

DEBRECENI EGYETEM
AGRÁR- ÉS GAZDÁLKODÁSTUDOMÁNYOK CENTRUM
MEZŐGAZDASÁG-, ÉLELMISZERTUDOMÁNYI ÉS
KÖRNYEZETGAZDÁLKODÁSI KAR
AGROKÉMIAI ÉS TALAJTANI INTÉZET

HANKÓCZY JENŐ NÖVÉNYTERMESZTÉSI, KERTÉSZETI ÉS
ÉLELMISZERTUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA

Doktori iskola vezető:

Dr. Kátai János
egyetemi tanár

Témavezető:

Dr. Loch Jakab
MTA doktora

Dr. Pepó Péter
MTA doktora

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

Készítette:

Berényi Sándor

DEBRECEN

2013

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS.....	1
2. TÉMAFELVETÉS, CÉLKITŰZÉSEK.....	3
3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	5
3.1. Nitrogén a talajban.....	5
3.1.1. A talaj nitrogén készlete, nitrogénszolgáltató képessége.....	6
3.1.2. Vizsgálati módszerek a talaj N-tartalmának meghatározására.....	8
3.1.2.1. Kémiai módszerek.....	8
3.1.2.1.1 A talaj szerves N-tartalmának vizsgálati módszerei.....	8
3.1.2.1.2. A talaj szerves és könnyen mineralizálható szerves formáinak meghatározására alkalmas módszerek.....	9
3.1.2.2. Biológiai módszerek.....	10
3.2. Foszfor a talajban.....	11
3.2.1. A talaj foszfor készlete és foszforszolgáltató képessége.....	12
3.2.2. Vizsgálati módszerek a talaj P-tartalmának meghatározására.....	15
3.2.2.1. A talaj foszfortartalmának vizsgálata ásványi savakat és sókat tartalmazó kivonószerekkel.....	15
3.2.2.2. A talaj foszfortartalmának vizsgálata savas kivonószerekkel.....	16
3.2.2.3. A talaj foszfortartalmának vizsgálata lúgos kivonószerekkel.....	18
3.2.2.4. A talaj foszfortartalmának vizsgálata vízzel és semleges sóoldatokkal.....	18
3.3. Kálium a talajban.....	20
3.3.1. A talaj kálium készlete és káliumszolgáltató képessége.....	21
3.3.2. Vizsgálati módszerek a talaj K-tartalmának meghatározására.....	22
3.3.2.1. A talajok összes káliumtartalma.....	22
3.3.2.2. A talaj könnyen oldható káliumtartalma.....	23
3.4. Szaktanácsadási rendszerek.....	25
3.4.1. A MÉM-NAK szaktanácsadás alapjai, módszere.....	26
3.4.2. MTA-TAKI-KSZE szaktanácsadási rendszere.....	27
3.4.3. Új környezet- és költségkímélő szaktanácsadási rendszer (Proplanta).....	28
3.4.4. Az Nmin módszer.....	29
3.4.5. Az EUF-módszer.....	31
3.5. Műtrágyázási tartamkísérletek.....	32
3.5.1. Az Országos Műtrágyázási Tartamkísérletek eredményeinek áttekintése.....	33
3.5.1.1. Nagyhörcsök, Iregszemcse, Karcag, Hajdúböszörmény termőhelyek.....	33
3.5.1.2. Kompolt, Bicsérd, Putnok, Keszthely, Mosonmagyaróvár termőhelyek.....	36
3.5.1.3. Az Országos Műtrágyázási Tartamkísérletek eredményeinek összegzése.....	38
4. A VIZSGÁLATOK ANYAGA ÉS MÓDSZERE	40
4.1. A kísérlet területe, talajadottságai.....	40

4.2. A kísérlet beállítása, elrendezése.....	40
4.3. A tartamkísérletben alkalmazott agrotechnika.....	42
4.4. A vizsgált időszak évjáratának jellemzése.....	42
4.5. Talaj és növény mintavétel.....	43
4.6. A talaj és növényminták előkészítése.....	44
4.7. Alkalmazott vizsgálati módszerek.....	44
4.8. Mérlegszámítási eljárások.....	45
4.9. Alkalmazott statisztikai módszerek.....	45
5. AZ EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE.....	46
5.1. A terméseredmények áttekintése.....	46
5.2. Az agrotechnikai tényezők hatása a nitrát-N mennyiségére.....	48
5.2.1. A nitrát-nitrogén frakció mennyisége a 2004. évi tenyészidőszakban.....	48
5.2.1.1. A nitrát-nitrogén frakció mennyisége kukorica monokultúrában, a 2004. évi tenyészidőszakban.....	49
5.2.1.2. A nitrát-nitrogén frakció mennyisége búza, kukorica bikultúrában, a 2004. évi tenyészidőszakban.....	54
5.2.2. A nitrát-nitrogén frakció mennyisége a 2005. évi tenyészidőszakban.....	59
5.2.2.1. A nitrát-nitrogén frakció mennyisége kukorica monokultúrában, a 2005. évi tenyészidőszakban.....	60
5.2.2.2. A nitrát-nitrogén frakció mennyisége búza, kukorica bikultúrában, a 2005. évi tenyészidőszakban.....	64
5.3. A szerves nitrogén frakció mennyisége a 2004. és 2005. évi tenyészidőszakban...	70
5.4. Az NH ₄ -N frakció mennyisége a 2004. és 2005. évi tenyészidőszakban.....	71
5.5. A 0,01 M kalcium-kloridban oldható N-frakciók eredményeinek összefoglalása...	73
5.6. A termőhely talajának AL- és CaCl ₂ oldható foszfor tartalma.....	76
5.6.1. Az AL-oldható foszfor tartalom a 2004. évi tenyészidőszakban.....	77
5.6.1.1. Az AL-oldható foszfor tartalom monokultúrában, a 2004. évi tenyészidőszakban.....	77
5.6.1.2. Az AL oldható foszfor tartalom bikultúrában, a 2004. évi tenyészidőszakban.....	78
5.6.2. A CaCl ₂ oldható foszfor tartalom a 2004. évi tenyészidőszakban.....	80
5.6.2.1. A CaCl ₂ -oldható foszfor tartalom monokultúrában, a 2004. évi tenyészidőszakban.....	80
5.6.2.2. A CaCl ₂ -oldható foszfor tartalom bikultúrában, a 2004. évi tenyészidőszakban.....	81
5.6.3. Az AL oldható foszfor tartalom a 2005. évi tenyészidőszakban.....	81
5.6.3.1. Az AL oldható foszfor tartalom monokultúrában, a 2005. évi tenyészidőszakban.....	82
5.6.3.2. Az AL-oldható foszfor tartalom bikultúrában, a 2005. évi tenyészidőszakban.....	83
5.6.4. A CaCl ₂ oldható foszfor tartalom a 2005. évi tenyészidőszakban.....	85
5.6.4.1. A CaCl ₂ -oldható foszfor tartalom monokultúrában, a 2005. évi tenyészidőszakban.....	85
5.6.4.2. A CaCl ₂ oldható foszfor tartalom bikultúrában, a 2005. évi tenyészidőszakban.....	86
5.6.5. Az AL- és a CaCl ₂ -oldható P-tartalom változásának összefoglalása.....	87
5.7. A termőhely talajának AL- és CaCl ₂ oldható kálium tartalma.....	89

5.7.1. Az AL oldható kálium tartalom a 2004. évi tenyésztidőszakban.....	90
5.7.1.1. Az AL oldható kálium tartalom monokultúrában, a 2004. évi tenyésztidőszakban.....	90
5.7.1.2. Az AL oldható kálium tartalom bikultúrában, a 2004. évi tenyésztidőszakban.....	92
5.7.2. A CaCl ₂ oldható kálium tartalom a 2004. évi tenyésztidőszakban.....	93
5.7.2.1. A CaCl ₂ -oldható kálium tartalom monokultúrában, a 2004. évi tenyésztidőszakban.....	93
5.7.2.2. A CaCl ₂ -oldható kálium tartalom bikultúrában, a 2004. évi tenyésztidőszakban.....	95
5.7.3. Az AL oldható kálium tartalom a 2005. évi tenyésztidőszakban.....	96
5.7.3.1. Az AL oldható kálium tartalom monokultúrában, a 2005. évi tenyésztidőszakban.....	97
5.7.3.2. Az AL oldható kálium tartalom bikultúrában, a 2005. évi tenyésztidőszakban.....	98
5.7.4. A CaCl ₂ oldható kálium tartalom a 2005. évi tenyésztidőszakban.....	100
5.7.4.1. A CaCl ₂ -oldható kálium tartalom monokultúrában, a 2005. évi tenyésztidőszakban.....	100
5.7.4.2. A CaCl ₂ -oldható kálium tartalom bikultúrában, a 2005. évi tenyésztidőszakban.....	102
5.7.5. Az AL- és a CaCl ₂ -oldható K-tartalom változásának összefoglalása.....	103
6. ÖSSZEFOGLALÁS.....	105
7. ÚJ ÉS ÚJSZERŰ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	110
8. GYAKORLATNAK ÁTADHATÓ EREDMÉNYEK.....	111
9. SUMMARY.....	112
IRODALOMJEGYZÉK.....	117
TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE.....	128
ÁBRÁK JEGYZÉKE.....	130

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. Ezek az elemek a gyakorlatban nem választhatók szét egymástól, hiszen bármely elem helytelen alkalmazása alapvetően befolyásolja a gazdálkodás eredményességét. Az alap kutatások feladata az egyes technológiai elemek hatásának és a többi elemmel való kölcsönhatásának vizsgálata a növénytermesztésben. A gyakorló szakemberek a korábbi tapasztalatokat, ismereteket és az alap kutatások eredményeit felhasználva tehetik jövedelmezővé a gazdálkodást. Legyen szó akár alap kutatásról, 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 termőhely klimatikus és talajtani viszonyai adottak. A klimatikus viszonyokat befolyásolni nem tudjuk, viszont az általuk megszabott feltételekhez igazodó fajtaválasztással, a mezőgazdasági vízgazdálkodás hatékonyságának növelésével, a talaj nedvességforgalmának szabályozásával lehetőség van alkalmazkodni hatásaikhoz. A termőhely talajának termékenységét a talajtulajdonságokban kifejeződő talajtani viszonyok határozzák meg. A talajtulajdonságok jellemzően a genetikai típusoktól és altípusoktól függenek. Ugyanakkor egyes talajtípusok a talajtulajdonságok tekintetében változatos képet mutatnak, ezért a termőhely genetikai talajtípusának és talajtulajdonságainak együttese határozza meg termőhely-specifikusan a talajtani viszonyokat.

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 terméscsökkenést, 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, így jó esély teremthető hosszútávon az eredményesebb gazdálkodásra. Magyarországon több trágyázási szaktanácsadási rendszer közül is választhatnak a gazdálkodók. Közös jellemvonásuk a mérlegelv, miszerint a visszapótlendő tápelemek mennyisége a termesztett növény által kivont tápelemek mennyiségének és a talaj tápanyag-ellátottságának figyelembevételével becsülhető. Korrekciós tényezőként veszik figyelembe az elővetemény, a szerves trágyázás és a tarlómaradványok hatását. A növény által kivont tápelemek mennyisége a tervezett termés nagyságából és a növény fajlagos tápelem-igényéből számolható. A termőhelyre jellemző tápanyag-ellátottságot kémiai módszerekkel, talaj- és növényvizsgálati eredmények alapján határozzák meg, oly módon, hogy a kémiai módszerekkel kapott eredményeket szükségszerűen kalibrálják szabadföldi kísérletekben.

