

Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei

TÁPANYAGFORGALMI VIZSGÁLATOK A HAJDÚSÁGI LÖSZHÁT MÉSZLEPEDÉKES CSERNOZJOM TALAJÁN, A TERMŐHELYSPECIFIKUS TÁPANYAG-GAZDÁLKODÁS MEGALAPOZÁSÁRA

Készítette:

Berényi Sándor

Témavezetők:

Dr. Loch Jakab

MTA doktora

Dr. Pepó Péter

MTA doktora



DEBRECENI EGYETEM

Hankóczy Jenő Növénytermesztési, Kertészeti és Élelmiszertudományok
Doktori Iskola

Debrecen, 2013

1. BEVEZETÉS

A növénytermesztéssel foglalkozó gazdasági társaságok, gazdálkodók alapvető célja a minél eredményesebb gazdálkodás megvalósítása. Ehhez sokrétű elméleti és gyakorlati ismeretre van szükség, melyek a különböző kultúrák növénytermesztési technológiájában összegződnek. Valamennyi technológia közös, egymással kölcsönhatásban lévő elemei a talajművelés rendszere, a biológiai alapok, a tápanyagellátás és a növényvédelem. A gyakorló szakemberek a korábbi tapasztalatokat, ismereteket és az alapkutatások eredményeit felhasználva tehetik jövedelmezővé a gazdálkodást. Legyen szó akár alapkutatásról, akár a gyakorlatban alkalmazott termesztési technológiáról vagy csupán egy-egy technológiai elem részletes vizsgálatáról, a termőhelynek, mint a termesztés közegének a szerepe meghatározó.

A termőhely agroökológiai viszonyai alapvetően behatárolják a növénytermesztés lehetőségeit minden technológiai elem vonatkozásában. Az alkalmas talajművelési rendszer, a megfelelő fajta, a célravezető tápanyag-gazdálkodás és a hatékony növényvédelem megválasztása, megvalósítása a termőhely adottságainak alapos ismeretét követelik meg.

A talajok tápanyag-készletének és tápanyag-gazdálkodási tulajdonságának jellemzésére a talajok agronómiai tulajdonságaira épülő, termőhelyi kategóriák szerinti besorolás ad lehetőséget. Az azonos termőhelyi kategóriába eső talajok tápanyag készlete és tápanyag-gazdálkodási tulajdonsága mégis jelentősen eltérhet egymástól a termőhely klimatikus viszonyaiban megmutatkozó különbségek miatt, továbbá a mezőgazdasági gyakorlatban alkalmazott agrotechnikai és tápanyag-gazdálkodás színvonalától függően.

A tápanyag-gazdálkodás, mint egyik agrotechnikai tényező, elengedhetetlen eleme a gazdálkodásnak. Szakszerű tápanyag-gazdálkodás hiányában romolhat a termelés jövedelmezősége. Hiszen a nem megfelelő mennyiségű és arányú trágyázás terméseszkökenést, minőségromlást, gazdaságtalan anyagfelhasználást, környezeti terhelést eredményezhet. A trágyázási szaktanácsadási rendszerek igénybevételével megőrizhető, szükség szerint javítható a talajok tápanyag-készlete, a termesztés színvonalához igazodó költséghatékony trágyázás valósítható meg.

Az egyes szaktanácsadási rendszerek a talajvizsgálatokban alkalmazott kémiai módszerekben jelentősen eltérhetnek egymástól. A különböző kémiai módszerek érélyességüktől, a felhasznált reagensek kémiai tulajdonságaitól függően a tápelemek

eltérő mennyiségű frakcióit mobilizálják. Egyes módszerek a tartalékkészletek, míg mások a növény által közvetlenül hozzáférhető tápelemek mennyiségéről adnak felvilágosítást. További módszerek lehetőséget teremtenek a tartalékkészletek mobilizálódási folyamatának tanulmányozására. Ha igazán pontos képet szeretnénk kapni a termőhely tápanyag-szolgáltató képességéről, akkor nem csupán a tartalékkészletek, vagy a növény számára közvetlenül hozzáférhető tápelemek mennyiségét, hanem a két forma közötti átalakulási folyamatok irányát és intenzitását is ismerni kell. Éppen ez tekinthető a kémia módszerek hátrányának. Nem lehet egyféle talaj vizsgálati módszerrel kapott eredmények alapján általános érvényű megállapításokat tenni minden termőhelyre.

A hazai szaktanácsadásban a N-ellátottságot évtizedek óta a humusztartalom alapján, a termőhely-kategóriák és a kötöttség figyelembe vételével állapítják meg. A humusztartalmon alapuló N-ellátottság megállapításakor, ugyanakkor nincs figyelembe véve, hogy a műtrágyázás során felhasznált nitrogén műtrágyából és a szerves anyagok mineralizációjából származó nitrátból mennyi marad a talajszelvényben, ami mennyiségétől függően tápanyagforrás, de környezeti kockázat is lehet egyaránt.

Külföldön WEHRMANN és SCHARPF (1979) nyomán a talaj 1 m-es rétegének határozzák meg a NO_3^- - és NH_4^+ -tartalmát ($\text{N}_{\min}$ módszer). A módszer hátránya, hogy szintén csupán egy paramétert, azt az ásványi nitrogén tartalmat határozza meg, amelynek mennyiségét a mintavétel ideje, a csapadékviszonyok, a trágyázás jelentősen befolyásolnak.

A NÉMETH (1972) által kidolgozott EUF módszer az ásványi nitrogénformák frakcionálása mellett lehetővé teszi az oldható és könnyen oxidálható szerves-N-frakció meghatározását is, ugyanakkor a módszer költséges berendezést igényel és nem igazán alkalmas sorozatvizsgálatokra.

A 0,01 mol kalcium-klorid kivonószerezrel (HOUBA et al., 1990) szintén meghatározhatók az ásványi nitrogénformák mellett az oldható és könnyen oxidálható szerves-N-frakció mennyisége, emellett a módszer sorozatvizsgálatokra is alkalmas. Ugyanakkor a 0,01 mol kalcium-klorid sem nyújt információt a tartalékkészletek mennyiségéről.

A termőhely foszfor és kálium ellátottságának megítélésében szerepet játszó kémiai módszerekről szintén hasonló megállapítások tehetők. A talajok foszfor és kálium-ellátottságának vizsgálatára hazánkban az ammónium-laktát-ecetsavas (AL) módszer terjedt el (EGNÉR et al., 1960). Az AL oldat a talaj könnyen oldható K-

tartalma mellett a tartalékkészletek egy részét is oldja, kicseréli. Ezért ezzel a módszerrel sokszorosát vonjuk ki annak a tápelem mennyiségnek, mint ami a növény számára a talajoldatban, felvehető formában rendelkezésre áll a tenyészidőszakban. Az agrokémia fejlődésével a múlt század második felében előtérbe került az enyhe kivonószerek (desztillált víz, híg sóoldatok) alkalmazása, mivel az ezek által kivont tápelemtartalom és a növények tápelem-ellátottsága között szorosabb összefüggést találtak.

Jól látható, hogy a kémiai módszerek egy része az erélyesebb kivonószerek révén sokkal több tápelemet von ki a talajból, mint amit a növények valójában fel tudnak venni. Az enyhe kivonószerek pedig feltehetően jól becsülik a növény számára közvetlenül hozzáférhető tápelemek mennyiségét, ugyanakkor a tartalékok mennyiségéről azok átalakulásának sebességéről önmagukban nem képesek információt nyújtani.

2. CÉLKITŰZÉSEK

Doktori értekezésemben választ keresek azokra a kérdésekre, hogy az agrotechnikai tényezők, mint a vetésváltás, az öntözés a műtrágyázás, hogyan befolyásolja a termőhely talajának hagyományos - ammónium-laktát-ecetsavas - módszerrel meghatározott foszfor- és káliumtartalmát, valamint a 0,01 M CaCl_2 -ban oldható N,P,K frakciókat. Célul tűztem ki, hogy a különböző kezeléskombinációkban megvizsgáljam a termőhely talajának hagyományos vizsgálati módszerekkel kapott nitrogén-, foszfor- és káliumtartalma, miként képes jellemezni a termőhely tápanyag-ellátottságát a talaj tartalékkészleteinek és a könnyen hozzáférhető tápelem formák tekintetében. Hasonlóképpen a 0,01 M kalcium-kloridban oldható szerves és szervetlen nitrogén frakciók, az oldható kálium és foszfor mennyiségei a termőhely tápanyag-ellátottságára vonatkozóan miben nyújtanak más információt, mint a hagyományos módszerek. Kiemelt fontosságúnak tartom annak tisztázást tápanyagforgalmi vizsgálatokon keresztül, hogy a vizsgált hagyományos és az új módszerek milyen mértékben képesek jellemezni a talajban a növény számára közvetlenül hozzáférhető és a tartalék tápelemek mennyiségét. Továbbá lehet-e a hagyományos és az új talajvizsgálati módszereket együttesen alkalmazni egy termőhely tápanyag-ellátottságának egzakt jellemzésére.

