint az F-8 kezelés legnagyobb mennyiségű N szolgáltatása ennél a N-formánál is megnyilvánul.

Az F-10-14 jelzésű vetésforgók ennél a N-formánál is kiegyenlítően és nagy mennyiséget szolgáltatottak. Jellemző, hogy az F-13 jelzésű vetésforgó mindhárom vizsgált évben és rétegben nagyobb szerves-N mennyiséget tartalmazott, mint az F-14 jelzésű (15. táblázat).

A kontroll kezeléshez képest többségében szignifikáns kezeléshatások magyarázhatók, egyrészt az alkalmazott szervestrágyázás által történő többlet bevitellel, másrészt a

kezelések révén megnőtt termés által visszahagyott, jelentősebb gyökérmaradvány mennyiséggel.

A 0,01 M CaCl₂ oldható összes-N tartalom változása a mélység függvényében az említett frakciók mennyiségi változásainak eredőjeként vizsgálható. Értéke vertikálisan kismértékű csökkenést mutat (16. táblázat). Évenkénti kezelésátlagban mennyisége a feltalajban 8,1-12,3 mg/kg, míg mélyebb rétegekben 8,2-10,1 (20-40 cm) ill. 6,5-8,9 mg/kg (40-60 cm). A frakció mennyiségének évenkénti változása nem olyan kifejezett, mint a szervetlen formáké. Szignifikáns kezeléshatás csak bizonyos kezelések, leginkább kezeléscsoportok között mutatható ki. A kezelések hatásában ugyanazok a tendenciák és "csoport kontroll" hatások jelentkeznek, mint az egyedi frakciók esetén.

Ez azt mutatja, hogy a vetésforgókban alkalmazott szervesanyag pótlási, trágyázási, tápanyag gazdálkodási különbségek markánsabban jelentkeznek a 0,01 M CaCl₂ oldható egyedi N-frakciók mennyiségében, mint az összes-N tartalomban.

16. táblázat: A 0,01 M CaCl₂ oldható összes-N mennyisége a Westsik tartamkísérlet vetésforgóinak talajaiban (2000-2002).

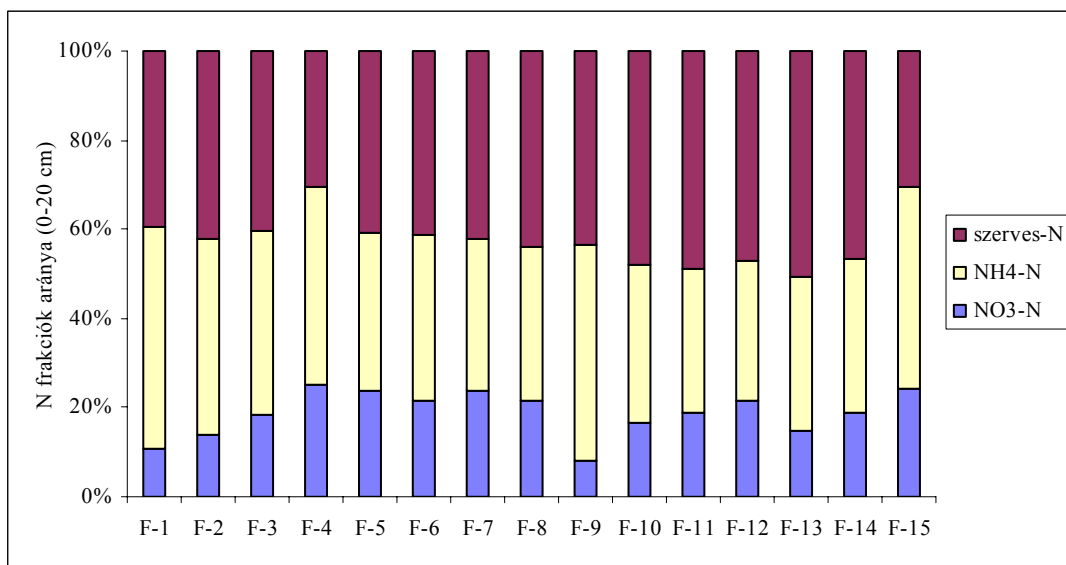
kezelés	összes-N (mg/kg)								
	2000			2001			2002		
	Rétegek (cm)			Rétegek (cm)			Rétegek (cm)		
	0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60
F-1	5,60	5,69	4,96	9,82	5,29	3,91	4,53	4,45	4,71
F-2	5,21	4,61	4,48	9,72	9,68	5,91	4,64	3,64	2,84
F-3	7,04	6,89	6,12	7,64	6,30	4,31	6,55	5,63	4,80
F-4	7,29	6,58	6,49	12,33	8,36	6,27	9,30	7,70	6,45
F-5	8,19	7,76	7,32	14,13	16,07	8,10	9,83	9,71	9,27
F-6	10,42	10,56	9,76	13,64	14,15	8,27	13,41	15,31	13,44
F-7	8,23	9,13	7,29	9,06	6,88	5,38	10,81	8,16	7,84
F-8	10,99	12,84	13,16	17,37	11,74	7,42	22,76	11,82	7,97
F-9	6,80	6,47	4,98	9,03	6,61	4,34	8,82	8,16	6,37
F-10	7,58	7,93	6,98	12,81	8,42	6,87	10,85	11,53	10,89
F-11	8,80	9,44	9,50	13,19	13,87	9,66	12,76	12,77	11,92
F-12	8,78	9,06	7,98	11,38	10,79	4,57	9,09	11,78	12,33
F-13	8,67	8,71	7,79	13,24	8,61	5,32	12,48	13,53	21,20
F-14	9,38	8,57	7,19	20,36	8,21	11,33	13,81	11,82	6,94
F-15	9,09	9,10	7,01	10,95	16,19	5,41	10,70	6,94	5,50
<i>Átlag</i>	<i>8,14</i>	<i>8,22</i>	<i>7,40</i>	<i>12,31</i>	<i>10,08</i>	<i>6,47</i>	<i>10,69</i>	<i>9,53</i>	<i>8,83</i>
SzD_{5%}	0,81	1,03	1,11	1,69	1,81	1,08	2,23	1,76	2,33

Az egyes vizsgálati években a különböző N-frakciók mennyiségében tapasztalt eltérések a talaj inhomogenitásából is származhatnak. A három egymást követő év

burgonya szakaszai ugyanis egy vetésforgón belül három egymás melletti parcellából származnak.

Az egyes frakciók aránya a vizsgált három évben és mélységben eltéréseket mutat (33.-38. ábrák). A 2000-es és 2001-es év viszonylag kiegyensúlyozott mennyiségi viszonyai mellett a 2002-es év a nitrát-forma dominanciájával jellemezhető, ami főként az ammónium frakció rovására történt. A mélység elsősorban e frakciók eltérő mozgékonyasága révén módosítja az arányokat. Az évjárat hatása mellett az egyes formák arányaira legnagyobb hatással a kezelések voltak.

A kezelések tekintetében általánosan megállapítható, hogy az évhatásnak leginkább a kontroll parcella van kitéve. Az F-2 és F-3 kezelések többnyire növelik a nitrát és szinte kivétel nélkül a szerves-N frakciók részarányát, mind a feltalajban, mind a teljes vizsgált rétegben. Az F-4-7 kezelésekben jelentős évjáráthatás mutatkozik az egyes N-frakciókra. Jól értelmezhető viszont, az istálló- és másodvetésű zöldtrágyázás hatása a szerves-N frakció részarányának növekedésére.

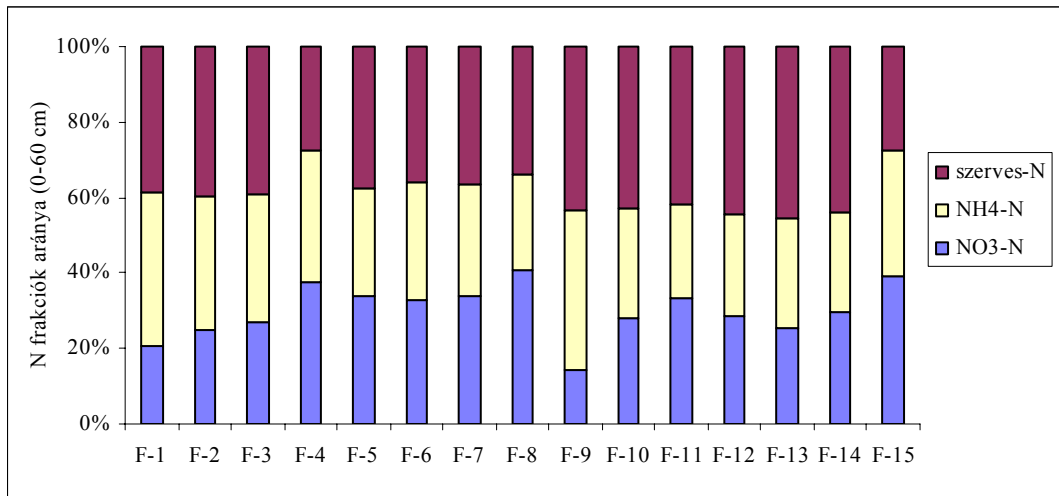


33. ábra: A 0,01 M CaCl₂-ban oldható N-frakciók aránya (0-20cm) (Westsik 2000)

Amennyiben, konkrétan vizsgáljuk az egyes N-frakciók arányában bekövetkezett változásokat, akkor megállapíthatjuk, hogy a 2000-es évben mértük a szerves frakció legnagyobb részarányát. Ebben az évben a nitrát/ammónium/szerves-N arány a feltalajban, a kezelések átlagában 1:2:2,2-nek, a teljes vizsgált rétegben 1:1:1,2-nek adódott.

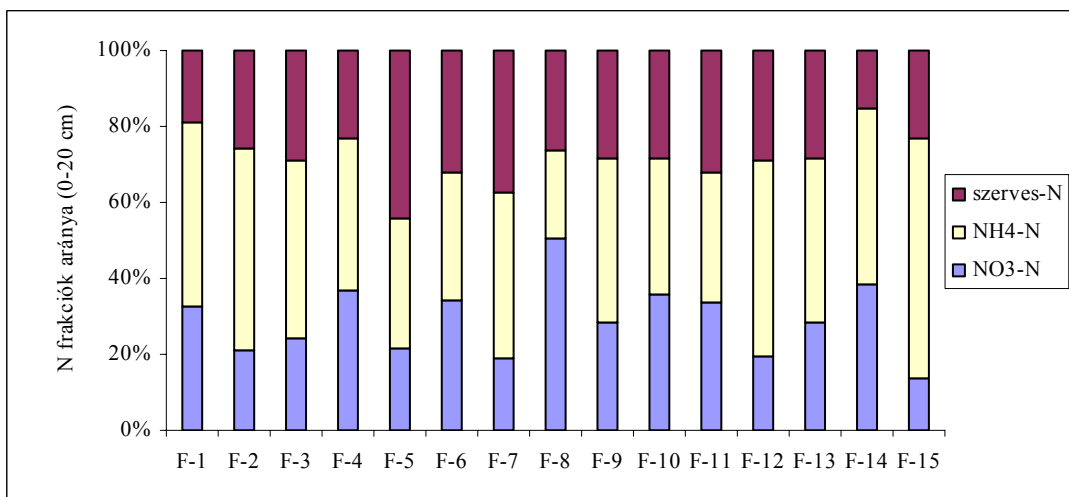
A kapott arányok alapján az egyes frakciók mennyiségei egymással összemérhetőek.

A vizsgált frakciók arányának mélységi változása a nyírlugosi tapasztalatokat megerősítve azt mutatja, hogy a 0-60 cm-es szelvényben sokkal kiegyensúlyozottabb mennyiségi viszonyokat kapunk, mint a feltalajban.



34. ábra: A 0,01 M CaCl₂-ban oldható N-frakciók aránya (0-60cm) (Westsik 2000)

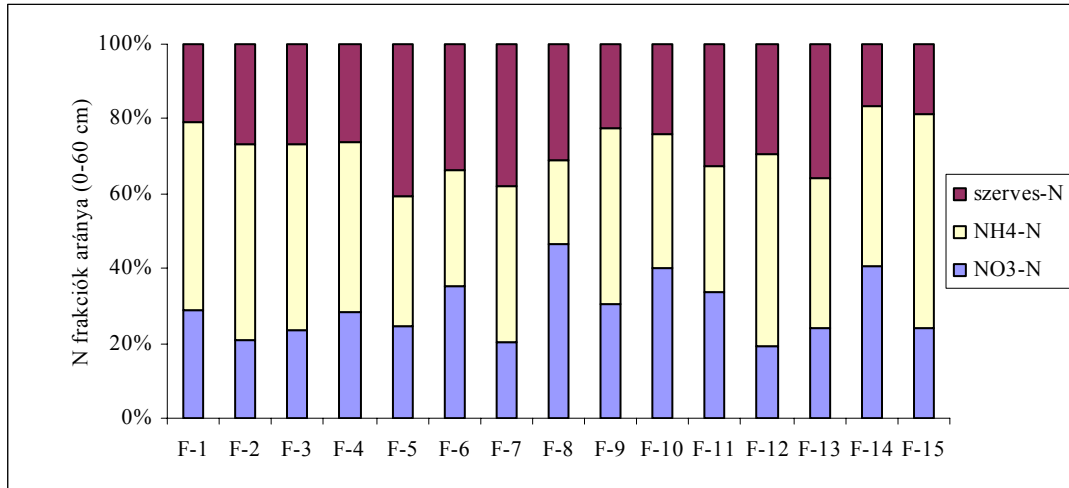
A 2001-es év eredményei alapján a nitrát/ammónium/szerves-N arány a feltalajban a kezelések átlagában 1:1,4:0,9-nek, a teljes vizsgált rétegben 1:1,3:0,9-nek adódott. Látható, hogy a 0-20 cm-es és a 0-60 cm-es rétegek N-formáinak aránya között lényegi eltérés nincs, a frakciók mennyiségei szinte 1:1:1 arányban oszlanak meg.



35. ábra: A 0,01 M CaCl₂-ban oldható N-frakciók aránya (0-20cm) (Westsik 2001)

Megállapítható továbbá, hogy a N-frakciók arányai az egyes kezelésekben nagyobb ingadozást mutatnak, mint 2000-ben (35. és 36. ábra).

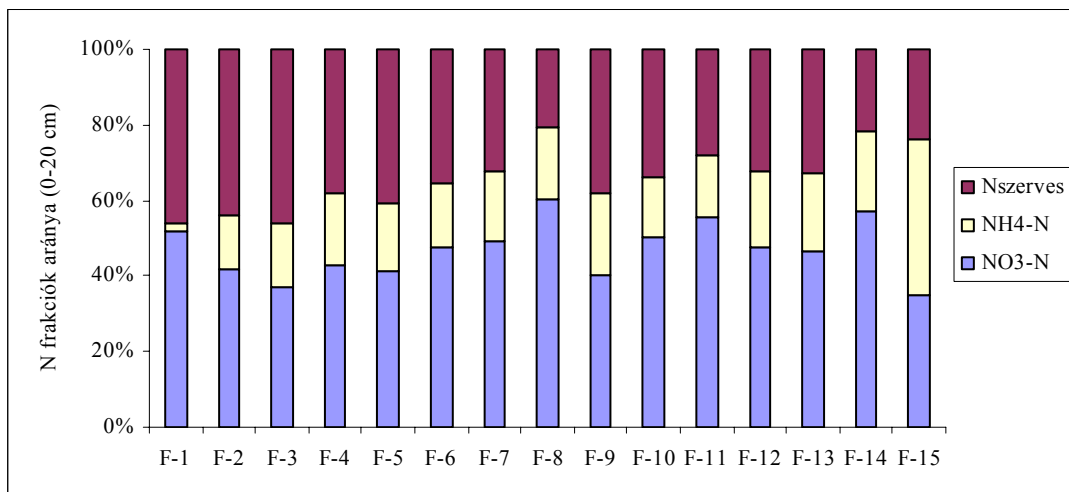
Kitűnik a kontroll és az F-14-es kezelés viszonylag kisebb szerves-N frakciója. Az F-14 és F-13 jelzésű vetésgörög adatait összehasonlítva, az F-14 kezelésben, évről-évre mért kisebb szerves-N mennyiség azt igazolja, hogy az őszi pillangós leszántás hatással van a talaj N-formáinak mennyiségi viszonyaira.



36. ábra: A 0,01 M CaCl₂-ban oldható N-frakciók aránya (0-60cm) (Westsik 2001)

A hosszabb lebontási idő révén csökken a szerves, nő a szervesetlen, elsősorban a nitrát frakció mennyisége. Ez a növekedés akár 10-16 %-os is lehet, ami a terméseredményekben is megnyilvánul.

A 2002-es év adatai a NO₃-N frakció dominanciáját mutatják (37. és 38. ábra).