Az egyes szaktanácsadási rendszerek a talajvizsgálatokban alkalmazott kémiai módszerekben jelentősen eltérhetnek egymástól. A különböző kémiai módszerek erélyességüktől, 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.

A termesztett kultúra harmonikus tápanyagellátása szempontjából egyaránt fontos megismerni a termőhely talajának tartalékkészleteit és a növény által közvetlenül hozzáférhető tápelemeinek mennyiségét a tenyészidőszakban. A tápanyag-ellátottság helyes megállapítása szempontjából ezért kulcsfontosságú annak ismerete, hogy a kémiai kivonások milyen mértékben képesek jellemezni a termőhely tápanyag-ellátottsága szempontjából meghatározó tápelem formákat.

2. TÉMAFELVETÉS, CÉLKITŰZÉSEK

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. Ennek egyik tipikus példája a nitrogén. A hazai szaktanácsadásban a N-ellátottságot évtizedek óta a humusztartalom alapján, a termőhely-kategóriák és a kötöttség figyelembe vételével állapítják meg (BUZÁS és FEKETE, 1979). A humusztartalom önmagában nem ad felvilágosítást arról, hogy adott termőhelyi viszonyok mellett milyen ütemű és mértékű lehet a szerves anyagok mineralizációja. Ezért veszik figyelembe a humusztartalmon kívül a talajok kötöttségét és a termőhelyi adottságokat, melyek alapján a nitrifikáció intenzitása becsülhető. Továbbá a humusz mennyisége arról sem tud információt nyújtani, 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. A N-ellátottság meghatározható WEHRMANN és SCHARPF (1979) nyomán a talaj 1 m-es rétegének NO_3^- és NH_4^+ -tartalma alapján is (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 (EGNÉR et al., 1960) terjedt el. 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 tápelemt 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.

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 -os módszerrel meghatározott N-, P- és K-tartalmát. Célul tűztem ki, hogy a különböző kezeléskombinációkban tápanyagforgalmi vizsgálatok segítségével értelmezsem azt, hogy a termőhely talajának hagyományos vizsgálati módszerekkel kapott nitrogén-, foszfor- és káliumtartalma, mit is jelent tápanyag-ellátottság szempontjából a természet kultúrára vonatkozóan. Hasonlóképpen a 0,01 M kalcium-kloridban oldható szervetlen és szerves nitrogén frakciók, az oldható kálium és foszfor mennyiségei, miben nyújtanak más információt, mint a hagyományos módszerek. Kiemelt fontosságúnak tartom annak tisztázást, 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. Kutató munkám alapját a Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodási Tudományok Centruma látóképi Kísérleti Telepén Dr. Ruzsányi László 1984-ben beállított többtényezős tartamkísérletből származó növény és talajminták vizsgálata biztosította.

3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

3.1. Nitrogén a talajban

A talajok N-tartalmát az alapkőzet tulajdonságai és a klimatikus viszonyokkal összefüggő talajképződési folyamatok határozzák meg. Ásványi talajokban az összes N-tartalom 0,02-0,4 % között változik, melynek túlnyomó része 90-95 % a növények által közvetlenül fel nem vehető szerves vegyületekben, 2-10 % nem kicserélhető (fixált) ammónium formában fordul elő (SARKADI, 1975; BUZÁS, 1987; LOCH és NOSTICZIUS, 1992; MENGEL és KIRKBY, 2001).

Az NH_4^+ -ionok egy része az agyag- és humuszkolloidok felületén adszorbeálódik, velük egyensúlyban, a talajoldatban NH_4^+ -ionok szabadon vannak jelen, melyek a növények számára közvetlenül hozzáférhetőek. A 2:1 típusú agyagásványok rétegrácsaiban fixált NH_4^+ -ionok viszont, csak lassú mállásfolyamatokban válnak szabaddá.

A nitrát (NO_3^-) ionok túlnyomó része szabadon van jelen a talajoldatban, mivel a legtöbb elemmel vízben jól oldódó vegyületet képeznek. A növények számára közvetlenül hozzáférhetőek, de könnyen kimosódnak a talajszelvény mélyebb rétegeibe, mivel nem adszorbeálódnak talajkolloidok felületén.

Szerves formában lévő nitrogént tartalmaznak a humuszanyagok (fulvosavak, huminsavak, humin, humuszszen) és a humuszhoz nem kötött elhalt, de még nem humifikálódott növényi és állati maradványok és mikroszervezetek (BUZÁS, 1987; FILEP, 1999). A humusz anyagok nitrogéntartalma 1-8 % között változik. A humusztartalom növekedésével nő a talaj szerves-N tartalma, ugyanakkor a talaj N-szolgáltató képessége függ a humuszanyagok minőségétől is (HARGITAI, 1983; NÉMETH, 1996).

A hazai talajok szerves anyag készletének megoszlását a humuszos réteg szervesanyag-tartalma és a humuszos réteg vastagsága alapján VÁRALLYAY et al. (1980) foglalták össze. GYŐRI (1984) szintén nem csupán a humusztartalmat veszi figyelembe a talajok szervesanyag-tartalmának jellemzésére, hanem a talaj humuszkészletét is. A humuszkészlet számításához 50 cm-es átlagos humusgréteg-vastagságot vett figyelembe. BARANYAI et al. (1987), több mint 3 millió hektárról származó felső 25 cm-es talajrétegek humusztartalmát értékelte. Megyénként

részletesen elemezte a humuszvizsgálati eredményeket, melyek alapján a megyék szántóterületeit különböző N-ellátottsági kategóriába sorolta.

A talaj szerves anyagának mintegy 1-3 %-a mineralizálódik évente (BREMNER, 1967; SARKADI, 1975; STEFANOVITS, 1975; GYŐRI, 1984). LATKOVICS (1982) 36 helyről, különböző agroökológiai körzetekből, eltérő környezeti feltételekkel rendelkező területekről, különböző talajtípusokról származó minták összes-N, ásványi-N és fixált ammónium-N mennyiségét határozta meg. Vizsgálatai szerint a mineralizáció során képződő ásványi N-tartalom az összes N-tartalom 0,4-4,75 %-át tette ki.

3.1.1. A talaj nitrogén készlete, nitrogénszolgáltató képessége

A különböző növényfajok, fajták nitrogénigénye eltérő és változó a tenyészidőszakban. A talajoldatban megjelenő szerves nitrogén frakciók mennyiségét és időbeli eloszlását összetett, egymással kölcsönhatásban lévő tényezők és dinamikus változó folyamatok együttesen határozzák meg. A klíma, a talaj szerves anyagának mennyisége és minősége, a talaj fizikai félesége, nedvességtartalma, pH-ja, hőmérséklete, mikrobiális aktivitása, a talaj kultúrállapota, egyaránt szerepet játszik a talaj nitrogén készletének mennyiségi és minőségi eloszlásában, nitrogénszolgáltató képességének alakulásában.

A talaj N-szolgáltatását elsősorban a talaj szerves anyagának mineralizációja, illetve a szerves nitrogén frakciók immobilizációja határozza meg. A mineralizálódott nitrogén mennyisége éves szinten elérheti a szerves N-tartalom 1-3%-át is (BREMNER, 1967; SARKADI, 1975; STEFANOVITS, 1975). Mind a mineralizáció, mind az immobilizáció a talajban élő mikroorganizmusok közreműködésével megy végbe, ezért a talaj mikrobiális aktivitását és annak irányát meghatározó paraméterek, mint a talaj nedvessége, hőfoka, kémhatása, a bomló szerves anyag C:N aránya, továbbá számos gyorsan változó tényező befolyásolja a talaj N-szolgáltató képességét (SARKADI, 1975).

STEFANOVITS (1975) a talajok N-ellátottságát az összes N-tartalmuk alapján jellemezte (0-0,05 % N – igen gyenge; 0,05 -0,1 % N gyengén ellátott; 0,1-0,25 % N közepesen ellátott; 0,25 % fölött; jól ellátott). SARKADI (1975) szerint a talaj összes N-tartalmát megszorozva a talaj tulajdonságaira jellemző korrekciós faktorról, megítélhető a talaj ásványosodó nitrogénjének mennyisége. A szorzószámokat,

FÓRIZSNÉ – MÁTÉ – STEFANOVITS (1972) talajminősítési rendszerét figyelembe véve dolgozták ki. A talaj nitrogén szolgáltatása $N_{szolg} = N_{össz} * f * 300$ [kg/ha]. Az összes N-tartalom a humusztartalomból is számolható (1% összes humusz=0,06% összes N).

HARGITAI (1983) a hazai talajok humuszállapotának értékelésére és összehasonlítására dolgozott ki módszert a humusztartalom és a humuszanyagok stabilitási koefficiense alapján. A stabilitási koefficiens jellemző humuszminőségi érték, mely a humusz-anyagok láncának hosszúságát, bonyolultságát, kondenzációs fokát, a kalciumhoz való kapcsolódás mértékét, a humifikáltság fokát fejezi ki. Azokban a talajokban, melyekben a talajtani és klimatikus viszonyok kedvezőek a hosszú molekulaláncú, nagy stabilitási koefficiensű értékes humuszanyagok alakulnak ki. Szerepük jelentős a talajok termékenysége szempontjából, hatásuk kedvező a talajok fizikai állapotára, szerkezeti tulajdonságainak kialakítására és a tápanyag-szolgáltató képességére.

BUZÁS (1987) a 6 M sósavval kioldható szerves N-formákat (BREMNER, 1965, 1967) mennyiségét tekinti N-kapacitásnak (N-tőke), így a humusztartalom mellett a még nem humifikálódott szerves anyag nitrogénszolgáltató képessége is figyelembe vehető. Magyarországon a talajtulajdonságoktól függően az összes N 37-89%-a található hidrolizálható formában (BUZÁS, 1983). BUZÁS (1987) N-potenciálnak nevezi a vizes sóoldatokkal oldható kicserélhető N-frakciókat, míg a mineralizáció sebessége adja a tápanyag-intenzitást. A nitrogénszolgáltató-képesség jellemzésére a talajban lévő nitrát mennyiségét javasolja, mivel jól tükrözi a N-szolgáltatást befolyásoló talaj tulajdonságokat, a környezeti hatásokat, és az emberi beavatkozásokat (trágyázás, talajművelés stb.). A kicserélhető NH_4-N tartalommal nem számol, mert annak mennyisége az év folyamán nagymértékben ingadozik és nincs összhangban a növény által felvett nitrogén mennyiségével. Az EUF-módszerrel kapott szerves- és szerves-N-frakciókat szintén alkalmasnak tartja a talaj N-szolgáltatásának jellemzésére.

3.1.2. Vizsgálati módszerek a talaj N-tartalmának meghatározására

3.1.2.1. Kémiai módszerek

A különböző talajvizsgálati módszerek célja információk szerzése a talaj nitrogén ellátottságáról és nitrogén szolgáltató képességéről, melyek ismerete elengedhetetlen a növény igényéhez igazodó szakszerű tápanyag-gazdálkodás megalapozásához. Az ellátottság megítélése rendkívül nehéz feladat, mivel talajok nitrogén szolgáltató képessége nagyban függ szervesanyag-tartalmuktól a szerves anyag minőségétől és számos egyéb tényezőtől.

3.1.2.1.1. A talaj szerves N-tartalmának vizsgálati módszerei

Hazánkban TYURIN módszerével (TYURIN, 1951) határozzák meg a talaj szervesanyag-tartalmát krómsavas oxidációval. A talaj humuszanyagainak ugyanakkor eltérő a N-szolgáltatása, ezért a humuszanyagok frakcionálására több módszert is kidolgoztak (Tyurin-féle frakcionált humuszanalízis és annak módosított változatai, Hargitai, 1983).