3. A VIZSGÁLATOK ANYAGA ÉS MÓDSZERE

3.1. A kísérlet területe, talajadottságai

A kísérlet talaja löszön képződött, mély humuszcétegű alföldi mészlepedékes csernozjom talaj. A kísérleti terület talaja jó kultúrállapotú, közép-kötött (Arany-féle kötöttségi száma 43), talajfizikailag a vályog kategóriába sorolható. A termőréteg 80-90 cm vastagságú, amelyből 40-50 cm az egyenletesen humuszosodott réteg. A tartamkísérletben korábban elvégzett talajvizsgálatok alapján a talaj N- és P-ellátottsága közepes, K-tartalma nagy (humusztartalom = 2,8-3,0%; Össz. N = 0,14-0,18%; AL-P₂O₅ = 130-200 mg/kg, AL-K₂O = 240-280 mg/kg). A kísérleti terület talaja a csernozjom talajokra jellemző, kedvező vízgazdálkodási tulajdonságokkal rendelkezik. A Várallyay – féle osztályozás szerint a IV. vízgazdálkodási kategóriába tartozik, azaz jó vízvezetési és víztartó tulajdonságokkal rendelkezik. A talajvíz 6-8 méter között helyezkedik el.

3.2. A kísérlet beállítása, elrendezése

A Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telepen Ruzsányi László által 1983-ban beállított tartamkísérlet lehetővé teszi a vetésváltás, az öntözés és a tápanyagellátás, mint meghatározó termesztéstechnológiai elemeknek, és ezen elemek interakciójának a terméseredményekre gyakorolt hatásának vizsgálatát.

A kísérletben három vetésváltási mód (kukorica monokultúra; búza, kukorica bikultúra; borsó, búza, kukorica trikultúra), öt tápanyagellátási- és három öntözési (öntözés nélkül, féladagú és teljes adagú öntözés) szinten került beállításra különböző tőszámok (40-, 60-, 80-ezer) mellett. A kísérletben szereplő parcellák mérete 46 m².

1. táblázat. A tartamkísérlet műtrágya kezelése

Vetésváltás	Kukorica mono- és bikultúra kukorica szakaszában kijuttatott hatóanyag			Bi- és trikultúra búza és borsó szakaszában kijuttatott hatóanyag		
	N [kg/ha]	P ₂ O ₅ [kg/ha]	K ₂ O [kg/ha]	N [kg/ha]	P ₂ O ₅ [kg/ha]	K ₂ O [kg/ha]
1.	0	0	0	0	0	0
2.	60	45	45	50	30	25
3.	120	90	90	100	60	50
4.	180	135	135	150	90	75
5.	240	180	180	200	120	105

3.3. A tartamkísérletben alkalmazott agrotechnika

A kukorica monokultúrában közvetlenül betakarítást követően került sor a tarlóhántásra. A P és a K műtrágya teljes adagja, valamint a N adag 50 %-a ősszel került kijuttatásra az őszi szántást megelőzően, míg a N fennmaradó része a tavaszi magágykészítést megelőzően kézi kiszórással lett kijuttatva. Az ősszel kiszórt műtrágya bekeverése ásóboronával történt, amit az őszi mélyszántás követett 32 cm mélyen. Tavasszal a szántáselmunkálással és a magágykészítéssel fejeződtek be a talajmunkák. A Reseda (PR37M81) hibridkukorica vetési időpontja minden évben április 20.- a körül volt. A növényvédelmi kezelések a vetésváltásokban egységesek voltak. Ez alól kivétel a monokultúrában szükségszerűen végrehajtott talajfertőtlenítés. A később kelő gyomok irtása mechanikai sorközműveléssel történt. Az öntözött kezelésekben az egy öntözési járatban kijuttatott öntözővíz mennyisége 50 mm, ami az öntözési veszteség csökkentése érdekében két részletben került kijuttatásra. Az öntözés időpontját a kumulált vízhiány értékek és az extrém száraz hőség napok által előidézett akut vízhiány tünetek határozták meg. Az öntözést lineár típusú esőszerű öntözéssel végezték. Az általam vizsgált évek közül 2004-ben június 08.-11. és július 06.-11. között voltak az öntözési járatok, míg a rendkívül csapadékos 2005-ös évben nem volt öntözés

3.4. A vizsgált időszak évjáratainak jellemzése

A 2004-es évjáratot meghatározó hőmérsékleti és csapadék viszonyok:

A 2003. év októbere csapadékos volt (90,0 mm), amely jelentősen hozzájárult a száraz nyarat követően lecsökkent talajvízkészlet feltöltődéséhez. A novemberi csapadék 21,7 mm, míg a decemberi 20,8 mm volt, ami elmaradt a sokévi átlagtól (45,2 mm és 43,5 mm). Ugyanakkor a 2004-es év januárjában és februárjában hullott 37,2 mm és 41,6 mm csapadék kismértékben meghaladta a sokéves átlagot (37,0 mm és 30,2 mm). Márciusban a hűvös időjárás és az átlagot meghaladó csapadék mennyiség együttesen hozzájárult a talajban tárolt vízkészlet gyarapodáshoz. 2004 májusában az átlagosnál alacsonyabb volt hőmérséklet és a csapadék mennyisége is, ami miatt a kukorica fejlődése májusban lassúbb volt. Júniustól egészen szeptember végéig a kukorica fejlődése szempontjából ideálisak voltak mind a hőmérsékleti, mind a csapadék viszonyok, ezért 2004-ben minden kezelésben rendkívüli termések képződtek.

A 2005-ös évjáratot meghatározó hőmérsékleti és csapadék viszonyok:

A 2004. évi őszén októberben és november a sokévi átlagot meghaladó csapadék hullott (30,8 mm és 45,2 mm). A téli hónapok közül decemberben (33,7 mm) és januárban (18,2 mm) is a sokévi átlagnál (43,5 mm és 37,0 mm) kevesebb volt a csapadék. Februárt az átlagosnál nagyobb csapadék mennyiség (40,6 mm, sokévi átlag 30,2 mm) és az átlagosnál hidegebb időjárás jellemezte. A 2005. év márciusa rendkívül száraz volt, mindössze 10,5 mm csapadék esett, ami jelentősen elmaradt a sokévi átlagtól (33,5 mm). Áprilisban és májusban egyaránt nagymennyiségű (74,9 mm és 75,8 mm) a sokévi átlagot jelentősen meghaladó csapadék hullott, emellett mindkét hónapban a kukorica számára kedvezőek voltak a hőmérsékleti feltételek is. Júniusban ugyan a sokévi átlagnál kevesebb csapadék hullott (54,3 mm, sokévi átlag 79,5 mm), de az előző csapadékos időszaknak köszönhetően bőséges vízmennyiség állt rendelkezésre a gyorsan növekedő, fejlődő kukorica állomány számára. Júliusban és augusztusban egyaránt nagymennyiségű csapadék hullott (99,7 mm és 135,7 mm), amihez mindkét hónapban a kukorica számára igen kedvező hőmérsékleti feltételek párosultak. A 2005-ös évjáratnak köszönhetően a kukorica termés mennyisége még az igen jónak mondható 2004-es év terméseredményeit is meghaladta.

3.5. A kutatómunka mintaanyaga

A kutatómunka mintaanyagát mindkét évben a kukorica monokultúra és az őszi búza, kukorica bikultúra kukorica szakaszának 60 ezres tőszámú parcellái adták. A növény és talajminták vétele a 2. táblázatban összefoglalt kezelésekből történt.

2. táblázat. A talaj és növényminták származása kezelések szerint

Vetésváltás	kukorica monokultúra		búza,kukorica bikultúra	
Műtrágyázás P: P ₂ O ₅ kg/ha, K: K ₂ O kg/ha	Öntözés nélkül	Teljes adagú öntözés	Öntözés nélkül	Teljes adagú öntözés
N:P:K [kg/ha]	0:0:0	0:0:0	0:0:0	0:0:0
N:P:K [kg/ha]	120:90:90	120:90:90	120:90:90	120:90:90
N:P:K [kg/ha]	240:180:180	240:180:180	240:180:180	240:180:180
Mintavételi időpontok 2004-ben: június 29. ; július 22. ; szeptember 07. ; október 04.				
Mintavételi időpontok 2005-ben: június 05. ; június 30. ; augusztus 30. ; október 06.				

A talajmintavétel a kísérlet parcelláiból pontminta vétellel történt a 0-200 cm-es rétegből. A motoros talajfúró mintavevő csövéből 20 cm-ként kerültek elkülönítésre az egyes rétegek. A kezelések négy ismétlésben lettek beállítva, ezért egy kezelést négy pontminta vételből származó talajminta vizsgálati eredményei jellemeznék, ezáltal csökkentve a pontminta vételből eredő hibákat.