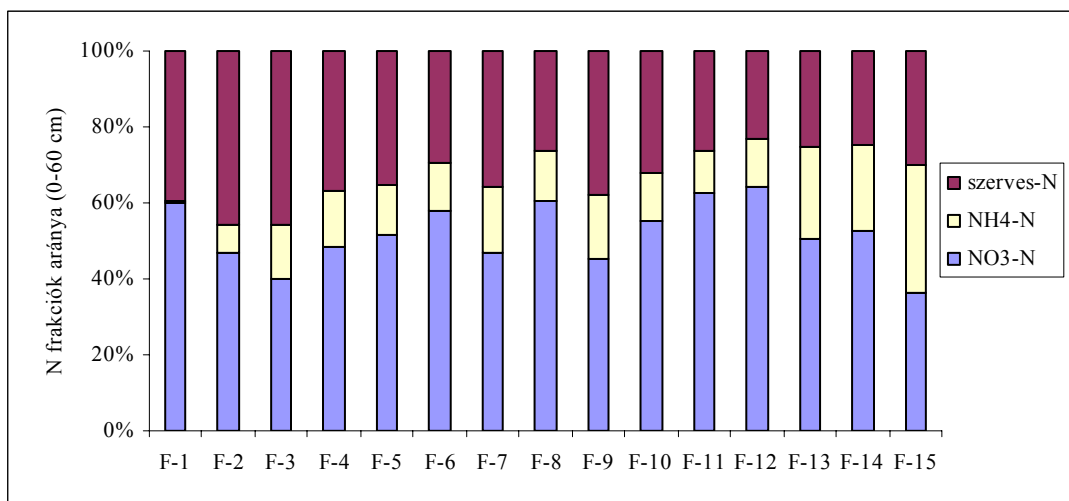


37. ábra: A 0,01 M CaCl₂-ban oldható N-frakciók aránya (0-20cm) (Westsik 2002)

A nitrát/ammónium/szerves-N arány a feltalajban a kezelések átlagában 1:0,4:0,7-nek, a teljes vizsgált rétegben 1:0,3:0,6-nak adódott.

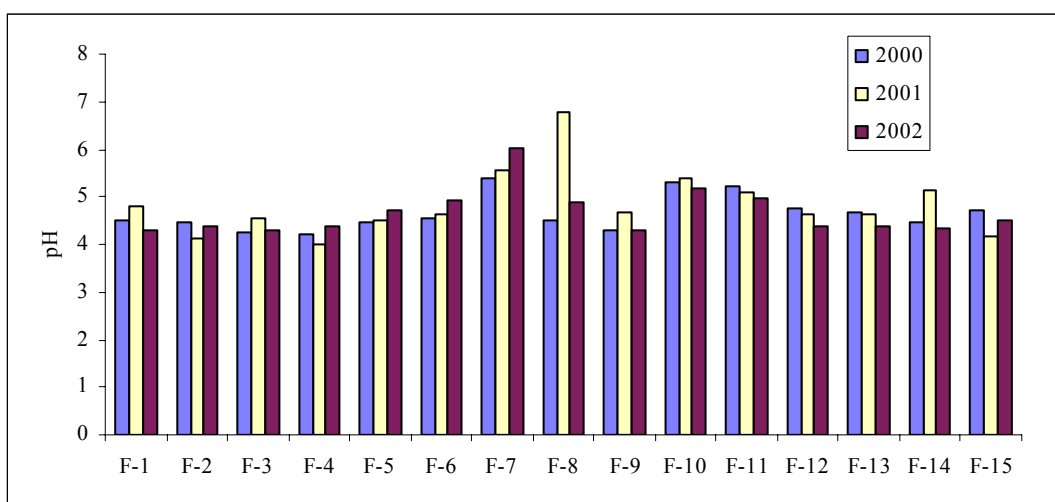
Megállapítható, hogy a NO_3^- -N frakció részarányának nagymértékű növekedése (kezelésátlagban: 30%-ról 50%-ra) döntően az ammónium-forma rovására történt, ami a talajban uralkodó redukciós és oxidációs viszonyok változására és az ebből fakadó nitrifikációs folyamatok előtérbe kerülésre vezethető vissza. Ezt az elképzelést támasztják alá a vizsgált évek csapadékviszonyai.

A 2002-es év májusa és nyara, a korábbi évek aszályos időszakaitól eltérően szokatlanul csapadékos volt, ami elősegítette a talaj felső rétegében a megfelelő nedvességtartalom kialakulását. A nagyobb mértékű nitrifikációnak a talaj nedvességtartalmában bekövetkezett változással való magyarázatát erősíti meg a vetésforgókban mért kiegyensúlyozott talaj pH, amely értékeiben jelentős változás 2002-ben nem történt (39. ábra). Másrészt, a korábbi évtizedek tapasztalatai azt mutatják, hogy a kezeléshatásokból ilyen mértékű változás nem származtatható.



38. ábra: A 0,01 M CaCl_2 -ban oldható N-frakciók aránya (0-60cm) (Westsik 2002)

A kezeléshatások tekintetében figyelemre méltó, hogy a kontroll kezelésben az NH_4^+ -ionok nem mutathatóak ki. Ellenben az F-15-ös kezelésben az NH_4^+ -N mennyisége igen jelentős nemcsak 2002-ben, hanem mindhárom évben.



**39. ábra: A talaj pH értékei a vetésforgók kezeléseinek függvényében
(Westsik 2000-2002)**

Összegezve a három vizsgálati év adatait, megállapítható, hogy a 0,01 M CaCl₂ oldható N-frakciók mennyiségére az évjárat hatásán túl tendenciózus kezelés és mélység hatással számolhatunk (LAZÁNYI et al., 2003). Ezt erősítik meg - a mellékletben található - variancia táblázatok adatai is (13.-15. mellékletek). 2000-ben, a vizsgált N-frakciók mennyiségére, P=0,1%-os valószínűségi szinten, szignifikáns kezelés és mélység hatást kaptunk. Kivételt az összes-N frakció mutatott, amelynek kezelés függése 0,1%-os szinten, míg mélység függése 1%-os szinten volt szignifikáns (13. melléklet).

A kezelés*mélység kölcsönhatásra szignifikáns összefüggéseket nem tudtunk kimutatni. A 2001-es adatok varianciaanalízise szintén, P=0,1%-os valószínűségi szinten, szignifikáns kezelés és mélység hatást bizonyított az összes vizsgált N-formánál. Ellenben, kezelés*mélység kölcsönhatást egyik frakció esetében sem tudtunk kimutatni F-próbával (14. melléklet).

2002-ben az ammónium- és szerves-N frakciókra 0,1%-os szinten szignifikáns kezelés és mélység hatást kaptunk. Meglepő, és a feltalaj nagy nitrát tartalmaival magyarázható, hogy a nitrát-N szignifikáns kezeléshatása mellett a mélységgel nem kaptunk értékelhető eredményt F-próbával. Az összes-N mennyiségére a kezelés 0,1%-os, a mélység 1%-os szinten volt szignifikáns. Hasonlóan a 2000-es és 2001-es eredményekhez az F-próba nem igazolt megbízható különbséget a kezelés*mélység kölcsönhatásra (15. melléklet).

4.2.4. A 0,01 M CaCl₂-ban oldható N-frakciók és a burgonya terméseredmények összefüggései (Westsik)

Az egyes kezeléseknek ill. talajvizsgálati eredményeknek a terméseredményekre gyakorolt hatásával részletesen (LAZÁNYI, 1994, 2003) foglalkozik. Jelen dolgozat keretein belül elsősorban a talajban lévő könnyen oldható N-formák mennyiségeinek és a burgonya terméseredmények kapcsolatával foglalkozunk.

A vizsgált három év terméseredményei bár tükrözik az évjárat hatását, a kezeléshatások mégis minden évben tendenciózusan jelentkeznek, így a terméseredmények értékelését összevontan végezhetjük el. Általánosan megállapítható, hogy a kezelések zömében a 2000-es évben kaptuk a legkisebb termésértékeket (17. táblázat).

Ebben az évben a kezelések átlagában 19,1 t/ha burgonyatermést takarítottak be, szemben a 2001-es 23,7 t/ha ill. 2002-es 22,8 t/ha-ral.

A kezelések hatásai mindhárom évben jól nyomon követhetőek. Általánosan megállapítható, hogy mindhárom évben a burgonya termésátlaga az F-1 vetésforgóban volt a legkisebb. A kezelések átlagában kifejezett termésnövekedés 2000-ben, a kis termés következtében „csak” 18,9%, míg 2001- és 2002-ben közel 50%. A kapott terméseredmények jó összhangban vannak a talajvizsgálati eredményekkel (40.-43. ábrák).

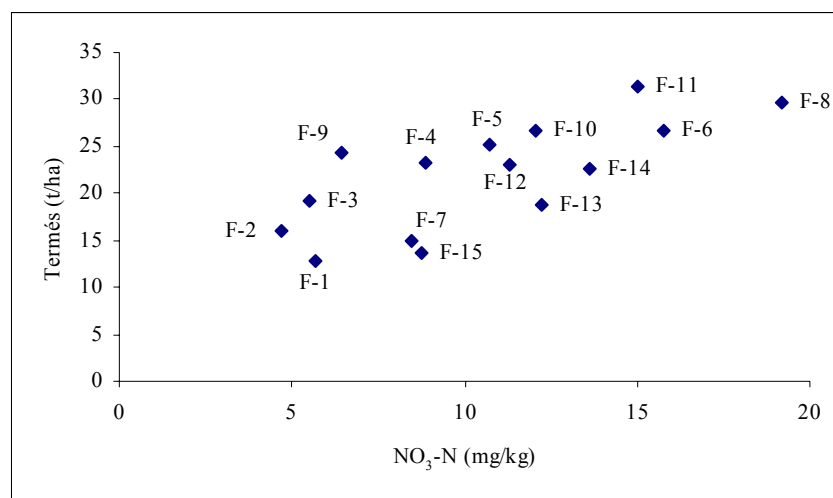
17. táblázat: A Westsik-féle tartamkísérlet burgonya terméseredményei (2000-2002)

kezelés	Terméseredmények (t/ha)				
	2000	2001	2002	Átlag	SzD _{5%}
F-1	15,52	11,97	10,87	12,79	2,75
F-2	17,50	15,86	14,84	16,07	1,52
F-3	18,45	16,73	22,64	19,27	3,44
F-4	17,62	27,24	24,63	23,17	5,63
F-5	22,03	28,18	25,56	25,26	3,49
F-6	22,48	29,43	28,08	26,67	4,17
F-7	16,15	11,92	16,73	14,93	2,97
F-8	24,98	32,20	31,64	29,61	4,55
F-9	14,65	31,23	27,29	24,39	9,80
F-10	17,17	31,26	31,67	26,70	9,34
F-11	28,48	35,33	30,33	31,38	4,02
F-12	18,72	24,82	25,56	23,03	4,25
F-13	17,38	17,95	21,06	18,80	2,24
F-14	20,06	27,95	20,08	22,70	5,15
F-15	15,90	13,99	11,16	13,68	2,70
<i>Átlag</i>	<i>19,14</i>	<i>23,74</i>	<i>22,81</i>	<i>21,90</i>	<i>2,75</i>
SzD_{5%}	1,95	4,10	3,50	3,18	1,26

A vizsgált három év vetésforgóinak termésátlagai a könnyen oldható N-frakciók - három év átlagában mért - mennyiségeinek (0-60 cm) függvényében 40.-43. ábrákon láthatók.

A vizsgált N-frakciókra az F-1 kezelésben kaptuk a legkisebb értékeket. Legmarkánsabb a nitrát frakció elmaradása a kezelések átlagától (40-50%).

A kontroll parcella mellett a legkisebb terméseredményeket az F-7-es és F-15-ös parcellák nyújtották. A kontroll parcella alacsony terméseredménye a parlagoltatásos vetésváltó rendszer elégtelen tápanyag visszapótlását igazolja. Az F-7 vetésforgóban az alacsony terméseredmény magyarázható azzal, hogy a parcellán műtrágya kiegészítést nem alkalmaznak és a kijuttatott szalmatrágya erjesztése, vízzel történt. Így az F-7 jelzésű vetésforgóban, a tág C/N arányú melléktermékek alászántásakor fellépő pentozánhatással kell számolni (LAZÁNYI, 1994). Ezt, a talaj N-szolgáltató képességét csökkentő hatást szemléletesen jelezte a talaj kis 0,01 M CaCl₂ oldható nitrát-N tartalma is (40. ábra). A terméseredmények és a vizsgált N-frakciók közötti kapcsolatot leíró regressziós egyenesek egyenletei és az r értékek a 18. táblázatban láthatók.



40. ábra: Burgonya terméseredmények a talaj 0,01 M CaCl₂ oldható NO₃⁻-N tartalmának függvényében

A vetésforgóban kapott kis termés- és N-vizsgálati eredmények felhívják a figyelmet a pótlólagos N-trágyázás fontosságára.

Az F-7 vetésforgó, kontrollhoz képest kismértékű, de növekvő terméseredménye ugyanakkor rámutat a szalma melléktermék hasznosításának jelentőségére, amit

alátámaszt a kontrollhoz képest ennek a kezelésnek a talajában mért humusztartalom növekedése is (LAZÁNYI, 2003; KÁTAI et al., 1999).

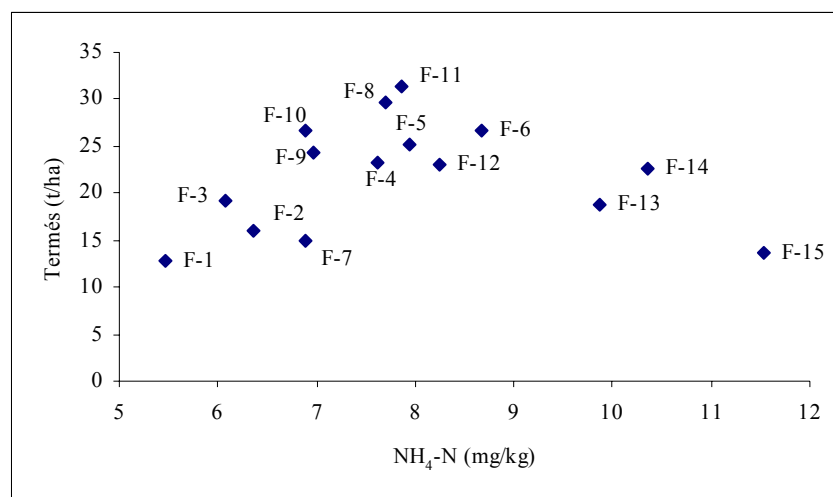
A humusztartalomban Kátai és munkatársai által mért növekedés összhangban van az általunk, a vetésforgóban mért nagyobb, könnyen oldható szerves-N tartalommal.

Az F-15 jelzésű vetésforgó kis termései magyarázhatóak a műtrágya kiegészítés mellőzésével. Ez a kezelés a másodvetésű zöldtrágyázás kontrolljának tekinthető.

A vetésforgóra jellemző, hogy a könnyen oldható N-tartalom döntően ammónium formában van jelen, ami a nitrifikáció visszaszorulását jelzi (41. ábra).

Az F-9 kezelés 2000. évi alacsony termésereedménye nehezen értelmezhető. Főképp azért, mert a következő két évben jelentős, a kezelésátlagot jelentősen meghaladó mennyiségű termést szolgáltatott. A 15. táblázatban látható, hogy ebben a kezelésben, 2000-ben mind a feltalaj, mind a teljes vizsgált talajréteg nitrát tartalma igen alacsony volt. Az ásványi N-formák túlnyomórészt (75-85%) NH_4^+ -N formában voltak jelen, ami a parcellán mért alacsony pH ($\text{pH}_{(\text{CaCl}_2)}=4,29$) ismeretében igazolja csökkent mértékű nitrifikációt. A vetésforgóban 2001-ben és 2002-ben mért nagyobb NO_3^- -N mennyiségei rámutatnak arra, hogy ezekben az években a nitrifikáció jelentősebb mértékű volt, amit a nagyobb termésereedmények is alátámasztanak.

Az F-2-6 kezelések sorrendben növekvő termés adatai összhangban vannak a talajvizsgálati adatok szintén növekvő nitrát és szerves-N adataival.