A talaj összes N-tartalmának túlnyomó része a humuszanyagokhoz van kötve, így a humusztartalomból a N-tartalomra is következtethetünk (1% összes humusz=0,06 % összes N). A talajok összes N-tartalma ma már Kjeldahl (KJELDAHL, 1883) vagy Dumas (DUMAS, 1831) módszerén alapuló automatizált műszerekkel egyszerűen és gyorsan meghatározható.

A talaj szerves anyagainak vizsgálatára használt kémiai kivonószeres eljárások egyik csoportjába tartoznak azok az eljárások, melyekkel a szerves nitrogénformák frakciókra bonthatók, így elkülöníthetők egymástól a különböző mértékben mineralizálódó nitrogénvegyületek. Ilyen HARGITAI (1983) módszere, mely szerint a különböző mértékben hidrolizálható N frakciókat négy egymást követő kénsavas, majd ezt követően kénsavas és hidrogénperoxidos és végül újabb kénsavas kezeléssel különíti el. Egy párhuzamos mintából 6 M HCl-as hidrolízissel BREMNER (1965) szerint kivonja az összes nem heterociklusos nitrogént tartalmazó szerves vegyületet. A sósavas hidrolízis talajmaradékából meghatározható a vizsgált talaj növények számára fölvehetetlen heterociklusos nitrogén tartalma.

A kémia kivonószeres eljárások másik csoportja nem frakcionálja a szerves nitrogén vegyületeket, hanem közvetlenül a könnyen mineralizálható frakciót vonja ki. Ilyen például a STANFORD- SMITH (1972) módszer, amely szerint kénsavas kálium-permanganát oldattal kezelik a talajt. A kálium-permanganát a könnyen oxidálható szerves vegyületek egy részét elroncsolja, és ezek nitrogéntartalma a kivonószerbe kerül. Ugyanerre a célra FILEP és TÓTHNÉ (1980a, 1980b) a talaj kénsavas $K_2Cr_2O_7$ -os kezelését javasolja. BREMNER (1965) 6 M HCl-as hidrolízissel vonja ki a növény számára potenciálisan mineralizálódni képes nitrogén frakciókat.

3.1.2.1.2. A talaj szerves és könnyen mineralizálható szerves formáinak meghatározására alkalmas módszerek

A Németh (1971) által kidolgozott EUF módszer (elektro-ultra-filtrációs) módszer a szerves N-formákon kívül lehetővé teszi a könnyen mineralizálható szerves formák (N-org) frakcionált meghatározását. A minták extrakciója desztillált vízzel, növekvő feszültség mellett, egyenáramú elektromos erőterben, szakaszosan történik. A feszültség növelése elősegíti az ionok deszorbeálódását a talajkolloidok felületéről, így alacsony feszültség mellett a lazábban kötött ionok mennek az oldatba, nagyobb feszültség és magasabb hőmérsékleten az erőbben kötött ionok. Ez lehetővé teszi a könnyen hasznosítható (aktuális) készletek és a tartalék (potenciális) készletek meghatározását (LOCH, 2006). Az első EUF frakció nagyrészt a szerves nitrogén formákat tartalmazza, ami az aktuális könnyen hozzáférhető nitrogén mennyiségéről ad tájékoztatást, míg a második EUF frakcióban (nagyobb feszültség és magasabb hőmérsékleten) jelentősen megnő a szerves N-frakció mennyisége, ami a potenciálisan mineralizálható nitrogén mennyiségét jellemzi. A két frakció együttesen jól korrelál a talaj nitrogén-szolgáltató képességével a tenyészidőszakban, ezért jó összefüggés várható az EUF-N mennyisége és a növény nitrogén ellátottsága között.

HOUBA et al. (1990) a talaj makro- és mikro- tápelem-tartalmának meghatározására a 0,01 M kalcium-klorid oldatot javasolták. A talaj 0,01 M $CaCl_2$ kivonószerben oldható tápelem tartalma a könnyen felvehető (aktuális) tápelem-tartalmat jellemzi (DIEST et al., 1993; FOTYMA et al., 1996; BAIER és BAIEROVA, 1997). A kalcium-kloridos módszer előnye, hogy a talajkivonatból az ásványi nitrogénformák mellett, a könnyen oldható és oxidálható szerves N mennyisége is meghatározható (HOUBA et al., 1986; APPEL et al. 1988, 1992; HOUBA, 1998). Több

hazai tartamkísérlet, továbbá a TIM talajainak vizsgálata egyaránt kimutatta, hogy a 0,01 M CaCl_2 -ban és a mólos KCl-ban oldható N-frakciók között, a vizsgált talajtípustól függetlenül szoros a korreláció, ezért a két módszer egymással helyettesíthető (HOUBA et al. ,1991; LOCH és JÁSZBERÉNYI, 1997; LOCH, 1999). Martonvásári tartamkísérletekben JÁSZBERÉNYI et al. (1994), a Westsik vetésforgó kísérletekben LAZÁNYI (2003), LAZÁNYI és LOCH (2006), NAGY et al. (2002) igazolták, hogy a műtrágyázás hatása megjelenik a 0,01 M kalcium-kloridban oldható ásványi nitrogén frakciók közül elsősorban a nitrát mennyiségében, továbbá a szerves trágyázás hatására tartamkísérletben a szerves nitrogén frakció mennyisége növekvő tendenciát mutat.

A 0,01 M CaCl_2 oldható szerves-N frakció mennyiségének az EUF szerves N két- háromszorososa, mindemellett a CaCl_2 oldható szerves-N-frakció mennyiségével a termőhelyek nitrogén mineralizációs kapacitása jellemezhető (APPEL és MENGEL, 1992; GROOT és HOUBA , 1995; KULCSÁR et al, 1998). LOCH (1999) a T017043 sz. OTKA téma zárójelentésében megállapítja, hogy a 0,01 M kalcium-kloridos módszer alkalmas a talajok nitrogén ellátottságának jellemzésre, és az EUF módszert is helyettesítheti, mivel az EUF módszerrel kapott nitrogén frakciók és a 0,01 M kalcium klorid oldható nitrogén frakciók között szoros összefüggés állapítható meg. A 0,01 M kalcium-kloridos módszer előnye az EUF módszerrel szemben, hogy sorozatvizsgálatra alkalmas, olcsó, míg az EUF kivonatok készítéséhez milliós értékű extraháló berendezések szükségesek, és egy készülékkel naponta 8-10 talajminta kivonata készíthető el. Magyarországon ez idáig még nem történt meg a 0,01 M kalcium-kloridos módszer szélesebb körű kalibrációja, ezért nálunk erre a módszerre épülő szaktanácsadási rendszer eddig nem honosodott meg.

A talaj ásványi nitrogénformáinak (NO_3^- -N, NH_4^+ -N) mennyiségi meghatározására használt módszerek, a talaj híg sóoldatokkal (1 M KCl, 1 M NaCl, 0,01 M CaCl_2) történő extrakciója. Magyarországon szabvány módszerként (MSZ-08-0474-12:1981) az 1 M KCl oldatot alkalmazzák a talaj ásványi nitrogénformáinak meghatározására.

3.1.2.2. Biológiai módszerek

A mikrobiológiai vagy érleléses (inkubációs) eljárások a potenciálisan mineralizálható nitrogén mennyiségének megítélésére alkalmazhatóak. Hazánkban id. VÁRALLYAY (1940, 1944) honosította meg. Az érlelés során keletkezett ásványi

nitrogén frakció mennyisége arányos a talaj nitrogénszolgáltató képességével. Az inkubációs módszerek lényege, hogy meghatározott ideig termosztátokban, vagy szobahőmérsékleten érlelik a talajokat, majd mérik az ez idő alatt mineralizálódott NO_3^- -N és NH_4^+ -N mennyiségét (direkt inkubáció). Az inkubációs eljárásoknak az érlelés módjától, időtartamától, hőfokától, a talaj nedvességtartalmától és számos egyéb tényező változásától függően, sok változata ismert (STANFORD és SMITH, 1972; STANFORD et al., 1974; JARVIS et al., 1996). Hazánkban közülük az id. VÁRALLYAY (1940,1944) által kidolgozott érleléses módszer terjedt el (BALLENEGGER és DI GLÉRA). E szerint az Arany-féle kötöttségi szám felével egyenlő vízmennyiség hozzáadásával, 18 napig 20 °C-on történik az érlelés. A keletkező szerves-N mennyisége, a talajtípus humusztartalma és a növények igénye alapján állapítható meg a N-trágyázás szükségessége (BALLENEGGER, 1959). Az inkubációs módszerek hátránya, hogy idő és munkaigényesek, az érlelés eredményét sok tényező befolyásolja, és a reprodukálhatóságuk sem kielégítő.

3.2. Foszfor a talajban

A talajok összes P-tartalma 0,02-0,15 %. Ez a szántott rétegben 1,5-2,5 t/ha foszforra felel meg. Ugyanakkor a talajban közvetlenül felvehető formában csak igen kis mennyiségben található. A foszfor a talajban szerves és szerves kötésben fordul elő csaknem kizárólag ortofoszfát formájában. A szerves és szerves frakció aránya változó (20-80%), többnyire 50-50 %. A szerves foszfor legnagyobb része (60%) fitin, inozit-hexafoszfát. Kisebb részben (5-10%) nukleinsavak, foszfolipidek, foszforproteinek és cukorfoszfátok alkotója. A szerves P-tartalom mintegy 30%-a nem pontosan ismert formában, huminsavakhoz, fulvosavakhoz van kötve. A szerves P-tartalom mineralizációjának üteme lassú.

A talaj foszforvegyületeinek a növények tápanyagellátása szempontjából legfontosabb részét a szerves foszfátvegyületek képezik. A szerves P-tartalom natív eredetű apatitokból, apatitok mállástermékeiből és a műtrágyákból kialakult új képződményekből áll. A talajképződés során keletkezett eredeti P-tartalmat a hidroxapatit ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$) és fluorapatit ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$) izomorf elegykristályai képezik, amelyek csak igen lassú fizikai-kémiai mállásfolyamatokban alakulnak át. A talaj fontosabb foszfát ásványai közé tartozik a dikalcium-foszfát (CaHPO_4), a trikálcium-foszfát ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$), variszcit ($\text{AlH}_2\text{PO}_4(\text{OH})_2$) és strengit ($\text{FeH}_2\text{PO}_4(\text{OH})_2$).

A műtrágyával talajba juttatott vízoldható monokalciium-foszfát ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$) és a citrátoldható dikalciium-foszfát viszonylag gyorsan átalakul nehezebben oldható foszfátokká, így a műtrágyázás hatással van a talaj szervesetlen foszfátvegyületeinek mennyiségére és minőségére is. A rendkívül finom eloszlású frissen kicsapott átalakulási termékek kis oldhatóságuk ellenére is könnyebben hozzáférhetőek a növények számára, mint a primer ásványi képződmények. Hasznosíthatóságuk a keletkezett vegyületek átkristályosodása révén egyre csökken.

3.2.1. A talaj foszfor készlete és foszforszolgáltató képessége

A növények a foszfort a talajoldatból H_2PO_4^- és HPO_4^{2-} formában veszik fel. A talajok P-tartalmához képest, a talajoldat felvehető P-tartalma rendkívül kicsi mintegy 10^{-4} - 10^{-5} M (MENGEL et al., 1969; HOSSNER et al., 1973). A növények által a tenyészidőszakban felvett foszfor mennyisége jóval meghaladja a talajoldatban található foszfor mennyiségét. Ezért a növények foszforfelvétele csak akkor lehet zavartalan, ha a talajoldat P-tartalma a növény P felvétele során folyamatosan megújul, visszapótlódik.