A növényvizsgálatokhoz egy-egy mintavétel alkalmával három kukorica növényt vágunk ki parcellánként. A kukorica növény fejlettségi fokának megfelelően részekre lett bontva (levél, szár, buroklevél, szem) és az egyes növényi részek kémiai összetétele külön került meghatározásra.

3.6. Laboratóriumi vizsgálati módszerek

A talajmintákból Houba et al. (1986) módszerével meghatározásra kerültek a 0,01 M CaCl_2 -oldható szerves és szervetlen nitrogén frakciók, a kálium és a foszfor mennyisége. A mintákból az összes- (UV-roncsolt), a nitrát-, az ammónium-N tartalmat SKALAR típusú folyamatosan áramló un. segmented continuous flow (SCF) rendszerrel mértük fotometriásan. A talajmintáknak meghatároztuk Magyar Szabvány szerint az ammónium-laktát-ecetsav (AL) oldható foszfor és kálium tartalmát (MSZ 20135:1999).

A növényminták nitrogén tartalmát Dumas (1831) módszerével Elementar Vario EL elemanalizátorral határoztuk meg.

3.7. Mérlegszámítási eljárások

Az *egyszerűsített agronómiai mérlegek* számításának alapja a műtrágyával kijuttatott tápelemek és a terméssel kivont tápelemek mennyiségének különbsége hektáronként, a veszteségek figyelembe vétele nélkül. A terméssel felvett NPK mennyisége, a termés mennyiség és az adott növény fajlagos NPK-tartalmának szorzatával jellemezhető.

A *potenciális mérleg* csupán a bevételi oldalban különbözik az egyszerűsített agronómiai mérlegtől. A potenciális mérleg bevételi oldalán a műtrágyával kijuttatott tápelemek mennyiségéhez hozzáadódik a talaj által potenciálisan szolgáltatott tápelemek mennyisége is. A talaj potenciális tápanyag-szolgáltatásának a kontrollkezelésekben a növényekkel felvett NPK mennyiségét tekintem. A trágyázatlan kontroll termésével kivont tápelem mennyiségekkel a termőhely talajának tápelem-szolgáltató képességet kívántam jellemezni az adott évjáratban.

3.8. Alkalmazott statisztikai módszerek

A statisztikai analízist SPSS 13.0 programmal végeztem. Az agrotechnikai tényezők - kezelés, vetésváltás, öntözés - és a talaj-, növényvizsgálatok eredményei között fellelhető összefüggések vizsgálatára variancia analízist végeztem. A műtrágyázási szintekhez tartozó szignifikáns különbségek megállapítására Duncan post-hoc analízist végeztem.

4. EREDMÉNYEK

4.1. A terméseredmények értékelése

A tartamkísérlet 2004. és 2005. évének terméseredményeit és az 1994-2005 időszak termésátlagát az alábbi 3. táblázatban foglaltam össze.

3. táblázat. A kukorica szemtermésének mennyisége az eltérő kezelésekben

Kukorica terméseredmények, öntözés nélkül [t/ha]						
Vetésváltás módja	Monokultúra			Bikultúra		
N:P ₂ O ₅ :K ₂ O kezelés [kg/ha]	0:0:0	120:90:90	240:180:180	0:0:0	120:90:90	240:180:180
Terméseredmények, 2004	7,14 ^a	12,73 ^b	13,39 ^b	9,7 ^a	12,8 ^b	13,4 ^b
Termésnövekedés, 2004	-	5,59	0,66	-	3,1	0,6
Terméseredmények, 2005	8,4 ^a	12,3 ^b	13,7 ^c	11,0 ^a	13,0 ^b	12,5 ^b
Termésnövekedés, 2005	-	3,9	1,4	-	2,0	-0,5
Termésátlag, 1994-2005	6,1	9,0	9,2	9,1	10,4	9,9
Kukorica terméseredmények öntözés mellett [t/ha]						
Vetésváltás módja	Monokultúra			Bikultúra		
N:P ₂ O ₅ :K ₂ O kezelés [kg/ha]	0:0:0	120:90:90	240:180:180	0:0:0	120:90:90	240:180:180
Terméseredmények, 2004	7,2 ^a	13,5 ^b	14,3 ^b	11,7 ^a	13,3 ^b	13,3 ^b
Termésnövekedés, 2004	-	6,3	0,8	-	1,6	0,0
Terméseredmények, 2005	7,6 ^a	11,7 ^b	13,2 ^c	11,1 ^a	12,8 ^b	12,1 ^b
Termésnövekedés, 2005	-	4,1	1,5	-	1,7	-0,7
Termésátlag, 1994-2005	6,6	10,0	10,6	10,2	11,6	11,6

Az azonos betűvel jelzett átlagok p=5%-os szignifikancia szinten nem különböznek egymástól.

A 2004-es évben kukorica monokultúrában az N₁₂₀P₉₀K₉₀ kezelés hatására jelentős terméstöbbletek képződtek, a szemtermés mennyisége szignifikánsan nőtt a kontrollhoz képest, mindkét vízellátottsági szinten. Az N₂₄₀P₁₈₀K₁₈₀ kezelés hatására ugyan tovább nőtt a szemtermés mennyisége, de a növekedés egyrészt nem szignifikáns, másrészt oly kismértékű, ami ökonómiai szempontok alapján indokolatlanná teszi ekkora adagú műtrágya felhasználását alföldi mészlepedékes csernozjom talajon. Az öntözés termésnövelő hatása a jó vízellátottságú kedvező évjáratnak tulajdoníthatóan csupán kismértékű volt (6-7 %). A rendkívül csapadékos 2005-ös évben nem volt öntözés. Ebben az évben is az N₁₂₀P₉₀K₉₀ kezelés adta a legnagyobb terméstöbbletet, az

N₂₄₀:P₉₀:K₉₀ kezelésben pedig további kisebb mértékű szignifikáns termésnövekedés volt kimutatható.

A búza, kukorica bikultúra kontrollkezeléseiben 2004-ben mindkét öntözési szinten lényegesen nagyobb mennyiségű szemtermés képződött, mint monokultúrában. A növekvő adagú műtrágyázás hatására öntözés nélkül tovább gyarapodott a szemtermés mennyisége, de a termésnövekedés mértéke az eleve nagy kontrolltermések mellett elmarad a monokultúrában tapasztaltakhoz képest. Szignifikáns termésnövekedés csak az N₁₂₀P₉₀K₉₀ kezelésben állapítható meg. Öntözés mellett szintén az N₁₂₀P₉₀K₉₀ műtrágya növelte szignifikánsan a szemtermés mennyiségét, míg az N₂₄₀P₁₈₀K₁₈₀ kezelésekben nem megbízható mértékű terméscsökkenés figyelhető meg. Bikultúrában az öntözés hatására csak a kontrollban képződött szemtermés mennyisége nőtt igazolható mértékben, az öntözetlen kezelésekhez viszonyítva. A 2005-ös évben a műtrágyakezelések és az egyes kezelésekben képződött terméseredmények, terméstöbbletek tekintetében az előző évvel teljesen azonos megállapítások tehetők.

4.2. A 0,01 M kalcium-kloridban oldható N-frakciók eredményeinek összefoglalása

A tartamkísérletben vizsgált két év eredményei egyértelműen igazolták, hogy a trágyázás, a vetésváltás és az öntözés jelentős hatással vannak a termőhely nitrogén ellátottságára és nitrogénszolgáltató képességére. Az agrotechnikai tényezők hatását érzékenyen mutatta a talaj 0,01M kalcium-kloridban oldható nitrogén frakcióinak mennyisége az eltérő kezelésekben. A növekvő adagú nitrogén trágyázás eredményeként mindkét vetésforgóban, mindkét öntözési szinten szignifikánsan növekedett a 0-200 cm szelvény kalcium-klorid oldható nitrát tartalma (4. táblázat). A kezelések hatására felhalmozódó nitrát mennyiségét az egyszerűsített agronómiai mérlegek nem támasztják alá. A kontroll talaj tápelem szolgáltatását tápanyag inputként figyelembe vevő potenciális mérleg viszont alátámasztja a nitrát felhalmozódás mértékét a vizsgált rétegben (5. táblázat). A potenciális mérleg és a talaj tápelem tartalmának vizsgálata rámutatnak arra, hogy a termőhely talajának tápanyag-szolgáltató képessége milyen mértékben képes hozzájárulni a termesztett kultúra tápelem ellátásában.

4. táblázat. A 0-200 cm talajszelvény 0,01 M CaCl₂ oldható NO₃-N tartalma a négy mintavételi időpont átlagában

0,01 M CaCl ₂ oldható NO ₃ -N tartalom [kg/ha] a 2004. évben						
Vetésváltás módja	Monokultúra			Bikultúra		
N kezelés [kg/ha]	0	120	240	0	120	240
öntözés nélkül	46,6 ^a	247,4 ^a	941,0 ^b	43,9 ^a	405,2 ^b	1576,2 ^c
öntözéssel	40,4 ^a	60,4 ^a	397,0 ^b	76,6 ^a	137,9 ^a	449,3 ^b
0,01 M CaCl ₂ oldható NO ₃ -N tartalom [kg/ha] a 2005. évben						
Vetésváltás módja	Monokultúra			Bikultúra		
N kezelés [kg/ha]	0	120	240	0	120	240
öntözés nélkül	104,0 ^a	179,6 ^a	477,3 ^b	146,3 ^a	264,1 ^a	473,2 ^b
öntözéssel	99,7 ^a	184,1 ^a	309,9 ^b	171,6 ^a	301,5 ^a	586,2 ^b

Az azonos betűvel jelzett átlagok p=5%-os szignifikancia szinten nem különböznek egymástól.