41. ábra: Burgonya termésereedmények a talaj 0,01 M CaCl_2 oldható NH_4^+ -N tartalmának függvényében

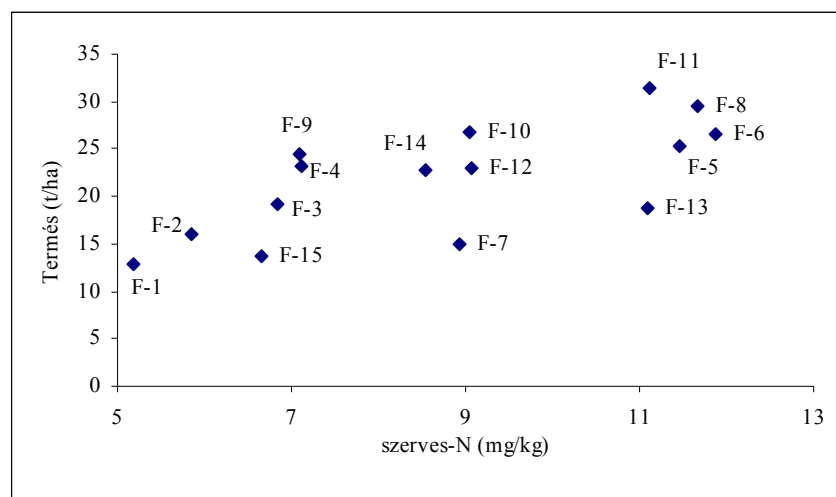
Az F-2 és F-3 vetésforgók kontrollhoz képest nagyobb termései (12-108%) a vetésforgókban alkalmazott műtrágyázással kiegészített, fővetésű csillagfürt zöld- és gyökértrágyázás talajtermékenységre gyakorolt kedvező hatását bizonyítja.

Ebben a kezeléscsoportban a N-frakciók kisebb mennyiségei összhangban állnak a kontrollhoz képest jelentős, de a kezelésátlagtól elmaradó terméseredményekkel.

Az F-4, F-5 és F-6 jelzésű vetésforgókban a szervesanyag-pótlás, műtrágyával kiegészített, szalmatrágyázással történik. Az F-4 vetésforgó trágyázása rozsszalmával, az F-5, és F-6 jelzésűeké erjesztett szalmatrágyával történik. A vetésforgók, kontrollhoz és az F-7 jelzésű vetésforgóhoz képest szolgáltatott jelentős terméstöbbletei - összhangban a parcellák növekvő nitrát és szerves nitrogén mennyiségeivel - bizonyítják a műtrágyázással kiegészített szalmatrágyázás kedvező hatását a talaj könnyen oldható, mobilizálható nitrát-N és szerves-N tartalmára.

A legnagyobb burgonyatermést az F-8 és F-11 kezeléseknél mérték (29,6 ill. 31,4 t/ha), ahol az alkalmazott szervestrágyázás műtrágya kiegészítéssel szerepelt.

A két kezelés a három év kezelésátlagától 35 ill. 43%-os, míg a kontrollhoz képest 131 ill. 145%-os terméstöbbletet okozott. A kiemelkedő terméseredmények jó összhangban vannak a parcellákon mért jelentős nitrát és szerves-N koncentrációkkal (40. és 42. ábra). A vetésforgók javuló tápanyag ellátottsága a növekvő termésmennyiségben nyilvánul meg.



42. ábra: Burgonya terméseredmények a talaj 0,01 M CaCl₂ oldható szerves-N tartalmának függvényében

Az ugrásszerű termésnövekedés rámutat, hogy a savanyú kémhatású homoktalajokon csak akkor számíthatunk megfelelő mennyiségű termésre, ha különös gondot fordítunk a megfelelő tápanyagpótlásra.

Az F-10 jelzésű vetésforgó nagy terméseredményei az önmagában is hatásos istállótrágyázás jelentőségét bizonyítják a kis tápanyagtőkéjű és termékenyséjű homoktalajokon. Ez a kezelés az F-11 jelzésű kontrolljaként fogható fel.

Összehasonlítva a két vetésforgó termés és talajvizsgálati eredményeit megállapíthatjuk, hogy az F-10 vetésforgó kisebb termésadatai arra utalnak, hogy a műtrágya kiegészítés kedvezően hat a talajtermékenységre, amit a nagyobb nitrát-N és a szerves-N tartalom értékei is jeleznek (40. és 42. ábra).

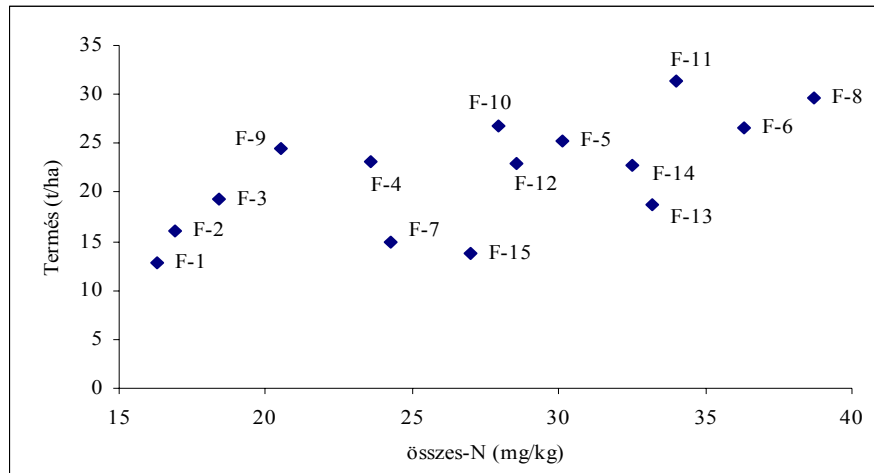
Az F-12 jelzésű vetésforgót Westsik Vilmos az F-11 jelzésű kontrolljának tekintette (LAZÁNYI, 1994). A két vetésforgó termésadatait összehasonlítva megállapítható, hogy az istállótrágyázott vetésforgó, a takarmánytermesztésre és zöldtrágyázásra alapozotthoz képest mindhárom vizsgált évben jelentősen több (5-10 t/ha) termést szolgáltatott. Ez a tendencia azonban csak a csapadékosabb évjáratokban érvényesül (LAZÁNYI, 2003). A jelenség az istálló- és zöldtrágyázásnak a talaj vízgazdálkodására kifejtett hatásával, ezáltal, a vetésforgókban termesztett növények eltérő szárazságtűrésével magyarázható. A két vetésforgó termésében mutatkozó különbség a 0,01 M CaCl₂ oldható N-frakciók eltérő mennyiségeivel összhangban van.

Az F-13, F-14 és F-15 kezelések a másodvetésű csillagfürt zöldtrágyaként való alkalmazásának vizsgálatára lettek beállítva. Különbség a zöldtrágya leszántásának idejében és a műtrágyázásban van. Az F-13 jelzésű vetésforgóban a csillagfürtöt tavasszal a burgonya vetése előtt, míg az F-14 jelzésűben már ősszel a vegetációs periódus végén alászántják. Az F-13 jelzésű vetésforgó a 2002-es évtől eltekintve kisebb terméseredményeket szolgáltatott, mint az F-14-es vetésforgó.

Adatainknak némiképp ellentmond (LAZÁNYI, 2003), aki a tavaszi leszántást preferálja.

Az utóbbi évtizedek adatai azonban arra utalnak, hogy a két vetésforgó egymáshoz viszonyított termésadatai elég változatos képet mutatnak. Méréseink szerint a NO₃⁻-N tartalom az F-14 vetésforgóban, míg a szerves-N tartalom az F-13 vetésforgóban volt nagyobb. Mindkét vetésforgónak az F-15 jelzésűhöz képest nyújtott jelentős terméstöbblete (1,5-14 t/ha) igazolja, hogy a másodvetésű csillagfürt zöldtrágyázás csak műtrágya kiegészítéssel lehet hatásos. Fontos azonban megemlíteni, hogy míg a

kezelések átlagától az F-13 jelzésű vetésforgó mindhárom évben kevesebb termést szolgáltatott addig az F-14 jelzésűnél ezt a jelenséget csak 2002-ben tapasztaltuk.



43. ábra: Burgonya terméseredmények a talaj 0,01 M CaCl₂ oldható összes-N tartalmának függvényében

Összefoglalásul megállapítható, hogy a talajvizsgálati adataink összhangban állnak a kapott terméseredményekkel. Legérzékenyebben a nitrát frakció jelzi a termésben bekövetkezett változásokat. Szoros összefüggés mutatható ki azonban a termés adatok és a szerves-N frakció mennyisége között is (18. táblázat), amire LAZÁNYI et al. (2002a, 2002b, 2003) is felhívják a figyelmet.

18. táblázat: A terméseredmények és a 0,01 M CaCl₂ oldható N-frakciók (0-60 cm) közötti kapcsolat a Westsik-féle vetésforgó kísérletben (2000.-2002. évek átlagában)

N-frakció	Regressziós egyenes egyenlete	r	SzD _{5%}
NO ₃ -N	$y = 1,0039x + 11,308$	0,732	1,168
NH ₄ -N	$y = 0,093x + 21,162$	0,026	0,585
szerves-N	$y = 1,7823x + 6,265$	0,698	0,333
összes-N	$y = 0,5404x + 7,1851$	0,664	1,463

ahol: y – termés (t/ha); x – a megfelelő N-frakció (mg/kg)

A talajvizsgálati és termésadatok alapján a szervesanyag utánpótlás szempontjából legmegfelelőbb kezeléseknek az F-5, F-6, F-8, F-11 és F-13 jelzésű vetésforgók mutatkoztak (42. ábra).

Az NH₄⁺-N mennyiségének nagy részaránya, összhangban a mért talaj pH értékekkel csökkent mértékű nitrifikációt igazol, ami általánosan jellemzi az egész területet.

Megállapítható azonban, hogy a kezelések hatása ezt a tendenciát erősítheti ill. gyengítheti (41. ábra).

A 16. mellékletben található szignifikancia csoportok alapján megállapítható, hogy mind a termés-, mind a talajvizsgálati eredmények leginkább a kezeléscsoportok közti különbségeket tükrözik. A kontroll kezelés talajvizsgálati és terméseredményeihez, a kezeléscsoportjukban szintén kontrollnak számító kezelések (F-7 és F-15) álltak a legközelebb. Az F-10 jelzésű vetésforgó, amely szintén nem kap műtrágya kiegészítést, azért különül el a többi kontrollnak minősíthető kezeléstől, mert istállótrágyázásban részesül.

A kontrollhoz képest kismértékű termésnövekedést nyújtanak a fővetésű zöldtrágyázásos vetésforgók (F-2-3). A következő, jól elkülöníthető kezeléscsoport szalmatrágyázáson alapul (F-4-6). A csoporton belül, az F-6 vetésforgó nagy nitrát- és szerves-N koncentrációi összhangban vannak (KÁTAI et al., 1999) azon megállapításaival, hogy a nyári időszakban a cellulózbontó baktériumok jelenléte alig kimutatható, így pentozánhatással ebben a tenyészidőszakban nem kell számolni.

A kétszeres (fő- és másodvetésű) zöldtrágyázáson alapuló (F-8) ill. istállótrágyázott (F-11) vetésforgók kiemelkedő terméseredményei és megfelelő N-egyensúlyi viszonyai az alkalmazott trágyázási eljárások hatékonyságát bizonyítják.

A szintén jól elkülönülő, másodvetésű zöldtrágyázással és műtrágya kiegészítéssel kialakított (F-13 és F-14) vetésforgók által szolgáltatott nagy burgonya termésadatok és a velük összefüggő talajvizsgálati eredmények alátámasztják a másodvetésű csillagfürt zöldtrágyázás kedvező szerepét a homoki gazdálkodásban.

Összegezve a két tartamkísérlet, vizsgálati éveinek eredményeit a 0,01 M CaCl₂ oldható N- frakciók jelentősége az alábbiakban foglalható össze:

A nyírlugosi és a Westsik-féle tartamkísérlet eltérő kezelésű talajainak 0,01 M CaCl₂ talaj kivonószerezrel elvégzett talajvizsgálati eredményei bizonyítják, hogy a vizsgált N-frakciók mennyiségi meghatározása fontos információkat szolgáltat az egyes könnyen oldható és mobilizálható N-frakciók mennyiségi viszonyainak minél pontosabb megismeréséhez és tisztázásához.

Adataink igazolják, a 0,01 M CaCl₂ oldható nitrát frakció növény táplálási szerepét és jelentőségét. Nem szabad azonban megfeledkezni arról, hogy a lemosódás következtében, különösen a potenciálisan környezetkárosító NO₃⁻-N esetén, a 0-20 cm-

es réteg mellett fontos a 0-60 cm-es rétegben található N-formák mennyiségének vizsgálata is.

A savanyú kémhatású homoktalajokon, a gátolt nitrifikáció miatt részarányában jelentős, kezeléshatásra kevésbé érzékeny NH_4^+ -N forma, a pH viszonyok javításával, nitrifikálódhat, mozgékonyága növekszik, így potenciálisan veszélyeztetheti a felszín alatti vizek minőségét.

Az összes 0,01 M CaCl_2 -ban oldható N mennyisége a mobilis, ásványi formákon kívül magába foglalja a könnyen mineralizálódó szerves-N mennyiségét is, amely részarányát és fontosságát tekintve nem marad el a szerves N-frakciók mögött. Szerepe mind növény táplálási, mind környezeti szempontból egyaránt kiemelhető.

A könnyen oldható és mobilizálható N-frakciók terméseredményekkel bemutatott szoros kapcsolata igazolja, hogy érdemes a felsorolt valamennyi szerves és szerves N-forma vizsgálatát egyidejűleg elvégezni, amire az általunk használt 0,01 M CaCl_2 talaj kivonószer jó lehetőséget biztosít.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Dolgozatomban két, hazánkban igen jelentős, nagy múltra visszatekintő tartamkísérletben a trágyázás hatását vizsgáltam a mobilis N-készletekre.

A mobilis készletek vizsgálatára a 0,01 M CaCl₂ talaj kivonószer alkalmazásán alapuló kémiai módszert használtam. A szabadföldi kísérletek talajaiban lévő könnyen oldható N-készletek vizsgálatát biológiai, talajérleléses módszerrel is elvégeztem.

Meghatároztam a 0,01 M CaCl₂ oldható, különböző N-frakciók mennyiségi viszonyait, változásait mindkét tartamkísérletből vett mintákban.

Kutatásaimat kiterjesztettem a könnyen oldható, mobilis N-frakciók és a terméseredmények kapcsolatának vizsgálatára is.

A nyírlugosi műtrágyázási és meszezési tartamkísérletet 1962 őszén Láng István állította be savanyú, homokos texturájú, kovárványos barna erdőtalajon. A kísérletben a kezelések száma 32, az ismétléseké 4. Számos jelzőnövény után a kísérlet 1991. óta triticales monokultúrává alakult. A nyírlugosi tartamkísérletből 1998 és 2001 augusztusában, a triticales betakarítása után vettünk mintákat.

A Nyíregyháza határában lévő homokjavító vetésforgó tartamkísérletet 1929-ben Westsik Vilmos állította be alacsony humusztartalmú, kis tápanyagtökéjű, laza szerkezetű homoktalajon. A vetésforgó kísérletben jelenleg 15 vetésforgó szerepel.

A vetésforgókban rozs és burgonya termesztése folyik. Vizsgálatainkat az egyes vetésforgók azonos szakaszaiban a burgonya jelzőnövény talajaival végeztük.

A Westsik-féle tartamkísérletből 2000-, 2001- és 2002-ben a burgonyavirágzás kezdetén vettünk talajmintákat.

A talajvizsgálatok során a 0,01 M CaCl₂ oldható NO₃⁻-N, NH₄⁺-N, szerves-N és összes-N frakciókat, valamint a talaj pH értékét határoztam meg.

5.1. A tartamkísérletek talajaival végzett érleléses kísérletek eredményeinek összefoglalása

Talajérleléses kísérletek során vizsgáltam a nyírlugosi és a Westsik-féle tartamkísérletek különböző kezelésű taljai által, optimális nedvességtartalom és hőmérséklet mellett, szolgáltatott ásványi és szerves-N formák mennyiségét. A kapott eredményekből számítottam az adott talajok, optimális körülmények között, potenciálisan mineralizálható N mennyiségét és a sebességi állandók értékeit.

Megállapítottam, hogy a szerves N-formák képződése mellett, megindul a könnyen oldható és oxidálható szerves N-frakció mennyiségének növekedése ill. átalakulása a biológiailag kötött és tartaléktápanyagokból.

5.1.1. A nyírlugosi tartamkísérlet talajérleléses vizsgálati eredményeinek összefoglalása

- A különböző kezelések talajainak eltérő mineralizációs potenciálját az alkalmazott műtrágya és mészacatok ill. kombinációik eredményeképpen kialakuló talaj pH befolyásolja döntően.
- A legkisebb mineralizációs potenciállal az egyoldalú N-kezelések és a meszezés nélküli, NP- NK- ill. NPK kezelések, míg legnagyobb a meszezett parcellák talajai rendelkeznek.
- Az N_3 kezelés által szolgáltatott kiugró mennyiségű ásványi N-frakció az extrém nagy N-dózis hatását tükrözi.
- A kontroll parcellák kisebb mértékű elsavanyodása miatt az érlelési időszak alatt viszonylag jelentős a mineralizált, ásványi N-formák mennyisége.
- A meszezett parcellák talajaiban mért kisebb mennyiségű szerves nitrogén a meszezés hatására felgyorsuló ásványosodási folyamatokkal magyarázható.