MENGEL és KIRKBY, (1987) a talajok foszfortartalmát három részre osztja. A növények számára közvetlenül nem hozzáférhetőek a tartalékkészletek, melyekből a foszfor lassú fizikai-kémiai mállási folyamatok során válik szabaddá. Ide sorolják továbbá a szerves foszforvegyületeket is, mivel arid viszonyok között a szerves P-vegyületek mineralizációja lassú folyamat. Ugyanakkor felhívják a figyelmet a gyökérszövet szerepére a szerves foszfor vegyületek hasznosításában. A növény számára „potenciálisan hozzáférhető”, mobilizálódni képes foszfor készletnek nevezik az oldható szervesetlen foszfor vegyületeket és az adszorbeált foszfort. A talajoldat foszfortartalmát tekintik a növény által közvetlenül felvehető foszfornak. A talajoldat P-tartalma és a potenciálisan hozzáférhető készletek között dinamikus egyensúly áll fenn. A növényi foszfor felvétel során csökken a talajoldat P-tartalma, ami a potenciálisan hozzáférhető készletek mobilizációjából pótlódik. A növények foszforfelvételében meghatározó a talajok P-szolgáltató képessége, ami tulajdonképpen a potenciálisan hozzáférhető, mobilizálódni képes frakcióból keletkező felvehető foszfor képződésének a sebessége.

A talaj eredeti P-készletének mennyiségét és minőségét a talajképződési folyamatok határozzák meg. A különböző talajtípusoknak a talajtulajdonságoktól függően más és más a P-szolgáltató képessége. A növény számára hozzáférhető foszfor

mennyisége függ a talaj P-tartalmától, a különböző foszforformák minőségétől, a talaj kötöttségétől, pH-jától, CaCO_3 tartalmától, a talajkolloidok mennyiségétől és minőségétől. A talaj kémhatásától függően változik a szerves foszforvegyületek oldhatósága, valamint a foszfor adszorpciója a szerves kolloidok, továbbá az agyagásványok felületén. Növekvő pH hatására a kalcium foszfátok oldhatósága csökken, míg a vas és alumínium foszfátok oldhatósága nő. Nem hagyható figyelmen kívül az a tény, hogy a szakirodalomban szereplő oldhatósági adatok a tiszta szerves vegyületekre érvényesek. Ezzel szemben a talajban a nehezen oldhatónak tartott szerves foszforvegyületek szennyeződések tartalmazhatnak, ami jelentősen megnövelheti e vegyületek oldhatóságát (MENGEL és KIRKBY, 1987). A foszfátok anionadszorpciója savanyú talajokon jelentős mennyiségű lehet, ami a pH növekedésével csökken. A foszforvegyületek oldhatóságát és az adszorpció viszonyokat figyelembe véve a foszfor felvételére legkedvezőbb a pH=5,5-7 tartomány. A talaj CaCO_3 tartalma egyrészt közvetlenül hatással van a talaj kémhatására, másrészt kihat a szerves foszforvegyületek minőségi előfordulására. Az agyagásványok mennyisége és összetétele, a szerves és szerves kolloidok mennyisége és minősége a talaj kémhatásától függően hat az adszorbeált foszfor mennyiségére. Mindezekből következik, hogy a talajok foszfortartalmának jellemzése és különösen foszfor szolgáltató képességének a megítélése összetett feladat.

A talajok szerves foszfor készletének mennyiségi és minőségi vizsgálatára egyik lehetőség a CHANG és JACKSON (1957) által kidolgozott módszer, mely szerint a talaj szerves foszfát vegyületeit öt fő csoportra (I-V.) osztják: gyengén kötött, vagy más néven vízoldható foszfátok (I.), alumínium- és könnyen oldható Ca-foszfátok (II.), vas- (III.) és nehezen oldható kalcium-foszfátok (IV.), továbbá a redukálószerben oldódó vas- és alumínium-foszfátok (V.).

A foszfátvegyületek elválasztását egymást követő extrahálással, semleges NH_4Cl (I.), semleges NH_4F (II.), NaOH (III.), H_2SO_4 (IV.), Na-citrát-ditionit és az ezt követő ismételt NH_4F és NaOH oldattal végezték (V.). A módszerrel vizsgálható a talaj szerves foszforvegyületeinek és a növényi foszforfelvétel közötti kapcsolat, valamint alkalmas a talajhoz adott foszforvegyületek dinamikájának nyomon követésére (FÜLEKY, 1974). Arid viszonyok között, amikor a kalcium-foszfátok jelentősége a döntő, elegendő az első négy „aktív” frakció meghatározása, ilyenkor ugyanis az első négy frakció foszfor készlete játssza a döntő szerepet a növény táplálkozásban (SMITH, 1965, 1969). Az eddigi vizsgálatok szerint a talajhoz adott foszfor 80-90%-a általában

az első négy frakcióban található (SMITH, 1965). A talajhoz adott foszfor elsősorban az adszorbeált foszfor és az ammónium-fluoridban oldható foszfor mennyiségét növeli.

FÜLEKY és VARGA (1974) 12 jellegzetes magyarországi talajtípus mintáinak határozták meg az összes-, a szerves-, és a Chang-Jackson szerinti I-IV. frakció foszfortartalmát. Megállapították, hogy a vizsgált frakciók foszforeloszlása visszatükrözi a talajok képződésének körülményeit és feltételeit. Homok talajok esetében az összes foszfor és a szerves foszfor mennyisége egyaránt kicsi. A foszfor túlnyomó többségét a szerves foszfátok alkotják és a szerves foszfor könnyen oldatba vihető már a szerves foszfátok kivonása során. A vizsgált csernozjom talajoknak egyaránt nagy volt a szerves- és a szerves P-tartalma. A szerves foszfor a szerves foszfátok kivonása során alig oldódik és a szerves foszfátok között a kalcium-foszfatok dominálnak. A réti és agyagbemosódásos barna erdőtalajoknál a szerves foszfátok nagyobb részét a vas- és alumínium-foszfatok teszik ki. A vizsgált talajokban a vas-foszfat mennyisége és a talaj kalcium-karbonát tartalma között fordított arányosság volt megfigyelhető.

BRAY és KURTZ (1945) a talaj P-szolgáltató képességének megítélésére négyféle P-forma meghatározását javasolták. A Bray-I (P_1 teszt) módszerrel az adszorbeált foszfor „könnyen kicserélhető”, a P_2 -teszttel a „savoldható és könnyen kicserélhető”, a P_3 teszttel az „összes adszorbeált”, a P_4 -teszttel pedig az „összes adszorbeált és savoldható” P-frakció határozható meg. BRAY (1958) szerint az általa feldolgozott szabadföldi kísérletekben a P_1 -teszt felhasználásával számított Mitscherlich-jellegű egyenlettel tudta legjobban megközelíteni a tapasztalt P-hatásgörbéket. SARKADI (1975) értékelve Bray és Kurtz módszereit megállapítja, hogy a kioldott P-mennyiségek függenek a talaj típusától, az oldást befolyásoló talajkémiai és –fizikai környezettől. Ezért önmagában ez a módszer sem képes jellemezni a különböző talajok foszforszolgáltató képességét, tehát a vizsgálati eredmények csak növénykísérletekkel történt kalibráció után használhatók.

A különböző frakcionálási módszerek összetettségük és időigényességük miatt sorozatvizsgálatokra nem alkalmasak. Hasonló okokból a biológiai inkubációs módszerek sem felelnek meg a gyakorlat számára. Mindezek mellett az alapkutatásokban és a gyakorlatban alkalmazható rutin módszerek vizsgálatára mind a különböző frakcionálási módszerek, mind pedig az inkubációs módszerek nem nélkülözhetőek.

3.2.2. Vizsgálati módszerek a talaj P-tartalmának meghatározására

SARKADI (1975) a talaj összes foszfortartalmának meghatározására megfelelő módszernek tartja a szilikátelemezésben is jól bevált klasszikus szódás ömlesztést. FÜLEKY (1973) vizsgálatai szerint hazai talajainkon általában jó eredménnyel alkalmazható a $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$ feltárás is.

3.2.2.1. A talaj foszfortartalmának vizsgálata ásványi savakat és sókat tartalmazó kivonószerekkel

A talaj összes foszfor tartalma nem nyújt információt a növények számára a tenyészidőszakban hozzáférhető foszfor mennyiségéről. Ezért olyan a gyakorlat számára megfelelő nagy sorozatban végezhető kémiai módszerek kidolgozására törekedtek a kutatók, amelyekkel a talaj növény számára hozzáférhető foszfortartalmát vagy azzal arányos mennyiséget képesek jellemezni.

Történetileg először a savas kioldáson alapuló eljárások alakultak ki. HASENBAUMER (1931) szerint SPRENGEL (1837) volt az első, aki erős ásványi savakat használt a talaj P- és K- készletének kioldására. Hazánkban 'SIGMOND (1901) használt először kémiai eljárást a műtrágyázási szaktanácsadás elősegítésére. Világviszonylatban is az első volt, aki a talaj CaCO_3 tartalmát figyelembe vette a kivonáshoz használt HNO_3 töménységének megállapításához. A híg ásványi savak az oldás körülményeitől (talaj-kivonószer arány, kivonási idő) függően a talajoldatban könnyen oldható, az adszorbeált, a mikrokristályos Ca-, Al-, Fe- foszfátokat, és a nehezen oldható makrokristályos apatitok, a különböző Fe- és Al-foszfátok egy részét is oldják (SARKADI, 1975). A híg ásványi savak tehát a növények számára nem hozzáférhető szerves foszfor vegyületeket egy részét is oldatba viszik, ugyanakkor a kioldott mennyiség erősen függ a talajtulajdonságoktól. A talajok CaCO_3 tartalma jelentősen csökkenti a kivonószer oldóképességét. A talajkivonat pH-jától és pCa értékétől függően jelentős lehet a foszfátok másodlagos kicsapódása. Hasonlóképpen kicsapódhatnak a foszfátok a kolloidokban és az alkalmazott savakban oldódó két- és háromértékű (Fe^{2+} , Al^{3+}) kationokban gazdag, egyébként nem karbonátos talajokon is. Mindezek miatt hazai talajaink foszfor ellátottságának megítélésére az ásványi savas kivonószerek nem alkalmazhatók.