5. táblázat. Nitrogén mérlegek [kg/ha] a 2004., 2005. évben és 1994-2004 között az eltérő kezelésekben

Nitrogén mérlegek, öntözés nélkül						
Vetésváltás módja	Monokultúra			Bikultúra		
N kezelés [kg/ha]	0	120	240	0	120	240
Egyszerűsített agronómiai mérleg, 2004	-179	-198	-95	-242	-199	-95
Potenciális mérleg, 2004	-	-20	84	-	43	147
Egyszerűsített agronómiai mérleg, 2005	-210	-187	-102	-275	-204	-73
Potenciális mérleg, 2005	-	23	108	-	71	202
Egyszerűsített agronómiai mérleg, 1994-2004	-1 539	-888	434	-1 704	-992	283
Potenciális mérleg, 1994-2004	-	651	1 973	-	712	1 988
Nitrogén mérlegek, öntözés mellett						
Vetésváltás módja	Monokultúra			Bikultúra		
N kezelés [kg/ha]	0	120	240	0	120	240
Egyszerűsített agronómiai mérleg, 2004	-179	-218	-119	-293	-212	-91
Potenciális mérleg, 2004	-	-39	60	-	82	202
Egyszerűsített agronómiai mérleg, 2005	-190	-172	-90	-278	-199	-63
Potenciális mérleg, 2005	-	19	100	-	79	215
Egyszerűsített agronómiai mérleg, 1994-2004	-1 835	-1 425	-238	-2 046	-1 379	-216
Potenciális mérleg, 1994-2004	-	410	1 597	-	667	1 830

Monokultúrában öntözés nélkül a 2004-es optimálisnak tekinthető évjáratban már a 120 kg/ha N kezelésben is jelentős mértékű, míg a 240 kg/ha N trágyázás esetében már komoly környezeti kockázatot jelentő nitrát felhalmozódás volt megfigyelhető a 60-200 cm rétegben.

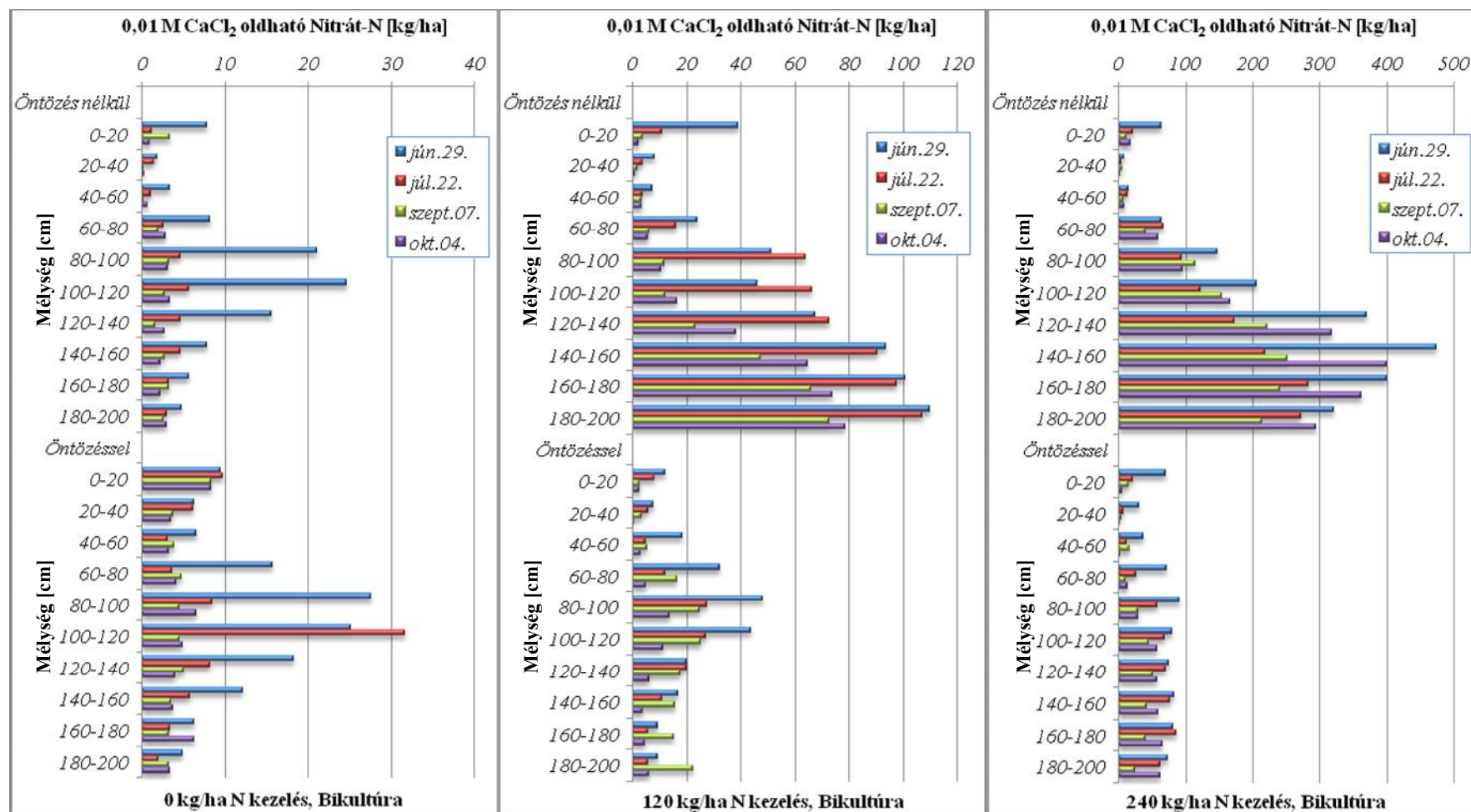
Bikultúrában öntözés nélkül még tovább nő a nitrogén kezelések talajában a nitrát mennyisége. A növekedés oka, hogy a bikultúra őszi búza szakaszában egyrészt kevesebb a tenyészidőszak során felvett nitrogén mennyisége, így nő a műtrágya nem hasznosuló része. Másrészt az őszi mineralizáció során számottevő mennyiségű nitrát képződik. Az őszi mineralizáció során képződött nitrát és a műtrágya nem hasznosuló nitrogénjének egy része a 100 cm réteg alatt felhalmozódott.

Öntözés hatására mindkét vetésforgóban nagyobb részben a lemosódásnak és sokkal kisebb részben a növényi felvétel növekedésének tulajdoníthatóan jelentős mértékben csökkent a vizsgált szelvényben a nitrát mennyisége. A nitrát mélységi eloszlásának változása jól mutatta az öntözés hatását. Öntözés mellett a nitrát

felhalmozódás maximuma 200 cm-nél mélyebbre került. A 2005-ös rendkívül csapadékos évjáratban az előző év öntözés nélküli nitrogén kezeléseiben felhalmozódott nitrát mennyisége a lemosódás miatt nagymértékben csökkent. Az eredmények felhívják a figyelmet arra, hogy öntözés mellett és az átlagot meghaladó csapadékos évjáratban a kijuttatott műtrágyaadagtól függően nagy lehet az inputanyag veszteség. A N-kezelések és az öntözés hatására a 0-200 cm réteg nitrát tartalmában bekövetkező változásokat jól szemléltetik a 2004. év bikultúrában kapott eredmények (1. ábra).

Az öntözés és a csapadékos évjárat hatására javultak a tápanyag feltáródás feltételei. Az öntözött kontroll kezelésekben 2004-ben a nagyobb termések mellett sem csökkent a 0-200 cm rétegben a nitrát mennyisége. A 2005-ös évben pedig valamennyi kontroll kezelésben szignifikánsan nagyobb volt a vizsgált szelvény nitrát tartalma, mint 2004-ben, holott mindkét vetésforgó kontroll parcelláin rekord termések képződtek. Mindezek igazolják, hogy a látóképi termőhely mészlepedékes csernozjom talaja optimális környezeti feltételek mellett jelentős mennyiségű nitrogént képes szolgáltatni.