5.1.2. A Westsik-féle tartamkísérlet talajérleléses vizsgálati eredményeinek összefoglalása

- A különböző szervesanyag utánpótlási eljárások jelentősen befolyásolják a talajban lejátszódó mineralizációs folyamatokat.
- Legnagyobb mineralizációs potenciállal az F-8, F-13 és F-5, míg legkisebbel az F-2, F-10 és F-1 jelzésű vetésciklusok rendelkeznek.
- Az érlelési periódus alatt képződő 0,01 M $CaCl_2$ -oldható szerves-N mennyisége legnagyobb az F-14, F-11, F-8 ill. F-13 jelzésű vetésciklusokban volt.
- A mineralizáció mértéke azoknál a vetésciklusoknál jelentősebb, amelyekben a 0,01 M $CaCl_2$ oldható szerves N-frakciók mennyisége nagyobb és ennek a frakciónak az utánpótlása megfelelő sebességű.

A két tartamkísérlet talajaival elvégzett érlelési kísérlet általános következtetései:

- *A 0,01 M CaCl₂-oldható szerves-N képződésének kinetikája hasonló az ásványi frakciók képződésének kinetikájához.*
- *Az inkubációs periódus alatt szolgáltatott 0,01 M CaCl₂-oldható N-formák között az ásványi formák mennyisége a döntő, de a képződő szerves N részaránya sem elhanyagolható.*
- *A talajérleléssel kapott adatok tendenciózus összefüggésben állnak a kezelések által szolgáltatott kémiai talajvizsgálati ill. terméseredményekkel.*
- *A mineralizáció üteme azon a területen gyorsabb, amelyben a tápanyagpótlás miatt élénkebb mikrobiológiai élet és az ehhez kapcsolódó kedvezőbb talajtulajdonságok alakulnak ki.*

5.2. A kémiai vizsgálatok eredményei

5.2.1. A trágyázás hatása a 0,01 M CaCl₂-ban oldható N-formák mennyiségére (Nyírlugos)

A két vizsgálati év adatai alapján a kísérlet talajaiban a 0,01 M CaCl₂ oldható N-frakcióik mennyisége az évhatáson túl tendenciózus kezelés és mélység hatás mutatható ki. A kiemelt kezelések eredményeiből megállapítható, hogy az 1998-as minták 0,01 M CaCl₂ oldható egyes N-frakcióira 0,1%-os valószínűségi szinten szignifikáns kezelés, mélység és kezelés*mélység kölcsönhatás igazolható. Az összes-N tartalom kezelés és mélység függése szintén szignifikáns volt 0,1%-os valószínűségi szinten de kezelés*mélység kölcsönhatást nem volt kimutatható.

A 2001-es talajminták vizsgálati eredményei ilyen szoros korrelációt nem mutattak.

A 0,01 M CaCl₂ oldható N-frakciók mennyiségei, a talajtulajdonságok következtében kicsik.

A kezeléshatások tekintetében megállapítható legfontosabb összefüggések:

- *Megállapítható, hogy az egyes N-frakciók mennyiségét és arányát döntően a kezelések határozzák meg. A mélység, a N-formák eltérő mozgékonyasága révén, módosítja a kezelésekben mért egyedi frakciók részarányát.*

- Az egyoldalúan növekvő N-adagok jelentősen növelik a szerves N-frakciók mennyiségét, ami döntően a mélyebb talajrétegek NO_3^- -N tartalmának növekedésében jelentkezik.
- A meszezés és kombinációi kedveznek a NO_3^- -N tartalom növekedésének, ami elsősorban az NH_4^+ -N tartalom csökkenését és a szerves-N tartalom mérséklődését vonja maga után.
- A szerves-N frakció mennyisége a feltalajban a maximális N-adagot kapott kezeléstől eltekintve igen jelentős (40-65%), míg a teljes, vizsgált rétegben (0-60 cm) 26-60% között mozog.
- Az egyoldalú N-trágyázás valamint a meszezésben nem részesülő NP, NK és NPK kezelések jelentős talaj pH csökkenést okoznak.

5.2.2. A 0,01 M CaCl_2 -ban oldható N-frakciók és a triticales terméseredmények összefüggései (Nyírlugos)

- Legkisebb terméseredményeket a kontroll és maximális adagú N-kezelés szolgáltatta.
- Az egyoldalú N-kezelések közül a legnagyobb termést már az 50kg/ha-os N_1 kezelés biztosítja. A növekvő N-adagok hatására kialakuló termésnövekedést a talajtulajdonságokban bekövetkező változások és az eltolódó N-egyensúlyi viszonyok okozzák.
- Ezen az erősen savanyú kémhatású homoktalajon, a kialakuló termésnövekedést a könnyen oldható N-frakciók közül elsősorban a nitrát felelős, ami bizonyítja a nitráttáplálás jelentőségét ezeken a területeken.
- Az azonos (N_2) szinten alkalmazott NP, NK és NPK kezelések a kontrollhoz képest szignifikánsan növelték a termés nagyságát.
- A meszezett kezeléscsoportba tartozó kezelések növelték a termés mennyiségét a legjelentősebben.
- A kezeléskombinációk terméseredményei alapján az adott talajtípuson 100 kg/ha N adag elegendő a maximális termés kialakításához.
- Kis pufferkapacitású, csekély tápanyagtökéjű, továbbsavanyodásra hajlamos talajok esetén a megfelelő N-adag kiválasztása mellett a foszfor és

káliumtrágyázáson kívül fokozott hangsúly kell fektetni a kiegészítő mésztrágyázásra is.

5.2.3. A trágyázás hatása a 0,01 M CaCl₂-ban oldható N-formák mennyiségére (Westsik)

Összegezve a három vizsgálati év adatait, megállapítható, hogy a 0,01 M CaCl₂ oldható N-frakciók mennyiségére a jelentős évjáráthatás mellett tendenciózus kezelés és mélység hatás a jellemző. A vizsgált N-frakciók mennyiségére, mindhárom évben P=0,1%-os valószínűségi szinten, szignifikáns kezelés és mélység hatás igazolható. Megbízható kezelés*mélység kölcsönhatás, a vizsgált N-frakciókra, egyik évben sem volt tapasztalható. A 0,01 M CaCl₂ oldható N-frakciók mennyisége, a talajtulajdonságok következtében kicsik.

A kezeléshatások tekintetében megállapítható legfontosabb összefüggések:

- A kezelések, az egyes kezeléscsoportokon belül, a kezeléscsoportok között és a kontrollhoz képest is érvényesítik hatásukat a 0,01 M CaCl₂ oldható N-frakciók mennyiségére.
- A NO₃⁻-N tartalom tekintetében ez a hatás a mélyebb rétegekben sem tompul számottevően. Legnagyobb NO₃⁻-N koncentrációkat a fő és másodvetésű zöldtrágyázás együttes alkalmazása és az istállótrágyával ill. szalmatrágyával kezelt vetésforgók szolgáltatták.
- A vetésforgók 0,01 M CaCl₂ oldható NH₄⁺-N tartalma, a kezelések függvényében, sokkal kiegyenlítettebb képet mutat, mint a NO₃⁻-N tartalom. Szignifikáns kezeléshatások csak néhány kezelés között mutathatóak ki.
- Mind a feltalaj, mind a vizsgált teljes réteg szerves-N tartalma függ az alkalmazott kezelésektől, továbbá az egyes kezeléscsoportok hatásai jól elkülöníthetőek.
- A vizsgált három éves periódusban, a vetésforgók talajainak pH értéke nem változott számottevően.

5.2.4. A 0,01 M CaCl₂-ban oldható N-frakciók és a burgonya terméseredmények összefüggései (Westsik)

- A terméseredmények összhangban a talajvizsgálati adatokkal az évjáráthatás mellett jelentékeny kezeléshatást mutatnak.
- Az egyes vetésforgókban alkalmazott kezelések, a kezeléscsoportokon belül, a kezeléscsoportok között és a kontrollhoz képest is érvényesítik hatásukat a terméseredményekben.
- A terméseredmények legszorosabb összefüggést a talajvizsgálat által szolgáltatott nitrát- és szerves-N adatokkal mutatnak.
- A burgonya termésátlaga, mindhárom évben az F-1 vetésforgóban volt a legalacsonyabb. A parlagoltatás mellett, a legkisebb termést a kezeléscsoportjukban szintén kontrollnak számító kezelések adták (F-7, F-15).
- A kontrollhoz képest kismértékű termésnövekedést nyújtanak a fővetésű zöldtrágyázásos vetésforgók (F-2-3), amit a talajvizsgálati eredmények kis 0,01 M CaCl₂ oldható N-frakciói is igazolnak.
- A szalmatrágyázáson alapuló kezeléscsoport terméseredményei, a szalmatrágyázás hatékonyságát bizonyítják a csekély termőképességű homoktalajok esetén. Ezt a hatást a talajvizsgálati adatok is megerősítik.
- A legnagyobb burgonyatermést, mindhárom évben, az F-8 és F-11 kezelések szolgáltatták. A kiemelkedő terméseredmények, a talajvizsgálatok tükrében, a kétszeres zöld- és istállótrágyázás, illetőleg a műtrágya kiegészítés együttes hatékonyságára hívják fel a figyelmet.
- A kapott talajvizsgálati adatok bizonyítják, hogy a másodvetésű csillagfűrt zöldtrágyázás őszi bemunkálással, kedvező környezeti tényezők esetén hatékonyabb lehet, mint a tavaszi leszántás.

Összegezve a két tartamkísérlet, vizsgálati éveinek eredményeit a 0,01 M CaCl₂ oldható N- frakciók jelentősége az alábbiakban foglalható össze:

A nyírlugosi és a Westsik-féle tartamkísérlet eltérő kezelésű talajainak 0,01 M CaCl₂ talaj kivonószerrel elvégzett talajvizsgálati eredményei bizonyítják, hogy a vizsgált N-frakciók mennyiségi meghatározása fontos információkat szolgáltat az egyes könnyen oldható és mobilizálható N-frakciók mennyiségi viszonyainak minél pontosabb megismeréséhez és tisztázásához.

Adataink igazolják, a 0,01 M CaCl₂ oldható nitrát frakció növénytáplálási szerepét és jelentőségét. Az általunk is bizonyított lemosódás következtében, azonban különösen fontos a 0-20 cm-es réteg mellett a 0-60 cm-es rétegben található N-formák (főképp nitrát-N) mennyiségének vizsgálata is.

Eredményeink rámutattak, hogy a savanyú kémhatású homoktalajokon, a mennyiségében jelentős ammónium-N forma, a pH viszonyok javításával, nitrifikálódhat, így potenciálisan a nitráthoz hasonlóan veszélyeztetheti a felszín alatti vizek minőségét.

Az 0,01 M CaCl₂-ban oldható ásványi formákon kívül vizsgált könnyen mineralizálódó szerves-N, részarányát és fontosságát tekintve nem marad el a szerves N-frakciók mögött. Szerepe mind növénytáplálási, mind környezeti szempontból egyaránt kiemelkedő.

A könnyen oldható és mobilizálható N-frakciók terméseredményekkel bemutatott szoros kapcsolata igazolja, hogy érdemes a felsorolt valamennyi szerves és szerves N-forma vizsgálatát egyidejűleg elvégezni, amire az általunk használt 0,01 M CaCl₂ talaj kivonószer jó lehetőséget biztosít.

6. ÚJ ÉS ÚJSZERŰ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

- Módosítottuk és sikeresen alkalmaztuk a talaj potenciálisan mineralizálódó N-készleteinek meghatározására alkalmas, szakaszos (kilúgzással kombinált) inkubációs eljárást.
- Az érlelési kísérletekben a 0,01 M CaCl_2 oldható mineralizált N-formák mennyisége mellett meghatároztuk a szerves-N frakció mennyiségét is.
- Megállapítottuk, hogy a talajérlelési kísérletek és 0,01 M CaCl_2 -os kémiai talajvizsgálati eredmények által meghatározott N-frakciók azonos tendenciák szerint változnak az adott kezelések talajaiban.
- Bizonyítottuk, hogy a 0,01 M CaCl_2 oldható N-frakciók N-egyensúlyi viszonyai - a vizsgált tartamkísérletek kezeléseiben - pH függőek.
- A nyírlugosi tartamkísérlet 1998- és 2001-es talajvizsgálati és termésadatai alapján megállapítottuk egyoldalú N-kezelések estén a legnagyobb termést már az 50kg/ha-os N_1 kezelés biztosítja. Nagyobb N adagok csak a talaj (főképp nitrát) N-tartalmát növelik jelentősen, ami rávilágít a túltrágyázás jelenségére.
- A nyírlugosi és a Westsik-féle tartamkísérlet vizsgálati éveinek adatai alapján igazoltuk, hogy savanyú kémhatású, homoktextúrájú talajokon a 0,01 M CaCl_2 -ban oldható szerves-N frakció, tulajdonságai, részaránya és szerepe miatt mind növénytáplálási, mind környezetvédelmi szempontból nem elhanyagolható és vizsgálata szükségszerű.
- A vizsgált tartamkísérletek talajérleléses, kémiai talajvizsgálati valamint terméseredményei között megállapított összefüggések alapján a trágyázási szaktanácsadás továbbfejlesztésére, a környezetkímélő tápanyag-gazdálkodás megvalósítására javasolható a talajvizsgálatok kibővítése a 0,01 M CaCl_2 -ban oldható N-frakciók meghatározásával.

7. IRODALOMJEGYZÉK

- ANDERSON G. (1967): Nucleic acids, derivatives, and organic phosphates. p. 67-90. In. A. D. McLaren and G. H. Petersen (ed.): Soil Biochemistry. Marcel Dekker, Inc. New York.
- APPEL, T. - STEFFENS, D. (1988): Vergleich von Elektro-Ultrafiltrationen (EUF) und Extraktion mit 0,01 molarer CaCl_2 -Lösung zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren Stickstoffs im Boden. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 151. 127-130p.
- APPEL, T. - MENGEL, K. (1990): Importance of organic nitrogen fraction in sandy soils, obtained by electro-ultrafiltration or CaCl_2 extraction, for nitrogen mineralization and nitrogen uptake of rape. Biology and Fertility of Soils 10.:97-101.
- APPEL, T. - MENGEL, K. (1992): Nitrogen uptake of cereals grown on sandy soil as related to nitrogen fertilizer application and soil nitrogen fractions obtained by electro-ultrafiltration (EUF) and CaCl_2 extraction. Eur. J. Agron. 1. 1-9.
- APPEL és BRUNET (1995): Extractability of newly immobilized nitrogen by electro-ultrafiltration (EUF) and CaCl_2 extraction. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 158,563-569.
- ÁRENDÁS T. - CSATHÓ P. (1994): Azonos NPK-hatóanyagú szerves és műtrágyázás hatása a talajtulajdonságok függvényében. Agrokémia és Talajtan 43:399-407.
- BALÁZS J. (1991): Nitrogén lemosódás dunántúli barna erdőtalajokon. XXXIII. Georgikon Napok Keszthely. I. kötet 318-328. PATE, Keszthely
- BALÁZS J. - KISMÁNYOKY T. - HOFFMANN S. (1998): Homokhasznosítási problémák a dél-dunántúlon. "Homoktalajok hasznosításának időszerű kérdései a hazai homokkutatások tükrében. Kecskemét, Konferencia Kiadvány (szerk.: Cserni I.): 21-34.
- BALLÁNÉ (1993): A trágyázási szaktanácsadás módszerei V. N-trágyázás Nyugat- és Észak-Európában. Növénytermelés, Tom. 42. No. 1. 103-113.
- BALLENEGGER R. (1959): Talajvizsgáló módszerek könyv, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 203-209.o.
- BERZSENYI Z. - GYÖRFFY B. (1994a): Az istálló- és műtrágya hatásának összehasonlító értékelése a hatóanyag azonosság elve alapján kukorica monokultúrában. In: Trágyázási kutatások 1960-1990. Szerk.: Debreczeni-Debreczeniné) Akadémiai Kiadó, Budapest. 313-314.
- BERZSENYI Z. - GYÖRFFY B. (1994b): Az istálló- és műtrágya hatásának összehasonlító értékelése a hatóanyag azonosság elve alapján búza-kukorica dikultúrában.