3.2.2.2. A talaj foszfortartalmának vizsgálata savas kivonószerekkel

EGNÉR (1932) 3,7 pH-ra tompított egyszeres Ca-laktát (EL) oldatot használt kivonószerként, hogy a foszfátok oldódását és másodlagos kicsapódását nagymértékben befolyásoló pH és pCa hatását csökkentse. Mivel karbonátos talajon, nem volt elegendő a kivonószert puffertoló képessége, RIEHM (1943), EGNÉR és RIEHM (1955) dupla töménységű laktátpuffert (DL) javasolták. A laktát-módszer kidolgozóit azt tapasztalták, hogy mind az EL-, mind a DL-oldat homokos talajokból több foszfort oldanak ki, mint a biológiai módszerek szerint azonos P-szolgáltató képességű kötöttebb agyagos talajokból. Az erősen savanyú kémhatású talajokból pedig kevesebb foszfort képesek oldani, mint a gyengén savanyú vagy neutrális talajokból, ami azzal magyarázható, hogy a laktátos kivonószerek elsősorban a kalcium-foszfátokat oldják, míg a vas- és alumínium-foszfátokat kevésbé, pedig ezek egy része szintén jól felvehető a növények számára. EGNÉR-RIEHM-DOMINGO (1960) a Ca-laktát helyett az ammónium-laktát-ecetsav (AL) alkalmazását javasolták. RIEHM (1958) vizsgálatai szerint 30% CaCO_3 tartalmú talaj AL-kivonatának pH-ja még 5 alatt van. (Ha a kivonat pH-ja meghaladja az 5 körüli értéket, számolni kell a CaHPO_4 kicsapódásával, ami csökkenti a kimutatható foszfor mennyiségét.) A nyersfoszfátokkal trágyázott talajok vizsgálatára dolgozták ki Ausztriában (SCHÜLLER, 1969) a CAL (kalcium-acetát-laktát) módszert. Schüller vizsgálatai szerint a nyersfoszfáttal kezelt talajok foszfor tartalma a CAL kivonószertben kevésbé oldódik, mint az ammónium-laktátban. Hazánkban VÁRALLYAY (1950) 125 szabadföldi kísérlet vizsgálati eredményeinek feldolgozása alapján készített javaslatot az Egnér-féle foszfor határértékekre. SARKADI (1975) a laktátos módszerek vizsgálati eredményeit áttekintve megállapítja, hogy az AL és CAL módszer (erősebben meszes) karbonátos talajokon kissé túlbecsüli a talaj könnyen oldható P-készletét, továbbá hazai viszonyaink között a DL módszer nem alkalmazható, mivel oldó képességét a karbonát tartalom és a talajtulajdonságok nagymértékben befolyásolják. Az erősen meszes, 30 %-nál több CaCO_3 -ot tartalmazó talajokon már az AL-oldat sem képes kellően puffertolni a kivonat pH-ját, valamint nem karbonátos, de erősen kötött talajokon szintén kedvezőtlenek a tapasztalatok. A foszfortrágyázási szintek és az AL oldható P-tartalom között szoros összefüggést állapított meg. Sarkadi munkásságát felhasználva dolgozták ki a MÉM-NAK keretében jelenleg is használt AL-P határértékeket.

FÜLEKY (1976) a talaj foszforellátottságának jellemzésére használt kivonószereket vizsgált aszerint, hogy a talaj mely szervesetlen foszfátvegyületeit oldják (Chang-Jackson I.-IV. frakciók). A laktátos DL-, AL-, CAL- kivonószerek jelentős mennyiségű nehezen oldható Ca-foszfátot (V. frakció) oldottak a karbonátos P-ral trágyázott és nem trágyázott talajokból egyaránt, valamint azokból a nem karbonátos talajokból, amelyek nagyobb mennyiségű Ca-foszfátot tartalmaztak. Az összes kivonószert közül az AL oldotta a legtöbb foszfort. Az eredmények azt mutatták, hogy az AL-módszer karbonátos talajokon feltehetően túlbecsüli a növények számára rendelkezésre álló P készletet.

A talajtulajdonságok, a talaj kémhatása és mészállapota befolyásolják az AL oldható foszfor mennyiségét (SARKADI, 1975). Ennek figyelembevételére dolgozták ki Sarkadi és Thamné (THAMNÉ, 1980) az AL korrekciós modellt. A modell kidolgozása során, nagyszámú magyarországi talajjal beállított Neubauer rozs csíranövény kísérlettel kalibrálták és súlyozták a talaj kötöttségének, pH-jának és mésztartalmának befolyásoló hatását az AL oldható foszfor tartalmakra. Az így kapott konstansok segítségével az AL-P tartalmakat standard talajtulajdonság-sorra (pH (KCl)=6,8 ; CaCO_3 : 0,1% ; $K_A=37$) transzformálták át (korrigált AL-P), ezzel kiküszöbölve az eltérő kötöttség, pH és mésztartalom torzító hatását. A korrigált AL-P tartalmak sokkal jobb összefüggést mutattak a rozs csíranövény által felvett P mennyiségével, mint az eredeti AL-P tartalmak. CSATHÓ (2002, 2003) az 1960-2000 között publikált hazai őszi búza és kukorica szabadföldi tartamkísérletek adatbázisán vizsgálta a foszforhatásokat, figyelembe véve a talaj AL-P és korrigált AL-P tartalmát. Megállapítja, hogy a búza és a kukorica P-hatás kísérletekben a Sarkadi és munkatársai által kidolgozott AL-P korrekciós modell javította az eredeti AL-P tartalmak és a relatív termésben, valamint terméstöbbletben kifejezett P-hatások közötti összefüggés szorosságát. Csathó és munkatársai a Sarkadi-Tham féle AL-korrekciós modell további optimalizációjával új P-ellátottsági határértékeket állapítottak meg, külön a foszforra igényes és foszforra kevésbé igényes növények részére.

Az eddigi eredmények szerint a talaj AL oldható P-tartalma erősen függ a talajtulajdonságoktól, a talaj kémhatásától és CaCO_3 tartalmától. Ezért egyes esetekben alul (erősen savanyú talajok), míg más esetekben (karbonátos talajok) túlbecsüli a növény számára hozzáférhető foszfor mennyiségét a tenyészidőszakban. Az AL erélyes kivonószert, így a növény számára közvetlenül hozzáférhető foszfor mellett a tartalékkészleteket is oldja.

3.2.2.3. A talaj foszfortartalmának vizsgálata lúgos kivonószerekkel

A lúgos kivonószerek közül legismertebb és legelterjedtebb az OLSEN et al. (1954) által eredetileg meszes talajok vizsgálatára kidolgozott módszer, mely a semleges és savanyú kémhatású talajok foszfor tartalmának vizsgálatára is alkalmas. SARKADI (1975) a foszfor trágyázás és az Olsen-féle foszfor tartalom között szoros összefüggést állapított meg. SARKADI (1975) és FÜLEKY (1976a, 1976b) vizsgálati eredményei szerint az irodalmi adatokkal egyezően a DL, AL, CAL és Olsen kivonószerek közül a talaj CaCO_3 tartalma legkevésbé az Olsen-féle P-tartalomra volt hatással. FÜLEKY (1976a, 1976b) a talajok Chang-Jackson I-IV. frakciónak a vizsgálata során azt tapasztalta, hogy az Olsen-féle kivonószert nem karbonátos talajokon az AL- és könnyen oldható Ca-foszfátokat valamint a Fe-foszfátokat tartalmazó frakció részarányát csökkentette. Karbonátos talajokon pedig csak az AL- és könnyen oldható Ca-foszfátok mennyisége csökkent. Az Olsen-féle kivonószert karbonátos és nem karbonátos talajokon sem oldotta a nehezen oldható Ca-foszfátokat tartalmazó frakciót. Az Olsen-féle módszerről megállapítható, hogy jól jellemzi a növény számára potenciálisan hozzáférhető foszfor mennyiségét a tenyészidőszakban. Hazánkban a kezdeti technikai nehézségek (kioldódó sötét színű humuszanyagok) és az AL módszer bevezetése miatt az Olsen-féle módszert nem használják a szaktanácsadásban.

3.2.2.4. A talaj foszfortartalmának vizsgálata vízzel és semleges sóoldatokkal

A víz és a semleges sóoldatok az enyhe kivonószerek közé tartoznak, melyek a növények számára közvetlenül hozzáférhető tápelem-frakciókat képesek kioldani. Az analitikai módszerek folyamatos fejlődésének ellenére, rutinszerűen, ma sem mindig egyszerű feladatot a kis mennyiségű oldott tápelem tartalom meghatározása.

Először Hollandiában PAAUW (1969) és SISSINGH (1969) vezette be az 1:60 arányú vizes kivonat foszfortartalmának meghatározásán alapuló szaktanácsadást. Vizsgálataik szerint a talaj vízdoldható P-tartalma és a P-hatások között szoros az összefüggés. Ennek ellenére az analitikai nehézségek miatt alkalmazása nem terjedt el.

SCHACHTSCHABEL (1954) a növények számára hozzáférhető magnézium készletek meghatározására a 0,0125 M kalcium-klorid oldatot javasolta extrahálószerként. Módszere azóta széles körben elterjedt. HOUBA et al. (1990) a

makro- és mikrotápelemek meghatározására univerzális kivonószerként a 0,01 M kalcium-klorid oldatot javasolták, melynek bevezetését egységes eljárásként a nemzetközi szabványosítási szervezet (ISO TC 190 „Soil Quality”) is támogatta. A 0,01 M CaCl_2 -oldat enyhe oldó és ioncserélő hatású, Ca-koncentrációja közel áll a talajoldathoz. A kivonat jól szűrhető, melyből több tápelem és egyes tápelemek (N,P) könnyen oldható és oxidálható szerves frakcióinak mennyisége is meghatározható. FÜLEKY (1976a, 1976b) a Chang-Jackson féle szervesen oldható foszfor frakciók vizsgálata során megállapítja, hogy a 0,01M CaCl_2 oldat elsősorban a gyengén kötött vízoldható foszfor frakciókat vonja ki. LOCH és JÁSZBERÉNYI (1997) 633 a TIM talaj-monitoring rendszerből származó minták vizsgálata során meghatározták az AL és a 0,01 M kalcium-klorid oldható P-tartalmat. A két kivonószerben oldott P-tartalom között laza ($r < 0,5$) összefüggést tudtak megállapítani, melyet azzal magyaráztak, hogy a kalcium-kloridban mért értékek az aktuális P-tartalmat jellemzik, az AL-P értékek pedig a tartalékokat. A 0,01 M CaCl_2 -P és az AL-P kapcsolata az OMTK kísérletekben is megvizsgálták. A termőhelyenként végzett összefüggés-vizsgálatok során lineáris illesztéssel szorosabb összefüggést tapasztaltak, mint a TIM minták heterogén halmazán. Exponenciális illesztés esetén a két kivonószer P-tartalma között igen szoros kapcsolatot állapítottak meg. Az eredmények jól szemléltették az eltérő termőhelyi adottságokat. A különböző termőhelyeken azonos AL-P értékekhez, különböző CaCl_2 -P értékek tartoztak, ami azt mutatta, hogy a 0,01 M CaCl_2 -ban oldható foszfor mennyisége nagymértékben függ a talajok pH-jától, agyagtartalmától és egyéb talajtulajdonságoktól, melyek az adszorpciós és deszorpciós viszonyokat meghatározzák. Összehasonlító vizsgálataik szerint, mind az AL, mind a CaCl_2 -os módszer jól mutatta a növekvő P-kezelések hatását, ugyanakkor a 0,01 M CaCl_2 -ban oldható P-tartalom érzékenyebben jelzi a P-hiányt és -felesleget, mint Al oldható P-tartalom. A tartamhathásként jelentkező növekményeket, a kontroll kezelés százalékában kifejezve, a CaCl_2 -P értékek növekedése nagyobb volt az AL-P értékek növekményétől. A különbség mértéke termőhelyenként változó volt. Az OMTK tartamkísérletben meghatározták az AL-P, CAL-P, H_2O -P és a CaCl_2 -P módszerekkel oldható P-tartalmak és a számított foszfor mérlegegyenletek közötti összefüggéseket. Eredményeik szerint valamennyi módszerrel szoros szignifikáns összefüggés volt igazolható, ami azt jelenti, hogy a tápanyag kapacitást mérő (AL-P, CAL-P) módszerek és a tápanyag intenzitást mérő (H_2O -P, CaCl_2 -P) módszerek egyaránt alkalmasak a trágyázással felhalmozott foszfor készletek jellemzésére.