A vetésváltás hatása 2004-ben kétféleképpen is megnyilvánult. Egyrészt bikultúrában a kontroll parcellák termése jelentősen meghaladta a monokultúrában képződött termés mennyiségét, mégsem csökkent a 0-200 cm rétegben a kalcium-klorid oldható nitrát mennyisége. Ez elsősorban annak tulajdonítható, hogy bikultúrában az őszi búza után a termőhelyen nagymennyiségű nitrát mineralizálódott a következő évi kukorica számára. A folyamatot igazolja, hogy az első mintavételi időpontban a bikultúra kontrolljában szignifikánsan nagyobb a nitrát mennyisége, mint monokultúrában. Másrészt a 120 és 240 kg/ha nitrogénkezelésekben bikultúrában sokkal nagyobb mértékű a nitrát felhalmozódás, mint monokultúrában, mivel a bikultúra őszi búza szakaszában elsősorban a felső rétegek nitrogén tartalma hasznosul, továbbá az őszi mineralizáció során képződött nitrát és a műtrágya nem hasznosuló nitrogénjének egy része a 100 cm réteg alatt felhalmozódott.



1. ábra: A 0,01 M CaCl₂ oldható nitrát-N frakció mennyiségének talajszelvényen belüli változása kukorica bikultúrában, 2004. év

A tartamkísérlet talajának 0,01 M CaCl₂ oldható és könnyen oxidálható szerves nitrogén frakciója a felső 0-60 cm közepes humusztartalmú rétegben található. A mélyebb rétegekbe öntözés hatására nem mosódott le. Mennyisége a tenyészidőszakban viszonylag szűk intervallumban változott az egyes kezeléseken belül (6.táblázat). Mindkét vetésforgóban a kalcium-klorid oldható szerves nitrogén frakció mennyisége csak a legnagyobb adagú 240 kg/ha nitrogén trágyázás hatására nőtt igazolhatóan a kontrollhoz képest. A növekedés feltételezhetően a legnagyobb adagú műtrágyakezelésében képződő fejlettebb növény állomány nagyobb gyökérzetéből visszamaradó szerves maradványok bomlásából és ezekkel összefüggésben az élénkülő mikrobiális tevékenységből adódhat. Öntözött viszonyok mellett 2004-ben minden trágyázási szinten igazolhatóan nőtt a felső rétegben a szerves nitrogén frakció mennyisége. A növekedés oka, hogy öntözés hatására a mineralizáció számára kedvezőbb környezeti feltételek alakultak ki. 2005-ben nem volt öntözés, az átlagon felüli csapadékos évjáratban nem volt különbség az öntözött és öntözetlen parcellák felső rétegének organikus nitrogén tartalmában, hiszen a szerves vegyületek mineralizációját meghatározó környezeti feltételek azonosak voltak. A vetésváltásnak nem volt kimutatható hatása a szerves nitrogén frakció mennyiségére egyik évben sem.

Összességében a könnyen oldható és oxidálható szerves nitrogén frakció mennyiségét elsősorban a termőhelyi adottságok és a mineralizáció feltételei határozzák meg, ezért a 0,01 M CaCl₂-ban oldható szerves nitrogén frakció mennyisége elsősorban a termőhely természetes nitrogén szolgáltatásának jellemzésére alkalmas.

6. táblázat. A 0,01 M CaCl₂ oldható organikus nitrogén frakció mennyisége a 0-60 cm rétegben a négy mintavétel időpont átlagában, a 2004 és 2005 évi tenyészidőszakban

org.-N tartalom [kg/ha] a 2004. évben						
N kezelés [kg/ha]	Monokultúra			Bikultúra		
	nem öntözött	öntözött	SZD 5%	nem öntözött	öntözött	SZD 5%
0	30,3	42,0	7,4	34,7	47,0	6,2
120	31,4	48,0	6,0	38,9	42,7	4,7
240	44,0	52,6	5,4	41,6	50,1	4,7
SZD 5%	11,3	5,3	SZD 5%	4,2	9,4	
org.-N tartalom [kg/ha] a 2005. évben						
N kezelés [kg/ha]	Monokultúra			Bikultúra		
	nem öntözött	öntözött	SZD 5%	nem öntözött	öntözött	SZD 5%
0	40,1	31,9	7,0	38,5	38,5	5,0
120	42,6	41,8	8,7	36,2	46,4	6,8
240	50,3	47,8	10,7	41,6	60,7	19,2
SZD 5%	13,5	11,3	SZD 5%	9,2	20,1	

A 0,01 M CaCl_2 oldható $\text{NH}_4\text{-N}$ frakció legnagyobb mennyiségben a 0-60 cm rétegben található. Adott nitrogénkezelésen belül a tenyészidőszak során a felső réteg $\text{NH}_4\text{-N}$ tartalma nagy ingadozásokat mutatott, ami azzal magyarázható, hogy az $\text{NH}_4\text{-N}$ a körülményektől (talaj mikrobiális aktivitása, nedvesség tartalom, hőmérséklet) függően gyorsan átalakul. A növekvő adagú nitrogénkezeléseknek nem volt igazolható hatása a felső rétegek $\text{NH}_4\text{-N}$ tartalmára. A kijuttatott nitrogén műtrágya $\text{NH}_4\text{-N}$ nitrogénjéből gyors a nitrát képződése. A vizsgált két évben sem az öntözésnek, sem a vetésváltásnak nem volt kimutatható hatása a vizsgált szelvény oldható $\text{NH}_4\text{-N}$ tartalmára. Az eredmények alapján az oldható $\text{NH}_4\text{-N}$ frakció mennyiségére nem voltak hatással a vizsgált agrotechnikai tényezők, másrészt mennyisége szélsőségesen változott a mintavétel időpontjától függően, ezért a felső rétegek oldható $\text{NH}_4\text{-N}$ tartalmával nem jellemezhető sem a termőhely nitrogén ellátottsága, sem nitrogén szolgáltatása.

Összegezve megállapítható, hogy a termőhely talajának 0,01 M kalcium-klorid oldható nitrát mennyiségének változásában megjelentek mindazok a hatások - trágyázás, öntözés, vetésváltás – amelyek közvetve vagy közvetlen befolyásolják a termőhely nitrogén ellátottságát és nitrogénszolgáltató képességét. A 0,01 M kalcium-klorid oldható és könnyen oxidálható szerves nitrogén frakció mennyiségét elsősorban a termőhelyi adottságok és mineralizáció környezeti feltételei határozzák meg, ezért alkalmas lehet a tenyészidőszakban potenciálisan mineralizálódni képes szerves nitrogén mennyiségének jellemzésére.

4.2. Az AL- és a CaCl_2 -oldható P-tartalom változásának összefoglalása

A látóképi mészlepedékes csernozjom talajon a 2004-es tenyészidőszakban a növekvő adagú foszfor kezeléseknek, az öntözésnek és a vetésváltásnak nem volt igazolható hatása a felső réteg kalcium-klorid oldható foszfor tartalmára. A 2005-ös tenyészidőszakban a 90 kg/ha P_2O_5 kezelésnek, az öntözésnek és a vetésváltásnak szintén nem volt igazolható hatás a felső réteg kalcium-klorid oldható foszfor tartalmára. Az előző évvel ellentétben a 180 kg/ha P_2O_5 trágyázás esetén viszont, mind az eltérő öntözési szinteken, mind a vetésforgókban szignifikánsan nőtt a felső rétegek kalcium-klorid oldható foszfor tartalma a kontroll és a 90 kg/ha P_2O_5 kezelésekhöz képest. A 2005. évben minden kezelés kombinációjában igazolhatóan nőtt a felső rétegben a kalcium-klorid oldható foszfor mennyisége az előző év azonos időszakához képest. A felső réteg kalcium-klorid oldható foszfor tartalmának 180 kg/ha kezeléseknél tapasztalt szignifikáns növekedése az évjárat hatására vezethető vissza.

7. táblázat. A talaj 0-40 cm rétegének 0,01 M CaCl₂ oldható foszfor tartalma a kezelésekben, a négy mintavételi időpont átlagában

A 0,01 M kalcium-klorid oldható P ₂ O ₅ tartalom [mg/kg] a 2004. évben						
Vetésváltás módja	Monokultúra			Bikultúra		
P ₂ O ₅ kezelés [kg/ha]	0	90	180	0	90	180
öntözés nélkül	0,9 ^a	1,2 ^a	2,7 ^b	1,5 ^a	1,1 ^b	1,1 ^b
öntözéssel	1,0 ^a	1,5 ^b	1,2 ^{ab}	0,9 ^a	0,8 ^a	1,2 ^b
A 0,01 M kalcium-klorid oldható P ₂ O ₅ tartalom [mg/kg] a 2005. évben						
Vetésváltás módja	Monokultúra			Bikultúra		
P ₂ O ₅ kezelés [kg/ha]	0	90	180	0	90	180
öntözés nélkül	2,0 ^a	1,7 ^a	3,6 ^b	1,9 ^a	2,3 ^b	2,9 ^c
öntözéssel	1,5 ^a	2,3 ^b	4,8 ^c	1,3 ^a	1,7 ^b	3,1 ^c

Az azonos betűvel jelzett átlagok p=5%-os szignifikancia szinten nem különböznek egymástól.