- In: Trágyázási kutatások 1960-1990. Szerk.: Debreczeni-Debreczeniné) Akadémiai Kiadó, Budapest. 314-315.
- BIRCSÁK É. - NÉMETH T. (2002): Nitrate-N in the soil profiles of long-term field experiments. *Agrokémia és Talajtan*. 51. 139-146.
- BREMNER J. M. (1965): Organic nitrogen in soils. In: C. A. Black et al. (ed.) *Methods of soil analysis*. Agronomy 10:93-149. Am. Soc. of Agron., Madison, Wis.
- BREMNER J. M. (1967): Nitrogenous compounds. p. 19-66. In: A. D. McLaren and G. H. Petersen (ed.): *Soil Biochemistry*. Marcel Dekker, Inc., New York.
- BUZÁS I. (1983a): A növénytáplálás zsebkönyve. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
- BUZÁS I. (1983b): A nitrogénműtrágya-adagok becslése a talaj nitráttartalmának mérése alapján. *Agrokémia és Talajtan* 32:406-411.
- BUZÁS I. (1987): Bevezetés a gyakorlati agrokémiába. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
- CARTER M. R. (1993): Soil sampling and methods of analysis. *Canadian Society of Soil Science* 341-349.p.
- CORTEZ J. - SCHNITZER M. (1979): Nucleic acid bases in soil and their association with organic and inorganic soil components. *Can. J. Soil Sci.* 59:277-286. In: Stevenson F. J. (1982): Nitrogen in agricultural soils. *Agronomy No. 22*. Madison, Wisconsin 67-122. p.
- CSERNI I. - BAUER F. (1998): A kecskeméti homokkutatás múltja, jelene és jövője. "Homoktalajok hasznosításának időszerű kérdései a hazai homokkutatások tükrében. Kecskemét, Konferencia Kiadvány (szerk.: Cserni I.): 35-44.
- DELWICHE C. C. (1970): The nitrogen cycle *Sci. Am.* 223:136-146. In: NÉMETH T. (1996): Talajaink szervesanyag-tartalma és nitrogénforgalma. MTA Talajtani és Agrokémiai kutató Intézete, Budapest
- FEKETE Z. - HARGITAI L. - ZSOLDOS L. (1964): Talajtan és agrokémia. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
- FILEP GY. - TÓTHNÉ BÍRÓ Á. (1980a): Hazai talajok mineralizálható N-készletének és N-szolgáltatásának mérése és számítása. *Agrokémia és Talajtan*. 29. 229-244.
- FILEP GY. - TÓTHNÉ BÍRÓ Á. (1980b): A talaj mineralizálható N-tartalmának gyors meghatározása. *Agrokémia és Talajtan*. 29. 245-250.
- FILEP GY. - FERENCZ G. (1999): A talaj N-szolgáltató képességének becslésére használt néhány számítási módszer értékelése. *DATE Tudományos Közleményei*. Tom. XXXIV. 73-82.

- FILEP GY. (1999): Talajtani alapismeretek I. egyetemi jegyzet DATE, Debrecen
- FOX R. H. - PIEKIELEK W. P. (1978a): Field testing of several nitrogen availability indexes. In: Győri D. - Matusné Sényi K. - Phrachomphonh N. (1989): A kukorica N-műtrágya-szükségletének meghatározása a talaj könnyen oldható szervesanyag-tartalma alapján. *Agrokémia és Talajtan.* 38. 349-355.o.
- FOX R. H. - PIEKIELEK W. P. (1978b): A rapid method for estimating the nitrogen-supplying capability of soil. In: Győri D. - Matusné Sényi K. - Phrachomphonh N. (1989):
A kukorica N-műtrágya-szükségletének meghatározása a talaj könnyen oldható szervesanyag-tartalma alapján. *Agrokémia és Talajtan.* 38. 349-355.
- FÜLEKY GY. - DEBRECZENI B. (1991): Tápelem-felhalmozódások 17 éves kukorica monokultúra talajában. *Agrokémia és Talajtan.* 40. 119-130.
- FÜLEKY GY. - KOVÁCS K. (1993): A tartós trágyázás hatásai a gödöllői barna erdőtalajon folyó tartamkísérletben. III. A talaj tulajdonságai. *Növénytermelés* 42:527-538.
- FÜLEKY GY. - KOVÁCS K. (1994): A nitrogén-műtrágyázás hatása a talaj nitrát-N forgalmára tartamkísérletekben. In: *Trágyázási kutatások 1960-1990.* Szerk.: Debreczeni-Debreczeniné) Akadémiai Kiadó, Budapest. 122-124.
- FÜLEKY GY. (1997): Impact of long-term cropping on chemical properties of soil. In: Gy. Filep (ed.) "Land-use and Soil Management" Rexpo Ltd 1997. Debrecen, Hungary 1997. pp 157-169.
- FÜLEKY GY. (1999): Tápanyag-gazdálkodás. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- GILBERT R. G. - ALTMAN J. (1966): Ethanol extraction of free amino acids from soil. *Plant Soil* 24:229-238. In: C. A. Black et al. (ed.) *Methods of soil analysis.* Agronomy 10:93-149. Am. Soc. of Agron., Madison, Wis.
- GONDOLA I. (1990): A dohánynövény N-műtrágya reakciója a talaj tavaszi NO₃-N tartalmának függvényében. *Agrokémia és Talajtan.* 39. No. 1-2. 59-67.o.
- GROOT és HOUBA (1995): A comparison of different indices for nitrogen mineralization. *Biology and Fertility of Soils.* 19.:1-9.
- GYŐRI D. (1984): A talaj termékenysége. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
- GYŐRI D. - MATUSNÉ SÉNYI K. - PHRACHOMPHONH N. (1989): A kukorica N-műtrágya-szükségletének meghatározása a talaj könnyen oldható szervesanyag-tartalma alapján. *Agrokémia és Talajtan.* 38. 349-355.o.

- HANCE R. J. - ANDERSON G. (1963): Identification of hydrolysis product of soil phospholipids. *Soil Sci.* 96:157-161. In: Stevenson F. J. (1982): Nitrogen in agricultural soils. *Agronomy No. 22.* Madison, Wisconsin 67-122. p.
- HARGITAI L. (1964): Soli nitrogen forms and their breakdown from humus. VIIIth Int. Congr. *Soil Sci.* II. 29. Bukarest In: Buzás I. (1988): Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv 2. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1988.151-173. o.
- HINMAN W. C. (1964): Fixed ammonium in some Saskatchewan soils. *Can. J. Soil Sci.* 44:151-157. In: Stevenson F. J. (1982): Nitrogen in agricultural soils. *Agronomy No. 22.* Madison, Wisconsin 43-66. p.
- HOFFMANN S. - KISMÁNYOKY T. - KOVÁTS A. (1987): Reducing danger of nitrate pollution with rational N-fertilization. In: 5th International Symposium of CIEC 1-4 Sept. 1987 Balatonfüred, Hungary. Symp. Document. 2. 105-110. (Eds: Welte E. – Szabolcs I) Goltze-Druck. Goettingen.
- HOFFMANN S. (1989): A kukorica N-trágyázása a 0-60cm-es talajréteg Nmin-tartalma alapján. *Agrokémia és Talajtan.* 38. 324-326.o.
- HOFFMANN S. (1991): A talaj ammónium - és nitrátkészletének aránya N-trágyázott kukorica kísérletekben. XXXIII. Georgikon Napok, Keszthely, II. kötet, 76-77.
- HOFFMANN S. (1993): A N-ellátottság szerepe a kukoricatermesztésben barna erdőtalajokon. Kandidátusi értekezés, PATE, Keszthely In: Németh T. (1996): Talajaink szervesanyag-tartalma és nitrogénforgalma. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest 196-197.
- HOLLÓ S. (1993): A szerves- és műtrágyázás hatásának összehasonlítása vetésforgó trágyázási kísérletekben. Kandidátusi értekezés, GATE "Fleischmann Rudolf" Mezőgazdasági Kutatóintézet Kompolt
- HOUBA, V. J. G. - NOVOZAMSKY, I. - HUIJBREGTS, A. W. M. - VAN DER LEE J. J. (1986): Comparison of soil extractions by 0,01 CaCl₂ by EUF and by some conventional extraction procedures. *Plant and Soil* 96. 433-437. p
- HOUBA, V. J. G. - NOVOZAMSKY, I. - LEXMOND, T. M. - VAN DER LEE J. J. (1990): Applicability of 0.01 M CaCl₂ as a single extractant for the assessment of the nutrient status of soils and other diagnostic purposes. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 21. 2281-2290.
- HOUBA, V. J. G. - JÁSZBERÉNYI I. - LOCH J. (1991): Application of 0,01 M CaCl₂ as a single extraction solution for evaluation of the nutritional status of Hungarian soils. *Debreceni Agrártud. Egyetem Tud. Közleményei.* 1991. Tom. XXX. 85-95.

- HOUBA, V. J. G. - NOVOZAMSKY, I. - TEMMINGHOFF E. (1994): Soil analysis procedures. Extraction with 0.01 M CaCl₂. syllabus. Dept. of Soil Sci. And Plant Nutrition Wageningen Agricultural University - The Netherlands 1994.
- JACKSON M. L. (1958): Soil chemical analysis. Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs N
- JARVIS S. C. -STOCKDALE E. A. - SHEPHERD M. A. - POWLSON D. S. (1996): Nitrogen mineralization in temperate agricultural soils: Processes and measurement. Adv. Agronomy No. 57:187-235. Madison, Wincosin
- JÁSZBERÉNYI I. (1994): Application of 0.01 M CaCl₂ extraction solution for the assessment of available N content in soil and environmental analyses. Agrokémia és Talajtan 43. No. 3-4. 328-334.
- JÁSZBERÉNYI I. - LOCH J. - SARKADI J. (1994): Experiences of 0.01 M calcium chloride extraction as soil testing procedure in Hungary Commun. Soil Sci Plant Anal. 1994. 25. (9-10) 1771-1777.
- I. JÁSZBERÉNYI - J. LOCH (1998a): Comparison of 0.01 M CaCl₂ with the conventional soil testing method for pH and labile nutrient content of Hungarian soil. Poster on the 11th World Fertilizer Congress 1997. Gent - Belgium. (Eds: O. Van Cleemput - S. Haneklaus – G. Hofman – E. Schnug – A. Vermosen)
- JÁSZBERÉNYI, I. - LOCH, J. (1998b): Comparison of 0,01 M CaCl₂ with the conventional soil testing method for pH labile nutrient content of Hungarian soil. Proceedings of 11 th World Fertilizer Congress Gent - Belgium. Proc. Vol. III. 343-347. p. (Eds: O. Van Cleemput - S. Haneklaus – G. Hofman – E. Schnug – A. Vermosen)
- JENNY H. (1930): A study on the influence of climate upon the nitrogen and organic matter content of the soil. Missouri Agric. Exp. Stn. Res. Bull. 152:1-66. In: Stevenson F. J. (1982): Nitrogen in agricultural soils. Agronomy No. 22. Madison, Wincosin
- KÁDÁR I. (1986): A tápanyagvizsgálatokat célzó talajmintavétel problémái hazánkban. Agrokémia és Talajtan. 35:405-414.
- KÁDÁR I. - NÉMETH T. - KOVÁCS G. (1989): Nitrogen efficiency and nitrate leaching of calcareous chernozem soil. In: Proc. 5th Int. Symposium of CIEC 1-4 Sept. 1987 Balatonfüred, Hungary. (Eds: Welte, E & Szabolcs, I.) 155-158. Goltze-Druck. Goettingen.
- KÁDÁR I. - NÉMETH T. (1993): Nitrát bemosódásának vizsgálata műtrágyázási tartamkísérletekben. Növénytermelés 42:331-338.
- KÁDÁR I. - SZEMES I. (1994): A nyírlugosi tartamkísérlet 30 éve. Magyar Tudományos Akadémia Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest 1994.

- KÁDÁR I. - PUSZTAI A. (1997): N-műtrágyák átalakulásának vizsgálata talajérlelési kísérletekben. *Agrokémia és Talajtan*. 46:259-271.
- KÁDÁR I. - NÉMETH T. - SZEMES I. (1998): A nyírlugosi tartamkísérlet 1998. évi eredményei. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest
- KÁDÁR I. - NÉMETH T. - SZEMES I. (1999): Triticale trágyareakciója a nyírlugosi tartamkísérletben. *Növénytermelés*, Tom. 48. No. 6. 647-661.
- KÁTAI J. – LAZÁNYI J. – VERES E. (1999): Talajmikrobiológiai vizsgálatok a Westsik vetésforgó tartamkísérletben. DATE Tiszántúli mezőgazdasági tudományos napok. Konferencia kiadvány (szerk.: Loch J. – Vágó I. – Jávor A.): 175-184. o.
- KÁTAI J. – BORBÉLY M. – GYŐRI Z. (2001): Occurrence and degradation of nitrate in some soil profiles in Hungary. *Acta fytotechnica et zootechnica* Vol. 4, 2001, Special number Proceedings of the Int. Sci. Conf. On the Occasion of the 59th Anniv. of the Slovak Agricultural University in Nitra 113-115.
- KÁTAI J. – BORBÉLY M. – GYŐRI Z. (2003): Nitrate dissipation in two soil profiles under laboratory condition. Proceedings of the II. Alps-Adria Scientific Workshop, Trogir, Croatia 3-8 March 2003 Hungarian Academy of Sciences, Crop Production Committee, Soil Science and Agrochemistry Committee
- KEENEY D. R. (1965): Identification and estimation of readily nitrogen in soils. In: Sarkadi J. : A műtrágyaigény becslésének módszerei. 1975. Budapest, Mezőgazdasági Kiadó, 184.o.
- KERESZTÉNY B. - CSÓK J. (1960): Néhány öntés- és réti talaj ammónium- és nitrát-nitrogén tartalmi változásának tényezői. *Agrokémia és Talajtan*. 9:213-223.
- KISMÁNYOKY T. - BALÁZS J. (1995): A szerves-trágyák szerepe a talajtermékenység fenntartásában tartamkísérletek alapján. In: XXXVII. Georgikon Napok, Keszthely, I. kötet 37-42. PATE, Keszthely
- KISMÁNYOKY T. – BALÁZS J. – HOFFMANN S. – KOVÁTS A. – SZANYI M. (1989): Gabonás vetésforgó N-forgalmának vizsgálata. *Agrokémia és Talajtan*. 38:93-97.
- KONONOVA M. M. (1966): Soil organic matter. 2nd ed. Pergamon Press, Inc. Elmsford, N. Y. p. 544. In: FILEP GY. (1999): Talajtani alapismeretek I. egyetemi jegyzet DATE, Debrecen
- KOVÁCS K. - FÜLEKY GY. (1991): Trágyázási tartamkísérlet eredményei gödöllői barna erdőtalajon 1972-1990. GATE, Talajtani és Agrokémiai Tanszék. Gödöllő, 1991.

- KULCSÁR L. - DEBRECZENI K. - JÁSZBERÉNYI I. - LOCH J. (1998): Investigation of the soil N-fractions in special consideration of the N-fertilizer recommendation for sugarbeet. Proceedings of 11th World Fertilizer Congress 1997. Gent - Belgium. Proc. Vol. III. 338-342. p. (Eds: O. Van Cleemput - S. Haneklaus – G. Hofman – E. Schnug – A. Vermosen)
- KULCSÁR L. - JÁSZBERÉNYI I. (2000): A cukorrépa tápanyagellátásának szaktanácsadási rendszere Magyarországon. Cukoripar LIII. évf. 1. 20-25.o.
- LATKOVICS GY-NÉ (1974): Nitrogén műtrágyák hatásának vizsgálata ¹⁵N indikációval szikes talajon. Agrokémia és Talajtan. 23. 11-20 o.
- LATKOVICS GY-NÉ (1979): A N-műtrágya transzformációjának és a szerves N mineralizációjának tanulmányozása ¹⁵N stabil izotópjelzéssel. I. Csernozjom jellegű barna erdőtalajon a N-formák átalakulása modellkísérletben. Agrokémia és Talajtan. 28. 473-486 o.
- LATKOVICS GY-NÉ (1981): A N-műtrágya transzformációjának és a szerves N mineralizációjának tanulmányozása ¹⁵N stabil izotópjelzéssel. II. A N-formák átalakulása karbonátos és savanyú homoktalajon. Agrokémia és Talajtan. 30. 3-15 o.
- LATKOVICS GY-NÉ (1982): A nitrogén átalakulása és mozgása a talajban. Doktori Értekezés, Budapest. In: Németh T. (1996): Talajaink szervesanyag-tartalma és nitrogénforgalma. MTA Talajtani és Agrokémiai kutató Intézete, Budapest 73-74.
- LATKOVICS GY-NÉ (1994): A kezelések N mérlege és az 1 m talajszelvény N készletének összefüggése 1977-ben, 15 év után. In: Kádár I. - Szemes I. : A nyírlugosi tartamkísérlet 30 éve. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete 1994. 209-212.
- LATKOVICS GY-NÉ - FÜLEKY GY. (1995): ¹⁵N-izotóppal jelzett ammónium-nitrát transzformációja réti talajon. Agrokémia és Talajtan. 44. 61-70 o.
- LAZÁNYI J. (1994): A homokjavító vetésforgókkal végzett kísérletek eredményei. DATE Kutató központja, Nyíregyháza 1994.
- LAZÁNYI J. (1997): Homoki gazdálkodás a Westsik-féle vetésforgó kísérlet tükrében. "Homoktalajok hasznosításának időszerű kérdései a hazai homokkutatások tükrében. Kecskemét, Konferencia Kiadvány (szerk.: Cserni I.): 76-84.
- LAZÁNYI J. – LOCH J. – JÁSZBERÉNYI I. (2002a): One hundredth molar calcium-chloride soluble organic nitrogen in the soil of Westsik's crop rotation experiment. Tartamkísérletek, tájtermesztés, vidékfejlesztés nemzetközi konferencia. Debrecen. Proc. Vol. II. 162-168. o. (Eds: E. Schnug – J. Nagy – T. Németh – Z. Kovács – T. Dövényi-Nagy) Krausz-Könyv BT.