A forró vizes (HWP) talajextrakcióval (FÜLEKY és CZINKOTA, 1993) a talaj könnyen oldható foszfortartalma oldható. A HWP- és az AL-P₂O₅ oldható foszfortartalmak között pozitív korreláció áll fenn. Az R² értéke 0,70-0,97 között változik (FÜLEKY és CZINKOTA, 1993, FÜLEKY, 2002; SÁRDI és FÜLEKY, 2002; BERECZ et al., 2005). Az összefüggés szorosságát a talajok fizikai és kémiai tulajdonságai befolyásolják. Az összefüggés szorosságából adódóan a HWP- és az AL módszerrel kapott eredmények egymásba átkonvertálhatók (FÜLEKY és BENEDEK, 2009).

3.3. Kálium a talajban

A talajok összes káliumtartalma 0,2-3,3% között változik. Ez a szántott rétegben mintegy 20-100 t K₂O-nak megfelelő mennyiséget jelent hektáronként (BUZÁS, 1987). A talaj K tartalma a kőzetek mállásából származik. A talaj kálium tartalma nagyrészt a növények számára közvetlenül nem hozzáférhetően a primer szilikátok, földpátok (káliföldpát, leucit) és csillámok, (muszkovit, biotit), valamint a primer szilikátok kémiai és fizikai átalakulása során képződő agyagásványok (illitek, vermikulitok, szmektitek) kristályrácsaiban (strukturális K) található.

Nem kicserélhető, fixált formában a 2:1 típusú agyagásványok kristályrác rétegei között helyezkedik el az összes kálium 1-10%-a, ami a növények számára közvetlenül szintén nem hozzáférhető.

A talaj növények számára közvetlenül hozzáférhető kálium formái, a kicserélhető kálium és a talajoldat kálium tartalma. A kicserélhető kálium mennyisége az összes káliumhoz viszonyítva mindössze 1-2 %. A kicserélhető kálium az agyagásványok felületén és törésfelületén adszorbeálva, valamint a szerves anyag negatív töltésű helyeihez kötött hidratált ion alakban fordul elő (LOCH J. és NOSTICZIUS Á, 1992; FÜLEKY, 1999). SCHEFFER és SCHACHTSCHABEL (1970) a kicserélhető káliumot a felületen adszorbeált „könnyen kicserélhető” és az agyagásványok felületéhez közeli rácsrétegek között elhelyezkedő „nehezen kicserélhető” formákra osztják. SARKADI (1975) szerint, a két forma között nem lehet éles határvonalat húzni, mivel mennyiségük függ a meghatározás módjától, valamint a talaj kálium formái között dinamikus egyensúly áll fenn. A talajoldat káliumtartalma 1-100 mg/dm³ között mozog, ami mindössze 1-2 %-a kicserélhető káliumnak.

Az agyagásvány-tartalom és agyagásvány-összetételtől függően változik a talaj oldható K tartalma, a K-pufferoló képessége és az összes K mennyisége. Talajaink domináló agyagásványai az illit, vermikulit, montmorillonit, klorit és kaolinit. Kémiai összetételük és a talaj K-elátottságában betöltött szerepük eltérő. A klorit és kaolinit K-tartalma kicsi, a K-raktározó képességük és a K-fixálásuk sem jelentős. A vermikulit és montmorillonit közepes mennyiségű káliumot raktároznak, nagy a kationmegkötő-képességük, a vermikulit és szmektit pedig erősen fixálja a káliumot. Az illit nagy, de nehezen mobilizálható K-tartalommal rendelkezik.

A talajtulajdonságok közül a kötöttség és az agyagásványok minősége nagymértékben befolyásolja a növények számára hozzáférhető kálium mennyiségét, de szerepe van a szervesanyag-tartalomnak, sőt a „műtrágyázási-történelemnek” is (GOURLEY, 1999).

3.3.1. A talaj kálium készlete és káliumszolgáltató képessége

A növények a káliumot K^+ ion formában veszik fel a talajoldatból, ezért a növények káliumellátása szempontjából döntő jelentőségű a talajoldat káliumtartalma és az erre ható tényezők. A talajban lévő csillámok és földpátok kismértékű oldhatósága révén ez a frakció csak igen kismennyiségű káliumot juttat a talajoldatba a vegetációs periódusban. Ugyanakkor az anyagcsere-folyamatokban képződő szerves és szervesetlen savak, továbbá SESZTAKOV (1961) szerint a speciális szilikátbontó mikroorganizmusok hatására a nehezen felvehető K-vegyületek is könnyebben felvehető formákká alakulhatnak. A kicserélhető káliumtartalom és a talajoldat káliumtartalma között fennálló viszonylag gyors dinamikus egyensúly következtében a kicserélhető kálium mennyisége nagymértékben befolyásolja a talajoldat káliumtartalmát (GRIMME és NÉMETH, 1971; MENGEL, 1976). A kicserélhető káliumot elsősorban a talaj mechanikai összetétele és az agyagásványok minősége határozza meg, de befolyásolja a szerves anyagok mennyisége is. Az illitek káliumhordozó, a vermikulitok és szmektitek káliumkötő agyagásványok. A káliumkötő agyagásványok arányának növekedésével, nő a kálium lekötődésének mértéke, csökken a talajoldat káliumtartalma FÜLEKY (1987). STEFANOVITS és DOMBÓVÁRINÉ FEKETE K. (1994) által vizsgált talajok esetén, a nagyobb agyagtartalmú talajokon általában szmektit, könnyebb talajokon az illit dominált az agyagásványok között. A talajok káliumszolgáltató képességét a trágyázási múlt is befolyásolja. A műtrágyázás a

termőhelyi adottságoktól függően megváltoztatta a talaj ásványi összetételét, így a kálium megkötődésének mértékét is. Műtrágyázás nélkül rendszerint növekedett a vermikulitok és szmektitek aránya, míg műtrágyázás hatására növekedett, vagy nem változott az illitek aránya.

A kicserélhető kálium és a talajoldat káliumkoncentrációja közötti egyensúlyt a kötéshelyekért versengő kationok közül elsősorban a Ca^{2+} és a Mg^{2+} mennyiségei befolyásolják. Ezt a folyamatot a Q/I görbe (SPARKS és HAUNG, 1985) jól leírja, ahol Q a kicserélhető K-tartalom, I pedig az aktivitási arány, amit $\text{K}/(\text{Ca}+\text{Mg})^{1/2}$ hányados fejez ki. A Q/I görbe meredeksége a kálium-pufferkapacitás, amely megadja, hogy a talajoldat káliumaktivitása milyen mértékben képes a K^+ és Ca^{2+} kicserélődés következtében fellépő változásoknak ellenállni (FÜLEKY, 1999). Azonos agyagásvány-összetétel esetén, az agyagtartalom növekedésével nő a pufferkapacitás. A nagy rétegtöltéssel rendelkező agyagásványoknak nagyobb a káliumfixáló képessége, de nagyobb a pufferkapacitása is.

SARKADI (1975) összegzésében megállapítja, hogy a talajoldat káliumtartalma és ezzel összefüggésben a növények kálium felvétele függ a talaj mechanikai összetételétől, az agyagásványok minőségétől, a kicserélhető kationok arányától, a talaj genetikai típusát eldöntő tulajdonságoktól.

A talajok kálium szolgáltatását a talajok kicserélhető tartalékkészletei, a talajoldat kálium tartalma és a káliumnak a tartalékokból történő talajoldatba jutásának a sebessége együttesen határozza meg. Mindezt jól mutatja, hogy az őszi búza maximális káliumfelvételi sebessége 3,5-5,0 kg K_2O /ha naponta (SEBESTYÉN et al., 1982), ezért a közvetlenül felvehető káliumforma csak néhány napig lenne elég a növény számára (BÚZÁS, 1987).

3.3.2 Vizsgálati módszerek a talaj K-tartalmának meghatározására

3.3.2.1. A talajok összes káliumtartalma

A talajokban található kálium tartalékok mennyisége több évtizedre, sőt évszázadokra is elegendő lehetne, de rossz oldhatóságuk révén a növények számára közvetlenül nem hozzáférhetőek. Ezért önmagában a talajok összes káliumtartalma és a növények kálium ellátottsága között nincs közvetlen kapcsolat. A talaj összes káliumtartalma HF-HClO₄-as roncsolással (JACKSON, 1958), $\text{NH}_4\text{Cl}+\text{CaCO}_3$

ömlesztéssel (LAWRENCE, 1962) és röntgen fluoresszcenciás módszerrel is meghatározható. STEFANOVITS et al. (1994) meghatározták az OMTK kísérletből származó talajok összes káliumtartalmát, agyagásvány összetételét és ezen belül a káliumkötők arányát, kiszámították az agyagos rész kationkicserélő képességét. A kationkicserélő képesség, az összes kálium tartalom és a káliumkötő ásványok arányának felhasználásával képzett hányadosok segítségével jellemzik a különböző termőhelyek káliumtartalma és agyagásvány összetétele közötti összefüggéseket. A talajok összes káliumtartalmának és a kationkicserélő képességének ismeretében becsülhető a talajok agyagásvány összetétele, melynek ismeretében megítélhető a kálium talajban való lekötődésének mértéke (AVERY és BULLOCK, 1977; STEFANOVITS (1993).

3.3.2.2. A talaj könnyen oldható káliumtartalma

RAUTERBERG (1966) összefoglaló tanulmánya rámutat, hogy a növény számára „felvehető” kálium meghatározására csaknem mindazok a módszerek használhatók, amelyeket a foszfor vizsgálatokban is alkalmaznak. A különböző módszerekkel oldható kálium mennyisége azonban jelentősen különbözik egymástól. Az erélyesebb kivonószerek, mint a hazánkban elterjedt és a szaktanácsadásban alkalmazott AL-módszer a növények számára közvetlenül hozzáférhető kálium mellett a tartalékok egy részét is oldja, kicseréli. Az AL oldható káliumtartalmat befolyásolja a talaj fizikai félesége, agyagtartalma és agyagásvány-összetétele (LÁNG, 1978; KÁDÁR, 1992, 1993; STEFANOVITS és DOMBÓVÁRINÉ, 1994). A hazai talajok AL-K tartalom szerinti eloszlása jól követi a fizikai félesége szerinti eloszlást. A talajok nagyobb agyagtartalma általában nagyobb AL-K tartalmakkal jár együtt (LÁSZTITY, 1977; KÁDÁR, 1992; DEBRECZENI és DEBRECZENINÉ 1994; IZSÁKI és IVÁNYI, 2002). CSATHÓ (2005a, 2005b) kukorica és őszi búza káliumhatásokat vizsgált az 1960-2000 között publikált hazai szabadföldi kísérletek adatbázisán. Megállapítja, hogy az AL módszer a legkülönbözőbb talajtulajdonságok mellett is jól tükrözte a talajok természetes kálium szolgáltatását. Kukorica kísérletekben 180-200 mg/kg AL-K₂O tartalom fölött szüntek meg a káliumhatások, míg az őszi búza kísérletekben már a 140-170 mg/kg AL-K₂O tartalmaktól kezdve nem regisztráltak káliumhatásokat.