8. táblázat. A talaj 0-40 cm rétegének AL oldható foszfor tartalma a kezelésekben, a négy mintavételi időpont átlagában

Az AL oldható P ₂ O ₅ tartalom [mg/kg] a 2004. évben						
Vetésváltás módja	Monokultúra			Bikultúra		
P ₂ O ₅ kezelés [kg/ha]	0	90	180	0	90	180
öntözés nélkül	60,2 ^a	120,5 ^a	170,7 ^b	54,9 ^a	83,2 ^a	123,4 ^b
öntözéssel	43,2 ^a	96,4 ^b	176,1 ^c	106,2 ^a	111,6 ^a	151,4 ^a
Az AL oldható P ₂ O ₅ tartalom [mg/kg] a 2005. évben						
Vetésváltás módja	Monokultúra			Bikultúra		
P ₂ O ₅ kezelés [kg/ha]	0	90	180	0	90	180
öntözés nélkül	81,7 ^a	143,5 ^b	209,1 ^c	84,2 ^a	85,1 ^a	143,9 ^b
öntözéssel	57,9 ^a	107,1 ^b	184,7 ^c	81,3 ^a	81,5 ^a	143,9 ^b

Az azonos betűvel jelzett átlagok p=5%-os szignifikancia szinten nem különböznek egymástól.

9. táblázat. Foszfor mérlegek a 2004., 2005. évben és 1994-2004 között az eltérő kezelésekben

Foszfor mérlegek, öntözés nélkül						
Vetésváltás módja	Monokultúra			Bikultúra		
P ₂ O ₅ kezelés [kg/ha]	0	90	180	0	90	180
Egyszerűsített agronómiai mérleg, 2004	-93	-75	6	-126	-76	6
Potenciális mérleg, 2004	-	17	99	-	50	132
Egyszerűsített agronómiai mérleg, 2005	-109	-70	2	-143	-79	17
Potenciális mérleg, 2005	-	40	111	-	64	160
Egyszerűsített agronómiai mérleg, 1994-2004	-800	-158	833	-839	-172	746
Potenciális mérleg, 1994-2004	-	642	1 633	-	667	1 585
Foszfor mérlegek, öntözés mellett						
Vetésváltás módja	Monokultúra			Bikultúra		
P ₂ O ₅ kezelés [kg/ha]	0	90	180	0	90	180
Egyszerűsített agronómiai mérleg, 2004	-93	-86	-7	-152	-82	8
Potenciális mérleg, 2004	-	7	87	-	70	160
Egyszerűsített agronómiai mérleg, 2005	-99	-62	8	-144	-76	23
Potenciális mérleg, 2005	-	37	107	-	68	167
Egyszerűsített agronómiai mérleg, 1994-2004	-954	-438	483	-1 006	-366	501
Potenciális mérleg, 1994-2004	-	517	1 438	-	640	1 507

A kiugróan csapadékos évjáratban javuló oldhatósági viszonyok között, nagyobb a talajoldatba jutó foszfor mennyisége. A legnagyobb adagú foszfor kezelésben érhető módon a felső rétegben nagy mennyiségben felhalmozódott foszfor készletekből a foszfor vegyületek rossz oldhatósága ellenére is nagyobb mennyiségű foszfor képes a talajoldatba jutni (7. táblázat).

A tartamkísérlet növekvő adagú foszfor kezeléseinek hatására az évek során fokozatosan nőtt a felső rétegek foszfor készlete (8. táblázat). A foszfor készletek gyarapodását jól mutatta a felső rétegek AL oldható foszfortartalma, ami a kezelésekkal és a mérleg eredményekkel összhangban változott (9. táblázat). A monokultúrával összehasonlítva, bikultúrában a 90 és 180 kg/ha P_2O_5 kezelésekben csökkent a felső rétegben az AL oldható foszfor mennyisége. Ennek oka, hogy a bikultúra őszi búza szakaszában a búza gyökérzete révén a felső rétegekből több foszfort vesz fel, mint a kukorica, ezért kisebb a műtrágyázásból eredő foszfor tartalom növekedése, mint monokultúrában. Az öntözésnek és az évjáratnak nem volt kimutatható hatása az felső rétegek AL oldható foszfor tartalmára. A különböző kezeléskombinációkban a felső rétegek AL és kalcium-klorid oldható foszfor tartalma merőben eltérően változott. A különbség oka a kivonószerek jellegében és ezzel összefüggésben az általuk oldott foszfor frakció minőségében található meg. A 0,01 M $CaCl_2$ oldat enyhe kivonószer ezért a növények számára közvetlenül hozzáférhető, könnyen oldható foszforformákat képes oldatba vinni. Az egyensúlyi kivonat foszfor koncentrációja a talajoldatban az adott termőhelyi feltételek mellett megjelenő foszfor mennyiségét jellemzi. Másképpen, a 0,01 M $CaCl_2$ -ban oldott foszfor tartalom tulajdonképpen a foszfor intenzitásnak tekinthető, azaz adott körülmények között diffúzió útján a növény rendelkezésére álló foszfor mennyiségével arányos. Így a tenyészidőszakban a talajoldatból a több tápanyagot kapó, intenzívebben növekvő kultúra több foszfort vesz fel, ezért a talajoldat foszfor koncentrációja nem növekszik a trágyázással arányosan, mivel a foszfor talajoldatba jutása lassú. Az AL erélyes kivonószer. A felső réteg AL oldható foszfor tartalma lényegesen meghaladja a talajoldatban megjelenő foszfor mennyiségét, mivel az AL a növény számára közvetlenül nem hozzáférhető kis oldhatóságú foszforformák egy részét is képes oldatba vinni. Ezért az AL oldható foszfor tartalom a termőhely talajtani és klimatikus viszonyai által meghatározott körülmények között potenciálisan rendelkezésre álló tartalékkészletek mennyiségével arányos.

4.3. Az AL- és a CaCl_2 -oldható K-tartalom változásának összefoglalása

A tartamkísérlet két évének különböző kezeléskombinációiban, a felső rétegek AL és CaCl_2 oldható kálium tartalmát (10.-11. táblázat) összehasonlítva és értékelve a következő fontosabb megállapítások tehetők. Mindkét évben a növekvő adagú kálium trágyázás hatására a kukorica monokultúrában nőtt a felső rétegben az AL és a CaCl_2 oldható kálium mennyisége. Monokultúrában öntözés mellett szignifikánsan nagyobb volt a felső réteg AL és CaCl_2 oldható káliumtartalma, mint öntözés nélkül, holott a kumulált agronómiai és a kontroll káliumszolgáltatását is figyelembe vevő potenciális mérleg, öntözés mellett negatívabb volt (12. táblázat). Öntözött viszonyok között a nedvesség hatására táguló agyagásványok nagyobb felületen teszik lehetővé a kálium kicserélődését, ezért nő a kicserélhető kálium mennyisége, másrészt az ioncsere egyensúly eltolódása révén több kálium képes a talajoldatba jutni. Az öntözés hatására a mélyebb rétegek is átnedvesednek, ezért a kukorica a mélyebb rétegekből is jelentős mennyiségű kálium felvételére képes, ezért növekszik a felső rétegben a műtrágya nem hasznosuló mennyisége. Bikultúrában a kontroll és a 90 kg/ha K_2O kezelések parcelláiban nem volt kimutatható különbség a felső rétegek AL és CaCl_2 oldható tartalma között. A bikultúra őszi búza szakaszaiban elsősorban a felső rétegek kálium készlete hasznosul, míg a kukorica mélyre hatoló gyökérzete révén a mélyebben fekvő rétegekből is jelentős mennyiségű káliumot képes felvenni. Ezért monokultúrában kevésbé csökken a felső rétegben az AL és CaCl_2 oldható kálium mennyisége. Mindezek felhívják a figyelmet arra, hogy a vetésforgók a kijuttatott műtrágyát az adott termőhelyi viszonyok mellett másképp hasznosítják. A látóképi mészlepedékes csernozjom talajon a tartamkísérletben képződött termésmennyiségek esetén a 90 kg/ha K_2O kezelés már meghaladta a monokultúrában termesztett kukorica kálium igényét, ezért nőtt a felső rétegben AL oldható kálium mennyisége. Bikultúrában a 90 kg/ha K_2O kezelés optimálisnak tekinthető, a kijuttatott műtrágya jól hasznosult, nem nőtt a felső rétegben az AL oldható kálium mennyisége a kontrollhoz képest. Bikultúrában a 180 kg/ha K_2O trágyázás mindkét öntözési szinten szignifikánsan növelte a felső réteg AL és CaCl_2 oldható kálium tartalmát. A kontrollban mért CaCl_2 -K és AL-K mennyiségét 100 %-nak véve, a növekvő kezelések hatására relatíve nagyobb mértékben nőtt a talaj CaCl_2 oldható kálium tartalma, mint az AL oldható kálium tartalom. A kontrollhoz viszonyítva abszolút értékben pedig az AL-K tartalom növekszik nagyobb mértékben a kezelések hatására a CaCl_2 oldható kálium tartalomhoz képest.