- LAZÁNYI J. – LOCH J. – JÁSZBERÉNYI I. (2002b): Analysis of 0.01 M CaCl₂ soluble organic nitrogen in the treatments of Westsik's crop rotation experiment. *Agrokémia és Talajtan*. 51:79-88. o.
- LAZÁNYI J. – LOCH J. – NAGY P. T. (2003): Importance of 0,01 M CaCl₂ soluble organic nitrogen in the characterisation of N-supply in the treatments of Westsik's crop rotation experiment. 14th International Symposium of Fertilisers (CIEC): Fertilizers in context with resource management in agriculture. Proc. Vol. I. 104-112. (Eds: E. Schnug – J. Nagy – T. Németh – Z. Kovács – T. Dövényi-Nagy) Krausz-Könyv BT.
- LAZÁNYI J. (2003): Fenntartható gazdálkodás a Westsik vetésforgó kísérlet tapasztalatai alapján. Nyíregyháza 2003.
- LOCH J. - JÁSZBERÉNYI I. (1989): The effect of fertilization and irrigation on the change of nitrate-N content of the soil profile. In: Proc.5th Int. Symposium of CIEC, 1-4 September, 1987, Balatonfüred, Hungary. (Eds: Welte, E & Szabolcs, I.) 127-129. Goltze-Druck. Goettingen.
- LOCH J. - NOSTICZIUS Á. (1992): *Agrokémia és növényvédelmi kémia*. Mezőgazda Kiadó, Budapest
- LOCH J. (1996): A 0,01 M kalcium-klorid univerzális talajkivonat alkalmazásának lehetőségei a talajok tápelem és toxikus elemtartalmának jellemzésére. T5377 számú OTKA téma zárójelentése.
- LOCH J. - JÁSZBERÉNYI I. (1997): The 0.01 M CaCl₂ solution as a multi-element soil extractant - application and experiences in Hungary. In: Gy. Filep (ed.) "Land-use and Soil Management" Rexpo Ltd 1997. Debrecen, Hungary 1997. pp 176-184.
- LOCH J. (1999): A talajok könnyen oldható szerves N, P, S frakciói. T017043 számú OTKA téma zárójelentése.
- LOCH J. (2001): A talajok nitrogénellátottságának megítélése. Centenárium emlékülés Id. Várallyay György születésének 100. évfordulója alkalmából. *Agrokémia és Talajtan*. 50:154-159. o.
- MACLEAN A. A. (1964): Measurement of nitrogen supplying power of soils by extraction with sodium bicarbonate. In: Györi D. - Matusné Sényi K. - Phrachomphonh N. (1989): A kukorica N-műtrágya-szükségletének meghatározása a talaj könnyen oldható szervesanyag-tartalma alapján. *Agrokémia és Talajtan*. 38. 349-355.o.
- MADOS L. (1944): A talaj nitrogéntartalmáról. *Mezőgazdaságtudományi Közlemények*. 1944 (1):1-6. In: Németh T. (1996): *Talajaink szervesanyag-tartalma és nitrogénforgalma*. MTA Talajtani és Agrokémiai kutató Intézete, Budapest

- MARTIN B. (1964): A debreceni Agrártudományi Főiskola Gazdaságának 10 éves talajvizsgálata és annak tanulságai. Debreceni Agrártudományi Főiskola Évkönyve 105-117.o.
- MENGEL K. (1976): A növények táplálkozása és anyagcseréje. Mezőgazdasági Kiadó, 1976.
- MOORE A. W. - AYEKE C. A. (1965): HF-extractable ammonium nitrogen in four Nigerian soils. Soil Sci. 99:335-338. In: Stevenson F. J. (1982): Nitrogen in agricultural soils. Agronomy No. 22. Madison, Wisconsin 43-66. p.
- MORRILL L. G. - DAWSON J. E. (1967): Patterns observed for the oxidation of ammonium to nitrate by soil organisms. In: Stevenson F. J. (1982): Nitrogen in agricultural soils. Agronomy No. 22. Madison, Wisconsin
- MURPHY D. V. - MACDONALD A. J. - STOCKDALE E. A. - GOULDING K. W. T. - FORTUNE S. - GAUNT J. L. - POULTON P. R. - WAKEFIELD J. A. - WEBSTER C. P. - WILMER W. S. (2000): Soluble organic nitrogen in agricultural soils. Biol. Fertil. Soils 30:374-387.
- NÉMETH K. (1979): The availability of nutrients in the soil as determined by electroultrafiltration (EUF). Adv. Agron. 31:155-188.
- NÉMETH T. - BUZÁS I. (1985): Characterization of the mineral nitrogen content of soils for fertilization advices. In: Proc of 9th World Fert. Congress, Budapest. (Eds: Welte, E & Szabolcs, I.) Vol. 2. 220-224. Goltze-Druck. Goettingen.
- NÉMETH T. - KOVÁCS G. - KÁDÁR I. (1987-1988): A nitrát, a szulfát és a vízoldható sók bemosódásának vizsgálata műtrágyázási tartamkísérletekben. Agrokémia és Talajtan. 36-37:110-126.
- NÉMETH K. - BARTELS H. - VOGEL M. - MENGEL K. (1988): Organic nitrogen compounds extracted from arable and forest soils by electro-ultrafiltration and recovery rates of amino acids. Biol. Fertil. Soils 5:537-539.
- NÉMETH T. - BUZÁS I. (1991a): Nitrogéntrágyázási tartamkísérlet humuszos homok és mészlepedékes csernozjom talajon. Agrokémia és Talajtan. 40. 399-408.
- NÉMETH T. - BUZÁS I. (1991b): Kalibrációs N-trágyázási kísérlet őszi káposztarepce jelzőnövénnyel. Agrokémia és Talajtan. 40. 409-418.
- NÉMETH T. - A. ABD EL GALIL - BACZÓ Gy. - RADIMSZKY L. (1993a): Study of the ammonium-N and nitrate-N contents of different soils during incubation. Agrokémia és Talajtan. 42. 173-178.

- NÉMETH T. - A. ABD EL GALIL - RADIMSZKY L. (1993b): Homoktalajok ásványi-N tartalmának változása inkubációs kísérletben. In: XXXV. Georgikon Napok Keszthely, 281-288. PATE
- NÉMETH T. (1994a): Nitrátbemosódási és -felhalmozási vizsgálatok az OMTK kísérletekben. In: Trágyázási kutatások 1960-1990. Szerk.: Debreczeni-Debreczeniné 124-130. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- NÉMETH T. (1994b): Nitrate-N accumulation in the soil profiles of long-term fertilizer experiments. *Agrokémia és Talajtan.* 43: 231-238.
- NÉMETH T. (1996): Talajaink szervesanyag-tartalma és nitrogénforgalma. MTA Talajtani és Agrokémiai kutató Intézete, Budapest
- NÉMETH T. (1998a): Homokterületek környezetvédelmi problémái. Gyakorlati Agrofórum IX. évf. 7.szám 37-39.
- NÉMETH T. (1998b): Nitrogén trágyázási tartamkísérlet homoktalajon. "Homoktalajok hasznosításának időszerű kérdései a hazai homokkutatások tükrében. Kecskemét, Konferencia Kiadvány (szerk.: Cserni I.): 98-105.
- NÉMETH T. - KÁDÁR I. (1999): Nitrát bemosódásának vizsgálata és a nitrogénmérlegek alakulása egy műtrágyázási tartamkísérletben. *Növénytermelés*, Tom. 48. No. 6. 377-386
- PAGE A. L. - MILLER R. H. - KEENEY D. R. (1982): Methods of soil analysis. Part 2, *Agronomy* No. 9 (2) p. 711-733. Madison, Wisconsin USA
- PÁTER K. (1961): Talajtan (kézirat) Gödöllő. In: FEKETE Z. - HARGITAI L. - ZSOLDOS L. (1964): Talajtan és agrokémia. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
- PAUL E. A. - SCHMIDT E. L. (1960): Extraction of free amino acids from soil. *SoilSci. Soc. Am. Proc.* 24:195-198. In: C. A. Black et al. (ed.) *Methods of soil analysis.* *Agronomy* 10:93-149. Am. Soc. of Agron., Madison, Wis.
- R. VÉGH K. - FÜLEKY GY. (1995): Nitrátmozgás vizsgálata szántóföldi tartamkísérletben dinamikus szimulációval. *Agrokémia és Talajtan.* 44:361-366.
- RIDGE E. H. (1976): Studies on soil fumigation-II. *Soil Biol. Biochem.* 8:249-253.
- RUZSÁNYI L. (1992): Gondolatok, adatok a műtrágyaigény és a műtrágyahatás értékeléséhez. *Agrofórum III.:I. (Különszám)* 38-40.
- SARKADI J. (1957): Adatok a talajok szervesanyagáról. I. Talajok és humuszkivonatok szerves C tartalmának meghatározásához. *Agrokémia és Talajtan.* 6:311-320.
- SARKADI J. (1975): A műtrágyaigény becslésének módszerei. 1975. Budapest, Mezőgazdasági Kiadó

SARKADI J. - NÉMETH T. - KÁDÁR I. (1986): A talaj könnyen oldható tápanyagtartalmának heterogenitása. *Agrokémia és Talajtan*. 35:295-306.

SARKADI J. (1994): Szerves- és műtrágyák hatása a búza és kukorica termésére erdőmaradványos csernozjomon. In: *Trágyázási kutatások 1960-1990*. Szerk.: Debreczeni-Debreczeniné) Akadémiai Kiadó, Budapest. 315-322.

SKALAR (1996): *Handbook of Manual San Plus Analyzer*, skalar methods. 1996.

SOWDEN F. J. - Y. Chen - M. SCHNITZER (1977): The nitrogen distribution in soil formed under widely differing climatic conditions. *Geochim. Cosmochim. Acta* 41:1524-1526. In: C. A. Black et al. (ed.) *Methods of soil analysis*. Agronomy 10:93-149. Am. Soc. of Agron., Madison, Wis.

STANFORD G. (1968): Extractable organic nitrogen and nitrogen mineralization in soils. In: GYŐRI D. - MATUSNÉ SÉNYI K. - PHRACHOMPHONH N. (1989): A kukorica N-műtrágya-szükségletének meghatározása a talaj könnyen oldható szervesanyag-tartalma alapján. *Agrokémia és Talajtan*. 38. 349-355.o.

STANFORD G. - SMITH S. J. (1972): Nitrogen mineralization potentials of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 36:465-472. In: Page A. L. - Miller R. H. - Keeney D. R. (1982): *Methods of soil analysis*. Part 2, Agronomy No. 9 (2) p. 711-733. Madison, Wincosin

STANFORD G. (1973): Rationale for optimum nitrogen fertilization in corn production. *J. Environ. Qual.* 2:159-166. In: Page A. L. - Miller R. H. - Keeney D. R. (1982): *Methods of soil analysis*. Part 2, Agronomy No. 9 (2) p. 711-733. Madison, Wincosin

STANFORD G. - CARTER J. N. - SMITH S. J. (1974): Estimates of potentially mineralizable soil nitrogen based on short-term incubations. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 38:99-102. In: Page A. L. - Miller R. H. - Keeney D. R. (1982): *Methods of soil analysis*. Part 2, Agronomy No. 9 (2) p. 711-733. Madison, Wincosin USA

STANFORD G. (1977): Evaluating the nitrogen-supplying capacities of soils. In: Page A. L. - Miller R. H. - Keeney D. R. (1982): *Methods of soil analysis*. Part 2, Agronomy No. 9 (2) p. 711-733. Madison, Wincosin USA

STEFANOVITS P. (1966): Hazánk homoktalajainak jellemzése. In: *Növénytermesztés homokon*. (Szerk. Antal J.) 9-22. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest

STEFANOVITS P. (1975): *Talajtan*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest

STEVENSON F. J. (1959): Carbon-nitrogen relationships in soil. *Soil Sci.* 88:201-208. In: Stevenson F. J. (1982): *Nitrogen in agricultural soils*. Agronomy No. 22. Madison, Wincosin

- STEVENSON F. J. (1982): Nitrogen in agricultural soils. Agronomy No. 22. Madison, Wincosin
- STEWART B. A. - PORTER L. K. (1963): Inability of the Kjeldahl method to fully measure indigenous fixed ammonium in some soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 27:41-43.
- In. Page A. L. - Miller R. H. - Keeney D. R. (1982): Methods of soil analysis. Part 2, Agronomy No. 9 (2) p. 595-624. Madison, Wincosin USA
- SVÁB J. (1981): Biometriai módszerek a kutatásban. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- SZEBENI I. - BUZÁS I. (1985): The effect of nitrogen fertilizers and plant residues on the nitrogen forms of soil. In: Proc of 9th World Fert. Congress, Budapest. (Eds: Welte, E & Szabolcs, I.) Vol. 2. 209-213. Goltze-Druck. Goettingen.
- SZŰCS M. (1989): A talaj nitrát-tartalmának változása az évszakok és a műtrágyázás hatására. Acta Ovariensis 31. (4) 45-52. In: Németh T. (1996): Talajaink szervesanyag-tartalma és nitrogénforgalma. MTA Talajtani és Agrokémiai kutató Intézete, Budapest
- THOMPSON L. M. (1964): In. Fekete Z. - Hargitai L. - Zsoldos L. (1964): Talajtan és agrokémia. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest 121.o.
- TRUCHOT M. (1875): Observations sur la composition les terres arables de l'Auvergne Ann. Agron. 1;535-551. In: Stevenson F. J.: Nitrogen in agricultural soils. Agronomy No. 22. p. 54. Madison, Wincosin USA
- VÁRALLYAY Gy. (1940): A talaj táplálékanyag-tartalmának változása és annak vizsgálata. Mezőgazd. Kut. 13. 71-81.o. In: Loch J. (2001): A talajok nitrogénellátottságának megítélése. Centenáriumi emlékülés Id. Várallyay György születésének 100. évfordulója alkalmából. Agrokémia és Talajtan. 50:154-159. o.
- VÁRALLYAY Gy. (1944): Várallyay eljárása a szántóföldön bekövetkező foszforsav-, kálium- és nitrogéntrágya hatás laboratóriumi megítélésére. In: Loch J. (2001): A talajok nitrogénellátottságának megítélése. Centenáriumi emlékülés Id. Várallyay György születésének 100. évfordulója alkalmából. Agrokémia és Talajtan. 50:154-159.o
- VÉGH K. R. - NÉMETH T. - RADIMSZKY L. (1998): Root and moisture distribution of nitrogen treatments in a long-term fertilization experiment. Agrokémia és Talajtan. 47:145-156.
- WEBER D. F. - GAINEY P. L. (1962): Relative sensitivity of nitrifying organisms to hydrogen ions in soils and in solutions. In: Stevenson F. J. (1982): Nitrogen in agricultural soils. Agronomy No. 22. Madison, Wincosin

- WEHRMANN J. - SCHARPF H. C. (1979): Der Mineral-stickstoffgehalt des Bodens als Maßstab für den Stickstoffdüngerbedarf (N_{\min} -Methode). Plant and Soil 52. 109-126. In: Loch J. (2001): A talajok nitrogénellátottságának megítélése. Centenáriumi emlékülés Id. Várallyay György születésének 100. évfordulója alkalmából. Agrokémia és Talajtan. 50:154-159
- WEHRMANN J. - SCHARPF H. C. (1983): Sacherechte Stickstoffdüngung-schatzen, kalkulieren, messen AID. Heft. 17 In: Németh T. - Buzás I. (1991): Nitrogéntrágyázási tartamkísérlet humuszos homok és mészlepedékes csernozjom talajon. Agrokémia és Talajtan 40. No. 3-4. 399-409.o.
- WESTSIK V. (1965): Vetésforgó kísérletek homoktalajon. Akadémiai Kiadó, Budapest In: Lazányi J. (1994): A homokjavító vetésforgókkal végzett kísérletek eredményei. DATE Kutató központja, Nyíregyháza 1994.
- WILLIAMS B. L. - EDWARDS A. C. (1993): Process influencing dissolved organic nitrogen, phosphorus and sulphur in soil. Chem. Ecol. 8. 203-215.
- YOUNG J. L. (1962): Inorganic soil nitrogen and carbon/nitrogen ratios of some pacific north-west soils. Soil Sci. 93:397-404. In: Page A. L. - Miller R. H. - Keeney D. R. (1982): Methods of soil analysis. Part 2, Agronomy No. 9 (2) p. 643-698. Madison, Wincosin USA

MELLÉKLETEK

1. melléklet: A nyírlugosi tartamkísérlet kezelései (kg/ha)

Kezelésszám	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg
1	150				
2		60			
3			60		
4	50	60			
5	50	60	60		
6	100	120	120		
7		120			
8			120		
9	100	120			
10	100	120	120		
11	100	120	120		40
12		180			
13			180		
14	150	180			
15	150	180	180		
16	100	120	120		80
17					
18	100				
19	100	60			
20	100		60		
21	100	120	120	100	
22	100	120	120	200	
23	50				
24	100	120			
25	100		120		
26	100	120	120	200	
27	100	120	120	200	40
28					
29	100	180			
30	100		180		
31	100	120	120	400	
32	100	120	120	200	80

**2. melléklet: Trágyakezelések a Westsik vetésforgó-kísérletben 1973-óta
(LAZÁNYI, 2003)**

Év	N				P				K			
	1973 - 2000				1973 - 2000				1973 - 2000			
Szakasz	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
F-1	0	0	0		0	0	0		0	0	0	
F-2	0	0	44		63	31	0		56	28	0	
F-3	0	0	44		63	31	0		56	28	0	
F-4	44	44	0		31	31	0		28	28	0	
F-5	63	44	0		31	31	0		28	28	0	
F-6	63	44	0		31	31	0		28	28	0	
F-7	0	0	0		0	0	0		0	0	0	
F-8	0	44	0	44	31	31	31	0	28	28	28	0
F-9	0	44	44		63	31	0		56	28	0	
F-10	0	0	0		0	0	0		0	0	0	
F-11	0	0	44		63	31	0		56	28	0	
F-12	0	0	44		63	31	0		56	28	0	
F-13	44	0	44		31	31	31		28	28	28	
F-14	44	0	44		31	31	31		28	28	28	
F-15	0	0	0		0	0	0		0	0	0	

Megjegyzés: A kijutatott műtrágya adagok 1993 után, nem változtak.