A talajok káliumszolgáltató képességét nem csupán a tartalékkészletek mennyisége és a talajoldat koncentrációja határozza meg, hanem a tartalékkészletek

átalakulási sebessége közvetlenül felvehető formává. BÚZÁS (1987) szerint azok a kálium vizsgálati módszerek lennének jók a kálium szolgáltatás jellemzésére, amellyel az időegység alatt felvehetővé váló formákat vagy azzal arányos mennyiséget vonnak ki. Erre véleménye szerint alkalmasak lehetnek azok a kivonatok, amelyek a talajoldat káliumtartalmát és a szilárd talajrészecskéhez lazán kapcsolódó K^+ ionokat tartalmazzák

A vizes kivonatok, a híg sóoldatok kivonatai a talajoldatban lévő és a könnyen kicserélhető kálium ionokat tartalmazzák. A PAUW et al. (1971) által javasolt desztillált vizes extrakciós módszer nem terjedt el, mivel a vizes talajszuszpenzió nehezen szűrhető. A HOUBA et al. (1990) által kidolgozott 0,01 M $CaCl_2$ -os módszerrel a talaj növények számára közvetlenül hozzáférhető, könnyen oldható és kicserélhető káliumtartalma határozható meg. JÁSZBERÉNYI et al. (1994) Sarkadi martonvásári tartamkísérletéből származó talajminták 0,01 M $CaCl_2$ oldható kálium tartalma és a számított kálium mérlegek között szoros szignifikáns ($r=0,914$) összefüggést állapítottak meg, ami igazolja, hogy a 0,01 M $CaCl_2$ érzékenyen jelzi a több éves kálium trágyázás hatását. LOCH és JÁSZBERÉNYI (1997) 633 heterogén talajtulajdonságú TIM minta 0,01 M $CaCl_2$ és AL oldható káliumtartalma között lazább ($r=0,7-0,8$) összefüggést tapasztaltak. Ennek okát vizsgálva megállapítják, hogy a két kivonószert a talaj kötöttsége és kalcium-karbonát tartalma befolyásolja. A 0,01 M $CaCl_2$ oldható kálium mennyiségét a kötöttség nagyobb mértékben, a pH csupán kismértékben befolyásolta. Mindebből az feltételezhető, hogy a 0,01 M $CaCl_2$ kivonószert által kivont kálium mennyisége a talajoldat kálium koncentrációját jellemzi, míg az AL-K a növény számára a tenyészidőszakban hozzáférhető kálium mennyiségével arányos.

A forró vizes (HWP) talajextrakcióval (FÜLEKY és CZINKOTA, 1993) a talaj könnyen oldható káliumtartalma oldható. A HWP- és az AL-oldható káliumtartalmak között pozitív korreláció áll fenn. Az R^2 értéke 0,76-0,89 között változik (FÜLEKY és CZINKOTA, 1993; FÜLEKY, 2002; SÁRDI és FÜLEKY, 2002; BERECS et al., 2005). A HWP- és az AL módszerrel kapott eredmények a kötöttség ismeretében egymásba átkonvertálhatók (FÜLEKY és BENEDEK, 2009).

A NÉMETH (1972) által kidolgozott EUF módszerrel az elektro-ultrafiltrálás feszültségétől, hőmérsékletétől és idejétől függő frakciókkal a talajoldat kálium koncentrációja és a tartalékkészletek egyaránt jellemezhetőek. A módszer alkalmazásával képet kapunk a talajok kálium-ellátottságáról és káliumszolgáltató képességéről is.

3.4. Szaktanácsadási rendszerek

Az agrokémiai kutatások célja, hogy az eredmények a korábbinál jobb trágyázási rendszer, trágyázási szaktanácsadási módszer formájában a gyakorlati növénytermesztést szolgálják (BÚZÁS,1987). A trágyázási szaktanácsadás alapjait LIEBIG (1840) és MITSCHERLICH (1909) fektette le, melynek eredményeként a növények tápanyagszükségletének megítélésében nagy szerephez jutott a talaj tápanyagainak vizsgálata. A magyar trágyázási szaktudomány fejlődése, Nyugat-Európával egy időben, a múlt században kezdődött meg. 'SIGMOND (1904) szerint „ A szükséglet nem csak a növénytől, hanem a talaj tápanyagszükségletétől is függ”. Már ebben az időben felmerült a talajvizsgálatok szükségessége ('SIGMOND, 1904; CSERHÁTI, 1900,1906; KERPELY, 1910), ugyanakkor a trágyázási kísérletek elengedhetetlen voltára is felhívták a figyelmet (CSERHÁTI és KOSUTÁNY, 1887; 'SIGMOND, 1904; KERPELY, 1910; BALLENEGGER et al., 1936; KREYBIG, 1940; VÁRALLYAY (1950). Kezdetektől fogva nyilvánvaló volt a kutató-gyakorló szakemberek számára, hogy a különféle talajvizsgáló módszerekkel kapott eredmények bármely tápelem esetében önmagában csupán egy számadat, ahogy KREYBIG (1940), ír erről: „Ahhoz, hogy ebből az egy értékből trágyázási szaktanácsot adjunk, bizonyos jóindulatú merészség kell”.

SARKADI (1975) megállapítja, hogy adott környezeti feltételek mellett a trágyázási szaktanácsok elkészítésénél figyelembe kell venni a gyakorlati tapasztalatokat, táblatorzskönyvi adatokat, a termesztett növények tulajdonságait, a tervezett termést, a talaj- és növényvizsgálatokat, a szabadföldi kísérletek eredményeit. Nyilvánvaló, hogy bármilyen talaj- és vagy növényvizsgáló módszeren alapul egy szaktanácsadási rendszer, trágyázási kísérletekkel végzett kalibráció nélkül vajmi keveset ér. Hasonlóképpen talaj- és növényvizsgálatok nélkül, csupán trágyázási kísérletekre alapozott szaktanácsadási rendszer sem állhatja meg a helyét a gyakorlatban. Mindezek figyelembevétel tekintem át a hazai nitrogén szaktanácsadási rendszereket.

3.4.1. A MÉM-NAK szaktanácsadás alapjai, módszere

Az eljárás számos elméleti és gyakorlati szakember közös munkájának eredménye (ANTAL et al., 1979; BUZÁS et al., 1979; BÁLINT I.NÉ et al., 1981).

A talajokat tulajdonságaik alapján termőhelyi kategóriákba sorolják (I: Csernozjom talajok, II: Barna erdőtalajok, III: Réti és egyéb kötött talajok, IV: Homoktalajok, V: Szikes talajok, VI: Sekély termőrétegű talajok.).

A talaj N-ellátottságának megítélése a humusztartalom alapján történik, figyelembe véve a talajok kötöttségét és a nitrifikációs viszonyokat jellemző termőhelyi csoportokat. Az egyes termőhelyi kategóriákon belül az Arany-féle kötöttségi szám alapján két csoportot képezve (könnyebb és nehezebb mechanikai összetételű) nitrogén-ellátottsági kategóriákat adnak meg a humusz tartalom alapján (igen gyenge, gyenge, közepes, jó, igen jó).

A talaj P- és K-ellátottságának megítélése az egyes termőhelyi kategóriákon belül a talaj AL oldható P- és K-tartalma alapján történik. Az ellátottságot módosító talajtulajdonságok a P-nál a kalcium-karbonát tartalom és a pH-érték, míg a K esetében a kötöttség.

A N-, P-, K-műtrágya hatóanyag szükséglet termőhelyi kategóriánként, a talaj tápanyag-ellátottsága szerint differenciált fajlagos értékekkel számítható ki, a várható termés ismeretében. Az így számított műtrágya-hatóanyag szükséglet módosítható az elővetemény, az istállótrágyázás, a nagy tömegű szerves anyag (szalma, kukoricaszár stb.) alászántásának figyelembevételével.

A módszer megbízhatósága attól függ, hogy mennyire helyesen lettek megállapítva a termőhelyi kategóriák, az ellátottsági értékek, a növények fajlagos tápelemigénye, a korrekciós tényezők hatása. Hátránya a N-ellátottság megítélésekor, hogy a nitrogén-szolgáltató képességet a humusztartalom alapján kategorizálja, hiszen azonos humusz tartalom mellett a talajok nitrogénszolgáltatásában nagy különbségek lehetnek (BUZÁS 1983; BARANYAI, 1987). Buzás szerint javítana a nitrogéntrágya-adagok kiszámításának pontosságán, ha a humusztartalom mellett legalább a talajok nitrát tartalmát is figyelembe vennék. A módszer nagy előnye az évtizedek alatt szabadföldi kísérletekből összegyűjtött adatbázison alapuló kalibráció.

3.4.2. MTA-TAKI-KSZE szaktanácsadási rendszere

A rendszer kidolgozását a MÉM-NAK határértékek nem kellően átgondolt megváltoztatása indította el (KÁDÁR, 1992). A szakközvélemény szerint a MÉM-NAK új határértékek a már meglévő túltrágyázást fokozza. Az MTA TAKI-KSZE közös szaktanácsadási rendszer alapjainak kidolgozása SARKADI és VÁRALLYAY (1989), VÁRALLYAI et al. (1992), NÉMETH (1993) munkásságához köthető. A rendszert üzemi adatokkal a KSZE szakemberei töltötték fel.

A nitrogén ellátottsági kategóriák megállapítása az egyes „talajmozaikokon” belül a humusztartalom alapján történik és a műtrágyaszükséglet számításának metódusa is a MÉM-NAK-hoz hasonló, a várható termés tömege és a növények fajlagos tápelem igénye alapján. Korrekciós tényezőként figyelembe veszik az elővetemény és az alászántott növénymaradványok hatását (NÉMETH, 1987).

Lényegi változás a MÉM-NAK módszerhez képest a talaj termőhelyi kategóriába sorolásának mikéntje. Az MTA-TAKI-KSZE rendszere sokkal differenciáltabban veszi figyelembe a termőhelyi adottságokat. A talajok talajtulajdonság-együttesek alapján kerülnek csoportosításra. Az első három csoportba kerülnek azok a talajok, melyeken a termesztés körülményei nem gátoltak (egyensúlyi típusok: csernozjomok, kimosódási típusok: erdőtalajok, akkumulációs típusok: réti talajok). Az első három csoporton belül további differenciálás történik a talaj fizikai félesége, pH-ja és mészállapota és végül a táblarész humuszviszonyai alapján. További öt csoportba kerültek azok a talajok, amelyeken a termesztést gátló valamilyen tulajdonság megjelenik (szikesedés, sekély termőrétteg stb.). A különböző csoportok és a csoportokon belüli talajtulajdonságok alapján összesen 280 talajmozaikból áll össze a rendszer.

Az NPK ellátottság megítélésére a talaj egyéb fizikai, kémiai és biológiai sajátosságai alapján hat blokkot alakítottak ki, és az egyes blokkon belül nitrogén esetében a humusztartalom alapján öt ellátottsági kategóriát alakítottak ki. Ebben a kategorizálásban egy mátrix-tábla használatával az összes 280 db mozaikot besorolták a hat blokk valamely ellátottsági kategóriájába. A szaktanácsadási rendszer erőssége a termőhelyi adottságok differenciáltabb figyelembevételére, ami a nitrogén-ellátottság pontosabb megítélését teszi lehetővé. A műtrágyaigény megállapításához a talajok túlzottan tűnő talajmozaikra történő besorolását és az ezt követő ellátottsági blokkba

sorolását, majd a növények korrigált fajlagos tápelem igényének figyelembevételét nem tartom problematikusnak, ma ez már az informatika világában egyszerű feladat.

3.4.3. Új környezet- és költségkímélő szaktanácsadási rendszer (Proplanta)

CSATHÓ et al. (1998a, 2002, 2003, 2003b), CSATHÓ és ÁRENDÁS (2003) a hazai publikált tartamkísérletek adatbázisán kapott összefüggésekre alapozva dolgozták ki az „új” szaktanácsadási rendszer alapjait. A harminc legfontosabb szántóföldi növény új trágyázási szaktanácsadási rendszerét az MTA-TAKI és az MTA-MgKI szakemberi dolgozták ki. Az új környezetkímélő és költségkímélő szaktanácsadási rendszer megőrzendő értéként továbbviszi a korábbi szaktanácsadási rendszerekből a mérlegelvet és a növénycsoportonkénti talaj PK-ellátottság alkalmazását (VÁRALLYAY, 1950), a periodikus PK-trágyázást (KRISZTIÁN et al., 1988), a műtrágyázási irányelvek (MÉM-NAK 1979), az integrált szaktanácsadási rendszer (MTA TAKI 1988), és a TAKI-MgKI (CSATHÓ et al. 1998a, 1998b) szaktanácsadási rendszerek tapasztalatait.