10. táblázat. A talaj 0-40 cm rétegének 0,01 M CaCl₂ oldható kálium tartalma a kezelésekben, a négy mintavételi időpont átlagában

A 0,01 M kalcium-klorid oldható K ₂ O tartalom [mg/kg] a 2004. évben						
Vetésváltás módja	Monokultúra			Bikultúra		
K ₂ O kezelés [kg/ha]	0	90	180	0	90	180
öntözés nélkül	41,3 ^a	55,7 ^b	73,7 ^c	42,9 ^a	48,0 ^a	60,9 ^b
öntözéssel	50,1 ^a	73,4 ^b	102,5 ^c	47,9 ^a	51,4 ^a	62,0 ^b
A 0,01 M kalcium-klorid oldható K ₂ O tartalom [mg/kg] a 2005. évben						
Vetésváltás módja	Monokultúra			Bikultúra		
K ₂ O kezelés [kg/ha]	0	90	180	0	90	180
öntözés nélkül	46,2 ^a	54,6 ^b	74,4 ^c	54,4 ^a	57,0 ^a	73,4 ^b
öntözéssel	55,3 ^a	79,7 ^b	122,0 ^c	61,5 ^a	60,7 ^a	62,9 ^a

Az azonos betűvel jelzett átlagok p=5%-os szignifikancia szinten nem különböznek egymástól.

11. táblázat. A talaj 0-40 cm rétegének AL oldható kálium tartalma a kezelésekben, a négy mintavételi időpont átlagában

Az AL oldható K ₂ O tartalom [mg/kg] a 2004. évben						
Vetésváltás módja	Monokultúra			Bikultúra		
K ₂ O kezelés [kg/ha]	0	90	180	0	90	180
öntözés nélkül	200,1 ^a	220,7 ^a	273,6 ^b	171,5 ^a	198,6 ^b	231,1 ^c
öntözéssel	215,5 ^a	260,9 ^b	306,5 ^c	207,5 ^a	213,4 ^a	237,0 ^b
Az AL oldható K ₂ O tartalom [mg/kg] a 2005. évben						
Vetésváltás módja	Monokultúra			Bikultúra		
K ₂ O kezelés [kg/ha]	0	90	180	0	90	180
öntözés nélkül	197,1 ^a	212,4 ^a	252,6 ^b	206,3 ^a	209,6 ^a	235,6 ^b
öntözéssel	215,0 ^a	263,4 ^b	301,2 ^c	209,0 ^a	215,8 ^a	231,5 ^b

Az azonos betűvel jelzett átlagok p=5%-os szignifikancia szinten nem különböznek egymástól.

12. táblázat. Kálium mérlegek az eltérő kezelésekben

Kálium mérlegek, öntözés nélkül						
Vetésváltás módja	Monokultúra			Bikultúra		
K ₂ O kezelés [kg/ha]	0	90	180	0	90	180
Egyszerűsített agronómiai mérleg, 2004	-157	-190	-115	-213	-191	-114
Potenciális mérleg, 2004	-	-33	42	-	22	98
Egyszerűsített agronómiai mérleg, 2005	-185	-180	-121	-242	-195	-95
Potenciális mérleg, 2005	-	5	64	-	47	147
Egyszerűsített agronómiai mérleg, 1994-2004	-1 354	-953	39	-1 410	-838	148
Potenciális mérleg, 1994-2004	-	401	1 393	-	572	1 558
Kálium mérlegek, öntözés mellett						
Vetésváltás módja	Monokultúra			Bikultúra		
K ₂ O kezelés [kg/ha]	0	90	180	0	90	180
Egyszerűsített agronómiai mérleg, 2004	-158	-208	-136	-258	-202	-112
Potenciális mérleg, 2004	-	-50	22	-	56	146
Egyszerűsített agronómiai mérleg, 2005	-167	-167	-110	-244	-191	-86
Potenciális mérleg, 2005	-	1	57	-	54	158
Egyszerűsített agronómiai mérleg, 1994-2004	-1 615	-1 426	-553	-1 691	-1 166	-264
Potenciális mérleg, 1994-2004	-	189	1 062	-	525	1 427

Ez jól mutatja, hogy kálium trágyázás hatására nő ugyan a talajban a kálium mennyisége – nő az AL oldható kálium mennyisége is - de nyilvánvaló, hogy a kijuttatott műtrágya teljes mennyisége nem fog megjelenni a talajoldatban, hanem egy része leköötödvé tartalékként áll rendelkezésre. Tehát az AL kivonatban megjelenő kálium mennyiségének egy része a növény számára közvetlenül nem hozzáférhető tartalékkészletekből származik. A CaCl_2 oldható kálium mennyiségének nagyobb relatív növekedése igazolja, hogy a kalcium kloridos módszer érzékenyen jelezte a kálium kezelések hatását a talaj könnyen kicserélhető és oldható kálium tartalmára. A felső réteg CaCl_2 oldható tartalma a növény számára könnyen hozzáférhető kálium frakció mennyiségét jellemzi. Összességében a két kivonószerben oldható kálium mennyisége más információ tartalommal rendelkezik a termőhely kálium ellátottságának és káliumszolgáltató képességének megítélése szempontjából. A kalcium-kloridos módszer érzékenyen jelezte a kálium kezelések hatását a talaj könnyen kicserélhető és oldható kálium tartalmára, ezért a termőhely káliumszolgáltatásáról és a növény számára könnyen hozzáférhető kálium mennyiségéről nyújt információt, míg az AL módszerrel a növény számára közvetlenül nem hozzáférhető, potenciális tartalékkészletek nagyságáról nyerhetünk képet. A növény táplálás szempontjából nem elég ismerni a potenciálisan mobilizálódni képes tartalékkészletek mennyiségét, hanem meghatározó, hogy adott termőhelyi viszonyok mellett milyen lesz az egyensúlyi talajoldat kálium koncentrációja a tartalékkészlet mennyiségétől és minőségétől függően. A hagyományos AL módszer és a kalcium-kloridos módszer egymást kiegészítve egzakt módon képes jellemezni a termőhely kálium ellátottságát és káliumszolgáltatását.

5. ÚJ ÉS ÚJSZERŰ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Adataim bizonyítják, hogy a Hajdúsági löszhát mészlepedékes csernozjom talajának kiváló természetes nitrogénszolgáltató képessége szükségtelessé teszi a 120 kg/ha N feletti adagok kijuttatását búza-kukorica bikultúrában, mivel csökken a kijuttatott N műtrágya hasznosulása, termésnövelő hatása, számottevő nitrát felhalmozódás és lemosódás jöhet létre a talajszelvényben, különösen öntözött viszonyok között.
2. Kimutattam, hogy a könnyen oldható és oxidálható szerves frakció mennyiségét elsősorban a termőhelyi adottságok és a mineralizáció feltételei határozzák meg, ezért a 0,01 M-os CaCl_2 -ban oldható szerves N-frakció mennyisége a termőhely természetes N-szolgáltatásának jellemzésére alkalmas.
3. A talaj 0,01 M CaCl_2 oldható szerves N-frakciói alapján a N-szükséglet pontosítható, megállapíthatók a környezetkímélő N-adagok.
4. Bebizonyítottam, hogy a 0,01 M-os CaCl_2 -os módszer érzékenyebben jelzi a K-kezelések hatását, mint a hagyományos AL-módszer.
5. A hagyományos ammónium-laktát-ecetsav (AL) és a kalcium-kloridos módszer egymást kiegészítve, együttesen alkalmazva lehetőséget nyújt a termőhely kálium és foszfor ellátottságnak pontosabb megítélésére.

6. GYAKORLATNAK ÁTADHATÓ EREDMÉNYEK

1. A Hajdúsági Lőszhát mészlepedékes csernozjom talaján a talaj jó nitrogénellátása miatt búza-kukorica bikultúrában nem indokolt a 120 kg/ha N-t meghaladó adagok alkalmazása a Reseda (PR37M81) és a hasonló termőképességű hibridek esetében. A nagyobb adagok rosszul érvényesülnek, jelentős környezeti kockázattal járnak, különösen öntözött viszonyok között a talajszelvény mélyebb rétegeibe, majd a talajvízbe mosódhatnak.

A talaj nitrogén ellátottságának és szolgáltatásának jellemzésére a 0,01 M CaCl_2 oldható nitrát és szerves nitrogén frakciók meghatározása javasolható. A szerves frakcióban jelenlévő könnyen mobilizálható N-készleteket célszerű a N-adag megállapításánál figyelembe venni.