3. melléklet: A nyírlugosi tartamkísérlet 0,01 M CaCl₂ oldható NO₃⁻-N mennyiségei (mg/kg) 1998.

Kezelés	Réteg			Átlag
	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	
1	2,58	10,17	7,50	6,75
2	0,18	0,13	0,18	0,16
3	0,15	0,13	0,15	0,14
4	0,43	0,53	0,55	0,50
5	0,58	1,13	1,15	0,95
6	0,40	0,73	0,93	0,69
7	0,18	0,23	0,15	0,18
8	0,15	0,13	0,18	0,15
9	0,23	1,65	2,98	1,62
10	0,13	0,40	1,20	0,58
11	3,00	3,30	3,03	3,11
12	0,18	0,18	0,20	0,18
13	0,18	0,15	0,25	0,19
14	4,00	4,98	4,63	4,53
15	1,10	2,78	6,33	3,40
16	1,15	1,90	2,03	1,69
17	0,45	0,13	0,23	0,27
18	0,30	1,10	1,13	0,84
19	1,40	1,15	1,60	1,38
20	0,23	0,13	1,48	0,61
21	1,83	0,93	1,88	1,54
22	3,00	3,00	3,58	3,19
23	0,75	0,68	1,20	0,88
24	1,05	2,13	5,13	2,77
25	4,68	3,70	2,63	3,67
26	2,88	4,38	5,13	4,13
27	2,70	3,65	3,85	3,40
28	0,13	0,15	0,30	0,19
29	0,83	2,80	4,08	2,57
30	0,23	0,18	0,80	0,40
31	4,95	6,90	6,15	6,00
32	6,55	7,10	3,45	5,70
Átlag	1,45	2,08	2,31	1,95

Variancia táblázat

VARIANCIANALÍZIS NO₃⁻-N

Tényezők	SQ	FG	MQ	F	SzD _{5%}
Kezelés	1377,07	31	44,42	29,02***	1,72
Mélység	50,49	2	25,24	16,49***	1,00
Kezelés x Mélység	277,56	62	4,47	2,92***	0,30
Hiba	440,842	288	1,53		
Összesen	2145,96	383			

Megjegyzés:*** - 0,1%-os, ** - 1%-os, * - 5%-os szinten szignifikáns hatás, (ns) – nem szignifikáns hatás

4. melléklet: A nyírlugosi tartamkísérlet 0,01 M CaCl₂ oldható NH₄⁺-N mennyiségei (mg/kg) 1998.

Kezelés	Réteg			Átlag
	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	
1	7,05	3,80	2,38	4,41
2	2,83	1,98	1,40	2,07
3	2,78	2,13	1,45	2,12
4	2,95	2,45	3,40	2,93
5	2,83	2,13	1,40	2,12
6	2,15	2,83	1,30	2,09
7	2,05	1,45	1,18	1,56
8	2,23	2,23	1,85	2,10
9	3,08	2,15	1,53	2,25
10	3,23	2,40	1,77	2,46
11	2,93	2,30	1,73	2,32
12	2,50	2,60	2,08	2,39
13	2,63	2,10	1,85	2,19
14	6,93	4,33	2,23	4,49
15	5,68	3,25	2,23	3,72
16	2,60	2,23	1,75	2,19
17	4,23	2,68	1,43	2,78
18	3,10	2,30	2,90	2,77
19	3,28	2,23	1,50	2,33
20	3,48	2,00	1,25	2,24
21	3,05	2,10	1,50	2,22
22	3,15	2,28	1,75	2,39
23	3,43	3,13	2,28	2,94
24	3,18	2,05	1,68	2,30
25	3,37	2,37	2,18	2,64
26	3,50	2,68	0,95	2,38
27	1,40	0,93	0,75	1,03
28	1,60	0,88	0,90	1,13
29	2,50	1,55	0,58	1,54
30	2,13	2,78	2,05	2,32
31	2,75	2,63	1,85	2,41
32	2,55	2,25	1,73	2,18
Átlag	3,16	2,35	1,71	2,41

Variancia táblázat

VARIANCIANALÍZIS NH₄⁺-N

Tényezők	SQ	FG	MQ	F	SzD _{5%}
Kezelés	200,64	31	6,47	8,94***	1,19
Mélység	134,77	2	67,39	93,06***	0,68
Kezelés x Mélység	97,53	62	1,57	2,17***	0,21
Hiba	208,55	288	0,72		
Összesen	641,48	383			

Megjegyzés:*** - 0,1%-os, ** - 1%-os, * - 5%-os szinten szignifikáns hatás, (ns) – nem szignifikáns hatás

5. melléklet: A nyírlugosi tartamkísérlet 0,01 M CaCl₂ oldható szerves--N mennyiségei (mg/kg) 1998.

Kezelés	Réteg			Átlag
	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	
1	4,55	3,85	1,78	3,39
2	3,63	3,10	1,53	2,75
3	4,05	3,30	1,50	2,95
4	4,33	3,63	1,90	3,28
5	4,70	4,00	1,78	3,49
6	4,75	4,15	2,50	3,80
7	3,90	3,35	1,60	2,95
8	3,95	3,40	1,60	2,98
9	4,53	3,85	1,75	3,38
10	4,75	4,33	2,15	3,74
11	4,78	4,10	2,10	3,66
12	4,48	3,35	2,10	3,31
13	3,63	3,20	1,95	2,93
14	4,35	3,70	2,53	3,53
15	4,15	4,15	0,80	3,03
16	5,63	4,80	1,65	4,03
17	5,23	4,53	3,35	4,37
18	4,98	3,53	1,60	3,37
19	4,43	3,58	1,80	3,27
20	5,05	4,15	2,20	3,80
21	4,70	4,23	2,58	3,83
22	4,83	4,08	2,63	3,84
23	4,15	3,60	1,35	3,03
24	4,28	2,65	1,08	2,67
25	6,43	1,85	0,68	2,98
26	5,28	3,95	1,63	3,62
27	6,80	5,13	4,28	5,40
28	3,13	3,08	1,08	2,43
29	4,15	3,63	1,70	3,16
30	4,05	3,73	2,43	3,40
31	4,98	3,23	0,90	3,03
32	7,25	5,10	3,88	5,41
Átlag	4,68	3,76	1,95	3,46

Variancia táblázat

VARIANCIANALÍZIS szerves-N

Tényezők	SQ	FG	MQ	F	SzD _{5%}
Kezelés	163,01	31	5,26	14,09***	0,49
Mélység	495,02	2	247,51	663,17***	0,15
Kezelés x Mélység	68,47	62	1,10	2,96***	0,85
Hiba					
Összesen	833,98	383			

Megjegyzés:*** - 0,1%-os, ** - 1%-os, * - 5%-os szinten szignifikáns hatás, (ns) – nem szignifikáns hatás

6. melléklet: A nyírlugosi tartamkísérlet 0,01 M CaCl₂ oldható összes-N mennyiségei (mg/kg) 1998.

Kezelés	Réteg			Átlag
	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	
1	14,15	15,95	11,95	14,02
2	6,48	5,08	3,03	4,86
3	6,85	5,30	3,00	5,05
4	7,70	6,60	5,88	6,73
5	8,08	6,95	4,35	6,46
6	7,93	8,85	4,13	6,97
7	5,75	4,48	2,75	4,33
8	6,13	5,63	3,58	5,11
9	8,23	7,70	6,25	7,39
10	9,30	7,85	6,35	7,83
11	10,70	9,68	5,20	8,53
12	6,88	5,80	3,33	5,34
13	6,20	5,13	3,85	5,06
14	15,25	12,98	9,35	12,53
15	11,98	10,20	9,35	10,51
16	7,90	7,73	5,53	7,05
17	8,15	5,50	2,83	5,49
18	11,45	6,93	6,98	8,45
19	9,10	6,95	4,98	7,01
20	9,53	6,85	4,85	7,08
21	9,55	8,73	5,95	8,08
22	10,98	11,23	7,93	10,04
23	8,33	7,43	4,83	6,86
24	8,55	6,85	5,63	7,01
25	9,48	8,05	4,58	7,37
26	11,63	11,00	6,03	9,55
27	8,10	6,98	5,55	6,88
28	4,68	3,78	2,08	3,51
29	9,88	7,95	6,38	8,07
30	6,30	6,50	5,23	6,01
31	12,63	12,75	8,93	11,43
32	10,70	9,45	5,93	8,69
Átlag	9,01	7,90	5,52	7,48

Variancia táblázat

VARIANCIANALÍZIS összes-N					
Tényezők	SQ	FG	MQ	F	SzD _{5%}
Kezelés	2067,6	31	66,7	15,08***	2,93
Mélység	818,1	2	409,8	9246***	1,69
Kezelés x Mélység	173,9	62	2,81	63**	0,52
Hiba	1774,15	288			
Összesen	4333,81	383			

Megjegyzés:*** - 0,1%-os, ** - 1%-os, * - 5%-os szinten szignifikáns hatás, (ns) – nem szignifikáns hatás

7. melléklet: A nyírlugosi tartamkísérlet 0,01 M CaCl₂ oldható NO₃⁻-N mennyiségei (mg/kg) 2001.

Kezelés	Réteg			Átlag
	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	
1	6,70	10,43	9,50	8,88
2	0,42	0,32	0,84	0,53
3	0,21	0,00	0,82	0,34
4	0,92	0,54	0,80	0,75
5	0,84	1,17	2,27	1,43
6	0,88	1,88	2,26	1,68
7	0,38	0,20	0,71	0,43
8	0,39	0,07	0,62	0,36
9	1,66	3,67	3,70	3,01
10	0,74	1,32	2,15	1,40
11	1,40	6,84	5,48	4,57
12	0,26	0,06	0,62	0,31
13	0,15	0,00	0,84	0,33
14	1,59	7,71	8,26	5,85
15	2,34	4,57	4,09	3,67
16	3,04	6,87	4,93	4,95
17	0,18	0,03	0,73	0,31
18	2,17	3,41	4,48	3,35
19	2,32	4,52	4,54	3,79
20	1,05	2,89	2,62	2,19
21	1,34	3,18	3,23	2,58
22	2,65	5,42	4,28	4,11
23	0,44	0,83	1,24	0,83
24	0,90	4,40	4,11	3,13
25	1,44	3,24	5,71	3,46
26	1,26	2,30	3,34	2,30
27	2,04	5,15	4,20	3,80
28	0,04	0,00	0,47	0,17
29	0,19	0,74	1,32	0,75
30	0,57	1,75	1,70	1,34
31	2,04	5,48	5,37	4,30
32	1,53	5,78	7,06	4,79
Átlag	1,31	2,96	3,20	2,49

Variancia táblázat

VARIANCIANALÍZIS NO₃⁻-N

Tényezők	SQ	FG	MQ	F	SzD _{5%}
Kezelés	1556,06	31	50,19	6,72***	2,20
Mélység	268,83	2	134,41	18,00***	0,67
Kezelés x Mélység	262,27	62	4,23	0,56 (ns)	3,81
Hiba	2150,34	288	7,46		
Összesen	4237,52	383			

Megjegyzés:*** - 0,1%-os, ** - 1%-os, * - 5%-os szinten szignifikáns hatás, (ns) – nem szignifikáns hatás

8. melléklet: A nyírlugosi tartamkísérlet 0,01 M CaCl₂ oldható NH₄⁺-N mennyiségei (mg/kg) 2001.

Kezelés	Réteg			Átlag
	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	
1	14,77	3,90	2,45	7,04
2	3,50	3,30	2,62	3,14
3	3,80	3,02	2,11	2,98
4	3,11	2,65	3,04	2,93
5	5,67	3,19	1,71	3,52
6	5,55	2,54	3,74	3,94
7	3,31	4,46	1,88	3,22
8	4,46	3,93	3,46	3,95
9	3,77	3,71	2,68	3,39
10	4,93	4,56	2,15	3,88
11	3,86	3,12	2,34	3,10
12	3,47	2,56	1,94	2,66
13	4,90	4,47	2,56	3,98
14	7,60	3,24	2,47	4,44
15	4,81	2,26	2,21	3,09
16	4,78	2,56	2,14	3,16
17	5,27	4,13	2,44	3,94
18	3,77	4,40	6,04	4,74
19	4,09	3,92	2,05	3,35
20	6,76	5,70	5,82	6,09
21	6,72	4,65	5,49	5,62
22	6,31	3,96	3,71	4,66
23	5,85	4,77	6,05	5,55
24	4,18	3,55	2,05	3,26
25	4,46	4,35	3,02	3,94
26	4,37	3,69	3,78	3,94
27	4,24	5,49	1,63	3,79
28	3,65	2,49	2,42	2,85
29	5,97	3,72	2,32	4,00
30	4,10	5,69	3,86	4,55
31	3,93	2,84	3,15	3,31
32	3,07	4,05	3,81	3,64
Átlag	4,97	3,78	3,04	3,93

Variancia táblázat

VARIANCIANALÍZIS NH₄⁺-N

Tényezők	SQ	FG	MQ	F	SzD _{5%}
Kezelés	374,24	31	12,07	1,97**	1,99
Mélység	243,45	2	121,73	19,82***	0,61
Kezelés x Mélység	490,04	62	7,90	1,29 (ns)	3,45
Hiba	1768,97	288	6,14		
Összesen	2876,70	383			

Megjegyzés:*** - 0,1%-os, ** - 1%-os, * - 5%-os szinten szignifikáns hatás, (ns) – nem szignifikáns hatás

9. melléklet: A nyírlugosi tartamkísérlet 0,01 M CaCl₂ oldható szerves-N mennyiségei (mg/kg) 2001.