2. A vizsgált mészlepedékes csernozjom talaj foszforszolgáltatása is jó. A 90 kg/ha P_2O_5 adag bikultúrában a Reseda (PR37M81) hibrid alá kijuttatva optimálisnak tekinthető, míg monokultúrában már jelentősen meghaladja a termesztett kultúra foszfor igényét.
3. Kukorica monokultúrában, a vizsgált termőhelyhez hasonló mészlepedékes csernozjom talajon a 90 kg/ha K_2O adag meghaladja a termesztett növény igényét. Bikultúrában a 90 kg/ha K_2O adag optimálisnak tekinthető, de ennél nagyobb mennyiségű műtrágya kijuttatása nem indokolt.
4. A kálium és foszfor ellátottság megítélésére az AL-módszer és a 0,01 M kalcium kloridos módszer együttes használata javasolható.

Lektorált közlemények

Közlemények hazai impaktfaktoros folyóiratban idegen nyelven

1. Peter Pepó, Attila Vad, **Sándor Berényi**. (2006): Effect of some agrotechnical elements on the yield of maize on chernozem soil. Cereal Research Communications. **34.1.** 621-624. (IF: 1,037)
2. **Sándor Berényi**, Attila Vad, Lajos Dóka, Péter Pepó. (2007): Effect of fertilization and cropyears on maize (*Zea mays* L.) yields in different crop rotations. Cereal Research Communications. **35.2.** 241-244. (IF: 1,19)

Közlemények hazai nem impaktfaktoros folyóiratban magyarul

3. Pepó Péter, Vad Attila, **Berényi Sándor**. (2005): Agrotechnikai tényezők hatása a kukorica termésére monokultúrás termesztésben. Növénytermelés. **54.4.** 317-326.
4. Pepó Péter, Dóka Lajos, **Berényi Sándor**, Vad Attila. (2008): Az öntözés hatása a kukorica (*Zea Mays* L.) termésére száraz évjáratban csernozjom talajon. Növénytermelés. **57.2.** 171-179.
5. Bertáné Szabó Emese, **Berényi Sándor**, Loch Jakab. (2009): A 0,01 M CaCl_2 , a Baker–Amacher és az ammónium-laktát-ecetsav (AL) kivonószerekben oldható K-tartalom összehasonlítása. Agrokémia és Talajtan. **58.1.** 45-56.
6. **Berényi Sándor**, Bertáné Szabó Emese, Loch Jakab, Pepó Péter. (2009): A trágyázás és öntözés tartamhatása a 0,01 mol kalcium-kloridban oldható N-frakciókra alföldi mészlepedékes csernozjom talajon. Agrokémia és Talajtan. **58.2.** 251-264.
7. Lazányi János, Mándi Lajosné, **Berényi Sándor**. (2006): A 0,01 M CaCl_2 talajkivonószer jelentősége a zöldborsó termesztés-technológiájának fejlesztésében. A tápanyag-gazdálkodást segítő talajvizsgálati módszerek alkalmazása a Nyírség homoktalajain. Nyíregyháza. ISBN 978-963-06-1860-1. 299-324.
8. Lazányi János, Györgyi Gyuláné, **Berényi Sándor**. (2006): A 0,01 M CaCl_2 talajkivonószer jelentősége a zöldbab termesztés-technológiájának fejlesztésében. A tápanyag-gazdálkodást segítő talajvizsgálati módszerek alkalmazása a Nyírség homoktalajain. Nyíregyháza. ISBN 978-963-06-1860-1. 325-347.
9. Kremper Rita, **Berényi Sándor**, Nagy Péter Tamás, Balláné Kovács Andrea, Loch Jakab. (2008): Összefüggések a különböző talajkivonószerekkel kivont mikroelem-tartalom és a fontosabb talajtulajdonságok között. Talajtani Vándorgyűlés. Nyíregyháza. ISBN:978-963-9909-03-8. 441-446.
10. **Berényi Sándor**, Szabó Emese, Kremper Rita, Loch Jakab. (2008): A talaj kálium ellátottságának vizsgálata módosított Baker-Amecher és 0,01 M CaCl_2 egyensúlyi kivonószerek alkalmazásával. Talajtani Vándorgyűlés. Nyíregyháza. ISBN:978-963-9909-03-8. 369-374.

Közlemény nem impaktfaktoros folyóiratban idegen nyelven

11. Rita Kremper, **Sándor Berényi**, Katalin Kovács, Ida Kincses, Jakab Loch. (2008): Determine soluble copper and zinc content of soils. Cereal Research Communications. **36.5.** 399-402.
12. Péter Pepó, Attila Vad, **Sándor Berényi**. (2008): Effects of irrigation in yields of maize (*Zea mays* L.) in different crop rotations. Cereal Research Communications. **36.3.** 735-738.
13. Andrea Balla Kovács, **Sándor Berényi**, Imre Vágó. (2005): Comparison of 0,01 M CaCl_2 -0,005M DTPA and 0,1M KCl - 0,01M EDTA extractants for determination of Cu and Zn in soils in greenhouse experiment. Acta Agronomica Óváriensis. **47.** 37-45.
14. Péter Tamás Nagy, Sándorné Kincses, **Sándor Berényi**, Imre J. Holb. (2005): Study on Copper and Zinc content of soil-plant system in integrated and organic apple orchards. Acta Agronomica Óváriensis. **47.** 253-262.
15. Peter Pepo, Laszlo Zsombik, Attila Vad, **Sándor Berényi**, Lajos Doka. (2007): Agroecological and management factors with impact on the yield and yield stability of maize (*Zea mays* L.) in different crop rotation. Analele Universitatii Oradea. Facultatea de Protectia Mediului. **13.** 181 – 187.

Magyar nyelvű konferencia kiadvány

16. Vad Attila, **Berényi Sándor**, Pepó Péter. (2005): A trágyázás, öntözés és tőszám vizsgálata monokultúrás kukorica termesztésben. XI. ITF. Keszthely. 14.

Nem lektorált közlemények

17. Tudományos közlemény magyar nyelvű folyóiratban:
18. Pepó Péter, Vad Attila, **Berényi Sándor**. (2006): Néhány agrotechnikai tényező hatása a kukorica termésmennyiségére. Gyakorlati Agrofórum Extra **13.** 33-35.
19. Pepó Péter, Zsombik László, Vad Attila, **Berényi Sándor**. (2007): A kritikus agrotechnikai tényezők elemzése a kukoricatermesztésben. Gyakorlati Agrofórum Extra **17.** 5-6.

Idegen nyelvű konferencia kiadvány

20. Rita Kremper, **Sándor Berényi**, Jakab Loch, Andrea Balla Kovács. (2007): Comparison of soil-test extractants for zinc and copper. Joint International Conference on Long-term Experiments, Agricultural Research and Natural Resources. Debrecen-Nyírlugos. HU-ISBN 978-963-473-054-5. 262-268.

A KUTATÁSI TÉMÁHOZ KÖZVETLENÜL NEM KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK

Lektorált közlemények

Közlemények külföldi impaktfaktoros folyóiratban

21. Á. Béni, I. Kiss, **S. Berényi**, J. Posta. (2007): Atomic distributions in acetylene-air flame using hydraulic high pressure nebulization with direct (100%) introduction of solutions Applications to speciation analysis. **Microchem. J. 8. 103-108.** (IF:1,75)

Idegen nyelvű konferencia kiadvány

22. Á. Béni, I. Kiss, **S. Berényi**, J. Posta (2005): Study of atomization and generating processes with the FES/AAS combustion system ensuring 100% sample input. XII Hungarian-Italian Symposium On Spectrochemistry: Environmental Pollution And Human Health. Pécs. 81.

Magyar nyelvű konferencia kiadvány

23. Posta József, Lakatos János, **Berényi Sándor**, Béni Áron. (2003): Száraz aeroszolk és atomizációs folyamatainak felhasználása a nyomelem- és a speciációs analitikában. 46. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés. Szeged. MKE kiadvány. 42.
24. Béni Áron **Berényi Sándor** Posta József. (2003): Atomizációs és gerjesztési folyamatok tanulmányozása 100%-os mintabevitelt biztosító FES/AAS égőrendszerrel. 46. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés. Szeged. MKE kiadvány. 72.
25. **Berényi Sándor**, Béni Áron, Posta József. (2003): Környezeti minták szerves szulfát-és foszfát-tartalmának meghatározása kapcsolt technikával, atomabszorpciós spektrometriás detektálással. 46. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés. Szeged. MKE kiadvány. 132.
26. Béni Áron, **Berényi Sándor**, Posta József. (2004): Atomizációs és gerjesztési folyamatok tanulmányozása 100%-os mintabevitelt biztosító FES/AAS égőrendszerrel. 47. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés. Balatonföldvár. MKE kiadvány. 216.
27. Kiss Ildikó, **Berényi Sándor**, Béni Áron, Posta József. (2004): Új lángatomabszorpciós spektrometriás módszer kidolgozása környezeti minták kén-dioxid-, kénsav-, szulfát- és foszforszármazék tartalmának meghatározására. 47. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés. Balatonföldvár. MKE kiadvány. 225.
28. Posta József, Halász András, Béni Áron, **Berényi Sándor**. (2006): Száraz aeroszolk képződésének és összetételének követése atomabszorpciós és termikus módszerekkel. 49. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés. Miskolc. MKE kiadvány. 101.