Kezelés	Réteg			Átlag
	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	
1	5,19	5,95	3,72	4,95
2	4,73	3,61	2,25	3,53
3	5,19	3,55	2,81	3,85
4	4,89	4,28	5,98	5,05
5	5,46	4,59	3,13	4,39
6	5,77	4,92	4,16	4,95
7	4,34	3,68	6,03	4,68
8	5,28	3,87	3,94	4,36
9	5,85	6,18	4,35	5,46
10	6,52	6,38	4,02	5,64
11	5,39	5,66	3,02	4,69
12	6,77	4,12	2,81	4,56
13	4,93	5,87	5,04	5,28
14	6,23	5,10	3,35	4,89
15	5,64	3,81	3,17	4,21
16	5,67	4,81	4,05	4,84
17	5,55	4,33	2,28	4,05
18	5,90	7,52	2,98	5,47
19	6,23	4,48	3,54	4,75
20	5,78	4,34	5,25	5,12
21	6,33	4,57	3,93	4,94
22	4,97	4,62	3,24	4,28
23	4,97	4,86	3,18	4,34
24	5,19	5,41	3,15	4,58
25	5,15	6,28	2,28	4,57
26	5,44	4,70	2,67	4,27
27	5,01	3,98	2,54	3,84
28	5,34	3,82	3,99	4,38
29	4,94	4,86	2,80	4,20
30	5,32	5,18	2,44	4,31
31	6,04	4,79	1,92	4,25
32	4,80	4,44	3,34	4,19
Átlag	5,46	4,83	3,48	4,59

Variancia táblázat

VARIANCIANALÍZIS szerves-N

Tényezők	SQ	FG	MQ	F	SzD _{5%}
Kezelés	92,99	31	3,00	0,63 (ns)	1,76
Mélység	262,49	2	131,24	27,50***	0,54
Kezelés x Mélység	185,38	62	2,99	0,63 (ns)	3,04
Hiba	1374,70	288	4,77		
Összesen	1915,55	383			

Megjegyzés:*** - 0,1%-os, ** - 1%-os, * - 5%-os szinten szignifikáns hatás, (ns) – nem szignifikáns hatás

10. melléklet: A nyírlugosi tartamkísérlet 0,01 M CaCl₂ oldható összes-N mennyiségei (mg/kg) 2001.

Kezelés	Réteg			Átlag
	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	
1	26,67	20,28	15,66	20,87
2	8,64	7,23	5,70	7,19
3	9,21	6,57	5,74	7,17
4	8,91	7,47	9,81	8,73
5	11,97	8,95	7,12	9,34
6	12,21	9,33	10,16	10,57
7	8,03	8,34	8,62	8,33
8	10,13	7,87	8,02	8,67
9	11,28	13,55	10,74	11,85
10	12,20	12,26	8,33	10,93
11	10,65	15,61	10,84	12,36
12	10,50	6,74	5,37	7,54
13	9,98	10,32	8,44	9,58
14	15,42	16,04	14,08	15,18
15	12,78	10,65	9,47	10,97
16	13,49	14,24	11,12	12,95
17	11,00	8,49	5,44	8,31
18	11,83	15,33	13,50	13,55
19	12,64	12,93	10,12	11,90
20	13,59	12,93	13,68	13,40
21	14,39	12,40	12,65	13,14
22	13,93	14,00	11,22	13,05
23	11,26	10,45	10,46	10,72
24	10,26	13,34	9,31	10,97
25	11,05	13,87	11,01	11,97
26	11,05	10,68	9,79	10,51
27	11,28	14,62	8,36	11,42
28	9,02	6,23	6,88	7,38
29	11,10	9,32	6,44	8,95
30	9,99	12,62	8,00	10,20
31	12,02	13,11	10,44	11,86
32	9,40	14,27	14,21	12,63
Átlag	11,74	11,56	9,71	11,01

Variancia táblázat

VARIANCIAANALÍZIS összes-N					
Tényezők	SQ	FG	MQ	F	SzD _{5%}
Kezelés	2823,84	31	91,09	4,57***	3,59
Mélység	329,49	2	164,75	8,27***	1,10
Kezelés x Mélység	745,28	62	12,02	0,60 (ns)	6,22
Hiba	5734,45	288	19,91		
Összesen	9633,05	383			

Megjegyzés:*** - 0,1%-os, ** - 1%-os, * - 5%-os szinten szignifikáns hatás, (ns) – nem szignifikáns hatás

11. melléklet: A kiemelt kezelések variancia táblázatai (Nyírlugos 1998)

VARIANCIAANALÍZIS NO ₃ ⁻ -N (kiemelt kezelések)					
<i>Tényezők</i>	<i>SQ</i>	<i>FG</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>SzD_{5%}</i>
Kezelés	747	10	74,68	33,74***	1,20
Mélység	26	2	13,19	5,96**	0,63
Kezelés x Mélység	160	20	7,97	3,60***	2,08
Hiba	219	99	2,21		
Összesen	1152	131			

Megjegyzés:*** - 0,1%-os, ** - 1%-os, * - 5%-os szinten szignifikáns hatás, (ns) – nem szignifikáns hatás

VARIANCIAANALÍZIS NH ₄ ⁺ -N (kiemelt kezelések)					
<i>Tényezők</i>	<i>SQ</i>	<i>FG</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>SzD_{5%}</i>
Kezelés	76	10	7,59	10,27***	0,69
Mélység	45	2	22,47	30,41***	0,36
Kezelés x Mélység	40	20	1,99	2,70***	1,20
Hiba	73	99	0,74		
Összesen	234	131			

Megjegyzés:*** - 0,1%-os, ** - 1%-os, * - 5%-os szinten szignifikáns hatás, (ns) – nem szignifikáns hatás

VARIANCIAANALÍZIS szerves-N (kiemelt kezelések)					
<i>Tényezők</i>	<i>SQ</i>	<i>FG</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>SzD_{5%}</i>
Kezelés	79	10	7,94	11,09***	0,68
Mélység	227	2	113,34	158,31***	0,36
Kezelés x Mélység	42	20	2,10	2,94***	1,18
Hiba	71	99	0,72		
Összesen	419	131			

Megjegyzés:*** - 0,1%-os, ** - 1%-os, * - 5%-os szinten szignifikáns hatás, (ns) – nem szignifikáns hatás

VARIANCIAANALÍZIS összes-N (kiemelt kezelések)					
<i>Tényezők</i>	<i>SQ</i>	<i>FG</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>SzD_{5%}</i>
Kezelés	949	10	94,94	15,56***	2,00
Mélység	311	2	155,56	25,49***	1,04
Kezelés x Mélység	82	20	4,10	0,67 (ns)	3,46
Hiba	604	99	6,10		
Összesen	1947	383			

Megjegyzés:*** - 0,1%-os, ** - 1%-os, * - 5%-os szinten szignifikáns hatás, (ns) – nem szignifikáns hatás

12. melléklet: A kiemelt kezelések variancia táblázatai (Nyírlugos 2001)

VARIANCIAANALÍZIS NO ₃ ⁻ -N (kiemelt kezelések)					
Tényezők	SQ	FG	MQ	F	SzD _{5%}
Kezelés	771,21	10	77,12	7,41***	2,608
Mélység	135,39	2	67,69	6,50**	1,362
Kezelés x Mélység	86,97	20	4,34	0,42 (ns)	4,517
Hiba	1030,52	99	10,40		

Összesen 2024,11 131

Megjegyzés:*** - 0,1%-os, ** - 1%-os, * - 5%-os szinten szignifikáns hatás, (ns) – nem szignifikáns hatás

VARIANCIAANALÍZIS NH ₄ ⁺ -N (kiemelt kezelések)					
Tényezők	SQ	FG	MQ	F	SzD _{5%}
Kezelés	180,08	10	18,00	2,79**	2,05
Mélység	97,78	2	48,89	7,58***	1,07
Kezelés x Mélység	346,87	20	17,34	2,69***	3,56
Hiba	638,39	99	6,44		

Összesen 1263,14 131

Megjegyzés:*** - 0,1%-os, ** - 1%-os, * - 5%-os szinten szignifikáns hatás, (ns) – nem szignifikáns hatás

VARIANCIAANALÍZIS szerves-N (kiemelt kezelések)					
Tényezők	SQ	FG	MQ	F	SzD _{5%}
Kezelés	29,20	10	2,92	0,68 (ns)	1,67
Mélység	127,10	2	63,55	14,84***	0,87
Kezelés x Mélység	53,26	20	2,66	0,62 (ns)	2,90
Hiba	423,87	99	4,28		

Összesen 633,44 131

Megjegyzés:*** - 0,1%-os, ** - 1%-os, * - 5%-os szinten szignifikáns hatás, (ns) – nem szignifikáns hatás

VARIANCIAANALÍZIS összes-N (kiemelt kezelések)					
Tényezők	SQ	FG	MQ	F	SzD _{5%}
Kezelés	1452,35	10	145,23	6,26***	3,89
Mélység	92,77	2	46,38	2,00 (ns)	2,03
Kezelés x Mélység	411,98	20	20,59	0,89 (ns)	6,74
Hiba	2295,88	99	23,19		

Összesen 4253,00 131

Megjegyzés:*** - 0,1%-os, ** - 1%-os, * - 5%-os szinten szignifikáns hatás, (ns) – nem szignifikáns hatás

13. melléklet: A kezelések variancia táblázatai (Westsik 2000)

VARIANCIAANALÍZIS NO ₃ ⁻ -N					
Tényezők	SQ	FG	MQ	F	SzD _{5%}
Kezelés	406,80	14	29,05	10,71***	0,84
Mélység	247,96	2	123,98	45,71***	0,39
Kezelés x Mélység	109,99	28	3,92	1,44*	1,53
Hiba	976,36	360	2,71		
Összesen	1741,13	404			

Megjegyzés:*** - 0,1%-os, ** - 1%-os, * - 5%-os szinten szignifikáns hatás, (ns) – nem szignifikáns hatás

VARIANCIAANALÍZIS NH ₄ ⁺ -N					
Tényezők	SQ	FG	MQ	F	SzD _{5%}
Kezelés	51,19	14	3,66	6,21***	0,41
Mélység	150,75	2	75,37	128,08***	0,06
Kezelés x Mélység	17,68	28	0,63	1,07 (ns)	0,71
Hiba	211,86	360	0,59		
Összesen	431,46	404			

Megjegyzés:*** - 0,1%-os, ** - 1%-os, * - 5%-os szinten szignifikáns hatás, (ns) – nem szignifikáns hatás

VARIANCIAANALÍZIS szerves-N					
Tényezők	SQ	FG	MQ	F	SzD _{5%}
Kezelés	231,36	14	16,53	20,05***	0,49
Mélység	109,54	2	54,77	66,46***	0,22
Kezelés x Mélység	15,18	28	0,54	0,66 (ns)	0,84
Hiba	296,68	360	0,82		
Összesen	652,77	404			

Megjegyzés:*** - 0,1%-os, ** - 1%-os, * - 5%-os szinten szignifikáns hatás, (ns) – nem szignifikáns hatás

VARIANCIAANALÍZIS összes-N					
Tényezők	SQ	FG	MQ	F	SzD _{5%}
Kezelés	1362,07	14	97,29	16,65***	1,3
Mélység	55,34	2	27,67	4,74**	0,58
Kezelés x Mélység	87,30	28	3,12	0,53 (ns)	2,24
Hiba	2103,44	360	5,84		
Összesen	3608,14	404			

Megjegyzés:*** - 0,1%-os, ** - 1%-os, * - 5%-os szinten szignifikáns hatás, (ns) – nem szignifikáns hatás

14. melléklet: A kezelések variancia táblázatai (Westsik 2001)

VARIANCIAANALÍZIS NO ₃ ⁻ -N					
Tényezők	SQ	FG	MQ	F	SzD _{5%}
Kezelés	747,30	14	53,38	3,50***	2,09
Mélység	226,78	2	113,39	7,44***	0,94
Kezelés x Mélység	418,06	28	14,93	0,98 (ns)	3,62
Hiba	5483,44	360	15,23		
Összesen	6875,57	404			

Megjegyzés:*** - 0,1%-os, ** - 1%-os, * - 5%-os szinten szignifikáns hatás, (ns) – nem szignifikáns hatás

VARIANCIAANALÍZIS NH ₄ ⁺ -N					
Tényezők	SQ	FG	MQ	F	SzD _{5%}
Kezelés	366,26	14	26,16	3,14***	1,55
Mélység	424,01	2	212,01	25,44***	0,22
Kezelés x Mélység	293,87	28	10,50	1,26 (ns)	2,68
Hiba	2999,54	360	8,33		
Összesen	4083,68	404			

Megjegyzés:*** - 0,1%-os, ** - 1%-os, * - 5%-os szinten szignifikáns hatás, (ns) – nem szignifikáns hatás

VARIANCIAANALÍZIS szerves-N					
Tényezők	SQ	FG	MQ	F	SzD _{5%}
Kezelés	450,95	14	32,21	27,00***	0,59
Mélység	164,77	2	82,39	69,05***	0,26
Kezelés x Mélység	28,29	28	1,01	0,85 (ns)	1,01
Hiba	429,51	360	1,19		
Összesen	1073,52	404			

Megjegyzés:*** - 0,1%-os, ** - 1%-os, * - 5%-os szinten szignifikáns hatás, (ns) – nem szignifikáns hatás

VARIANCIAANALÍZIS összes-N					
Tényezők	SQ	FG	MQ	F	SzD _{5%}
Kezelés	2299,22	14	164,23	3,99***	3,44
Mélység	2346,27	2	1173,13	28,47***	1,54
Kezelés x Mélység	1289,21	28	46,04	1,12 (ns)	5,96
Hiba	14835,15	360	41,21		
Összesen	20769,85	404			

Megjegyzés:*** - 0,1%-os, ** - 1%-os, * - 5%-os szinten szignifikáns hatás, (ns) – nem szignifikáns hatás

15. melléklet: A kezelések variancia táblázatai (Westsik 2002)

VARIANCIAANALÍZIS NO ₃ ⁻ -N					
Tényezők	SQ	FG	MQ	F	SzD _{5%}
Kezelés	2053,99	14	146,71	6,74***	2,50
Mélység	30,11	2	15,06	0,69 (ns)	1,12
Kezelés x Mélység	776,86	28	27,75	1,27 (ns)	4,33
Hiba	7840,74	360	21,78		
Összesen	10701,71	404			

Megjegyzés:*** - 0,1%-os, ** - 1%-os, * - 5%-os szinten szignifikáns hatás, (ns) – nem szignifikáns hatás

VARIANCIAANALÍZIS NH ₄ ⁺ -N					
Tényezők	SQ	FG	MQ	F	SzD _{5%}
Kezelés	295,70	14	21,12	5,87***	1,02
Mélység	122,35	2	61,18	17,01***	0,14
Kezelés x Mélység	110,65	28	3,95	1,10 (ns)	1,76
Hiba	1294,50	360	3,60		
Összesen	1823,19	404			

Megjegyzés:*** - 0,1%-os, ** - 1%-os, * - 5%-os szinten szignifikáns hatás, (ns) – nem szignifikáns hatás

VARIANCIAANALÍZIS szerves-N					
Tényezők	SQ	FG	MQ	F	SzD _{5%}
Kezelés	201,45	14	14,39	13,23***	0,56
Mélység	61,69	2	30,84	28,36***	0,25
Kezelés x Mélység	17,49	28	0,62	0,57 (ns)	0,97
Hiba	391,50	360	1,09		
Összesen	672,12	404			

Megjegyzés:*** - 0,1%-os, ** - 1%-os, * - 5%-os szinten szignifikáns hatás, (ns) – nem szignifikáns hatás

VARIANCIAANALÍZIS összes-N					
Tényezők	SQ	FG	MQ	F	SzD _{5%}
Kezelés	4659,01	14	332,79	8,11***	3,43
Mélység	556,63	2	278,31	6,79**	1,54
Kezelés x Mélység	1378,59	28	49,24	1,20 (ns)	5,95
Hiba	14765,61	360	41,02		
Összesen	21359,84	404			

Megjegyzés:*** - 0,1%-os, ** - 1%-os, * - 5%-os szinten szignifikáns hatás, (ns) – nem szignifikáns hatás

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönettel tartozom témavezetőmnek Dr. Loch Jakab egyetemi tanárnak, professzor emeritusnak, aki szakmai irányításával, tanácsaival segítette dolgozatom elkészülését.

Köszönet illeti Dr. Kiss Szendille tanszékvezető, egyetemi docenst, hogy lehetővé tette a dolgozat elkészítését a tanszéken.

Külön köszönöm a tanszék valamennyi munkatársának a mintaszedésekben valamint a vizsgálatokban nyújtott segítségét.

Köszönöm a doktori iskola mindenkori vezetőjének, hogy segítette disszertációm elkészülését.

Végül de nem utolsó sorban külön köszönet a két tartamkísérlet vezetőjének Dr. Lazányi Jánosnak és Dr. Márton Lászlónak, hogy az adataik rendelkezésemre bocsátása mellett számos hasznos szakmai tanáccsal láttak el a dolgozat készítése során.

NYILATKOZAT

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum Mezőgazdaságtudományi Karán a Növénytermesztési és kertészeti tudományok Doktori Iskola keretében készítettem a Debreceni Egyetem ATC MTK doktori (PhD) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 2004. július 12.

.....

NYILATKOZAT

Tanúsítom, hogy Nagy Péter Tamás doktorjelölt 2000– 2004 között a fent megnevezett Doktori Iskola keretében irányításommal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult, az értekezés a jelölt önálló munkája. Az értekezés elfogadását javaslom.

Debrecen, 2004. július 12.

.....