A módszer négy műtrágyázási szintre ad szaktanácsot: 1. minimális; 2. környezetkímélő; környezetileg érzékeny talajokra. 3. mérlegszemléletű; 4. integrált növénytáplálási szint, a többi talajra, melyeken nem áll fenn a környezet károsításának veszélye.

Az 1 ha-ra javasolt N-, P₂O₅- és K₂O műtrágya hatóanyag mennyiségeket (x):
 $x=(T*F_t*sz)\pm K$ képlettel számítják, ahol: T: tervezett termés, t/ha; F_t=tervezett termésszinthez tartozó fajlagos tápelem igény; sz: a talaj tápelem ellátottsági kategóriától függő szorzószám; K=korrekciós faktor.

A N-ellátottsági határérték kategorizálása a talajok humusztartalma alapján történik. A szaktanácsadási rendszer jellemzői: a „talaj trágyázása” (MÉM-NAK intenzív tápanyag-ellátási rendszere) helyett a növény adott évi tápelem igényének harmonikus biztosítása. A N-igény minél pontosabb kielégítése, a foszfor és kálium vonatkozásában a jó-igen jó ellátottság helyett a közepes ellátottság elérése, a vetésforgó PK trágyázása, lassú PK feltöltés. Jellemző továbbá: a kisebb talaj tápelem ellátottsági határértékek, növénycsoporttól függő talaj tápelem-ellátottsági határérték, kisebb fajlagos tápelem-tartalmak, a tervezett termésszinttől függő fajlagos tápelem-tartalmak, valamint a maximális termés helyett a gazdaságos termésszint (általában a maximális termés 90-95 %-a) elérése.

Az új szaktanácsadási rendszer tulajdonképpen az eddig felhalmozott tudományos ismeretek és gyakorlati tapasztalok szintézisének tekinthető. Alapját a korábbi évtizedek kutatási eredményei képezik. Ígéretesek az új szaktanácsadási rendszerrel kapott eddigi eredmények (IMPHOS kísérletek, precíziós növénytáplálásban kapott eredmények, NÉMETH, 1999; TAMÁS, 2001; PÁSZTOR et al., 2002, PECZE et al., 2001; MESTERHÁZI et al., 2004), ugyanakkor szükséges a rendszer minél többféle termőhelyen, hosszabb időtartamra történő kalibrációja. Figyelmet érdemel, hogy CSATHÓ (2003b) kukorica tartamkísérletben, a N-hatásokat vizsgálva, az eredmények értékelésekor arra hívja fel a figyelmet, hogy a humusztartalom mellett más nitrogén vizsgálati módszereket is alkalmazni kellene a nitrogén-ellátottság pontosabb megítélésére.

3.4.4. Az N_{min} módszer

Az ásványi N-formák vizsgálata WARD (1971); WEHRMANN és SCHARPF (1979) nevéhez fűződik. A talajok ásványi N-tartalmának figyelembevételét az indokolja, hogy a korábbi év, évek nitrogéntrágyázásának eredményeként, és a talajban lejátszódó transzformációs és transzport folyamatok eredőjeként, a talajszelvényben jelenlévő ásványi nitrogén jelentős szerepet játszik a növény N-igényének kielégítésében. Ezért célszerű mennyiségét meghatározni és figyelembe venni a kijuttatandó műtrágyaadagok megállapításánál. Alkalmazását indokoltá teheti, hogy intenzív gazdálkodás esetén, nagymértékben megnőhet a talajszelvény nitrát tartalma, így a humusztartalom sok esetben már csak kategorizálásra ad lehetőséget. A talajok ásványi nitrogén tartalmának mérésén alapuló nitrogéntrágyázási módszer az Egyesült Államokban, Kanadában és Nyugat-Európában a hatvanas-hetvenes évektől kezdődően terjedt el szélesebb körben a mezőgazdasági gyakorlatban (BUCHNER és STURM, 1985; CAMBELL et al., 1992; GEYPENS et al., 1994; WARD, 1971; WEHRMANN és SCHARPF, 1977,1980,1986,1989; MÜLLER, 1974; MÜLLER et. al, 1985; BOON, 1981; GUYOT, 1971; NEETESON et al., 1989; RIS et al., 1981).

Hazánkban az N_{min} módszer alkalmazásának lehetőségét többek között NÉMETH (1988,1990,1993,1994), NÉMETH és KÁDÁR (1988,1989), HOFFMANN et al., (1988), BALÁZS (1983,1991,1993), NÉMETH és BUZÁS (1991a,1991b) vizsgálta. Az N_{min} módszer alkalmazásánál fontos tényező a mintavétel időpontja és a mintázandó talajszelvény mélysége. A mintavétel időpontja lehetőleg minél közelebb

legyen a trágyázás időpontjához (WARD, 1971; WEHRMANN és SCHARPF, 1979; NÉMETH és BÚZÁS 1985). A gabona fejtrágya adagok az ősszel és tavasszal mért ásványi N-tartalom különbségéből számíthatók. A mintavétel mélysége változó, rendszerint a 0-100 cm-es talajszelvény ásványi nitrogén tartalmát határozzák meg, de gyakori a 0-60 cm és a 0-90 cm talajszelvény vizsgálata 30 cm-es felbontásban. Németország nyugati részén a talaj felső 90 cm-es talajszelvényt vizsgálják N_{\min} módszerrel (SAUERBECK és TIMERMANN, 1983; WEHRMANN és SCHARPF, 1977,1979; WEHRMANN, 1983). A módszer nem egységes abban a tekintetben, hogy a talajszelvényben csak a nitrát vagy a nitrát és az ammónium ionok együttes mennyiségét vegyék figyelembe a műtrágyaszükséglet meghatározásakor.

A nitrogén műtrágyaszükséglet $y=a-bx$ képlettel számolható ahol, y : a kiszórandó N mennyisége kg/ha, a = kísérletek, korábbi tapasztalatok alapján a termőhelyre jellemző, növénytől függő érték, b = az ásvány-N „érvényesüli koefficiense”, x : ásványi N-tartalom kg/ha az adott talajrétegben.

BUZÁS (1987) szerint a talaj N-szolgáltatása a nitrát nitrogén meghatározásával jellemezhető, mivel a talajban mérhető nitrát mennyiség a N-szolgáltatást pozitívan vagy negatívan befolyásoló összes talajtulajdonság, környezeti hatás és emberi beavatkozás (trágyázás, talajművelés stb.) eredményeként jött létre. A kicserélhető ammónium-nitrogén figyelembevételét nem javasolja, mivel mennyisége a tenyészidőben egyrészt nagymértékben változik, másrészt sok esetben a kicserélhető NH_4-N mennyisége a talajellátottsággal ellentétes tendenciát mutat. (BUZÁS, 1987, NÉMETH és BÚZÁS, 1985).

Amennyiben kísérletekkel megállapítjuk, hogy a különböző nitrát tartalom mellett mennyi N-műtrágyát kell kiadni adott termés eléréséhez, aránylag megbízható becslést lehet adni. Problémát jelent az évjárat hatása a nitrát tartalomra. Ez azt jelenti, hogy a nitrát tartalom minden évben megmutatja a talajok N-ellátottságában meglévő különbségeket, ugyanakkor a megelőző időszak időjárásától függően a nitrát nitrogén tartalom évenként különböző lehet. Szintén problematikus, hogy a nitrát nitrogén tartalom jelentősen ingadozhat a tenyészidő folyamán. Ezek a hibák kiküszöbölhetők, ha kísérleti hely, üzemi tábla nitrát tartalmát évről, évre adott időpontban meghatározzák, és ennek megfelelően korrigálják a kijuttatandó N-műtrágya mennyiségét. A módszer előnye, hogy a megfelelő időpontban meghatározott ásványi nitrogén tartalom és a vizsgált terület talajának tenyészidőszakban a növény számára szolgáltatott nitrogén mennyisége között jó az összefüggés, így jól becsülhető a

kiszórando N műtrágya mennyisége. Ugyanakkor a módszert mindig kalibrálni kell a helyi sajátságok figyelembevételével. Többszöri vizsgálat szükséges.

3.4.5. Az EUF-módszer

A talaj oldható tápanyagtartalmának frakcionálását teszi lehetővé a NÉMETH (1972) által kidolgozott EUF-módszer. A talaj nitrogén tartalmának vizsgálatakor több nitrogénfrakciót különítenek el (eltérő feszültségen és hőmérsékleten). Az első frakció nitrogéntartalma arányos a növény számára könnyen hozzáférhető nitrogén mennyiségével, míg a többi frakció együttesen a tenyészidőszak nitrogénszolgáltatását jellemzi. A mezőgazdasági művelésű talajok EUF frakciójában NÉMETH (1979) az ásványi nitrogén frakciók mellett a könnyen oldható szerves N mennyiségét is meghatározta.

WIKLICZKY és NÉMETH (1981) szerint 1mg/100g EUF szerves N a nyáron mintázott talajok 0-30 cm-es rétegében 50 kg/ha, míg a kedvezőbb tulajdonságú csernozjom talajokon 70-80 kg N/ha nitrogénszolgáltatást eredményez a következő évi cukorrépában. A jelenleg ismert nitrogén vizsgálati módszerek közül az EUF-módszerrel kapott első és második nitrogénfrakció összege adja a legszorosabb összefüggést a tenyészidőszak alatt a növény által felvehető nitrogénmennyiségekkel (BUZÁS, 1987). Ausztriában és Németországban ma is elterjedt az EUF-módszer a cukorrépa trágyázási szaktanácsadásában. Az EUF általánosan használt módszerré vált a Magyar Cukoriparban is, annak gyakorlati megszűnéséig. Az Eastern Sugar Rt. kabai cukorgyáranak több évtizedes üzemi tapasztalatai érdekes eredményeket hoztak. Kezdetben az EUF módszer hazai adaptálásakor jelentős, 160 kg/ha-t meghaladó nitrogénadagok kiadását javasolták a termőterület jelentős részén. Ezzel szemben a répa cukortartalma és cukor kihozatali eredményei alapján túlzottak voltak a javasolt nitrogén adagok. A folyamatos kalibráció eredményeként a legtöbb termőhelyen az EUF módszer a cukorrépánál már csupán 0-60 kg/ha N hatóanyag kijuttatását javasolta.

3.5. Műtrágyázási tartamkísérletek

A fenntartható, környezetkímélő, agronómiailag és ökonómiailag hatékony növénytermesztés alapját a biológiai, ökológiai és agrotechnikai tényezők összhangjának megteremtése jelenti (PEPÓ PÉTER, 2004). Megvalósításához nélkülözhetetlenek a műtrágyázási tartamkísérletek, melyek segítségével vizsgálhatók a vetésforgó, monokultúra, szerves- és műtrágyahatások, mikroelemek, meszezés talajművelés, vízháztartás, növényvédelem, új fajták tápanyag-reakcióinak a szerepe a növénytermesztésben különböző agroökológiai adottságok mellett.

Nemzetközi viszonylatban elsőként alakítottak ki műtrágyázási tartamkísérleteket Franciaországban (1834, BOUSSINGAULT, Elzász), Angliában (1843, GILBERT, Rothamsted), Németországban (1851, MÖCKERN), Egyesült Államokban (1862, SAMUEL W. JOHNSON, Connecticut), Oroszországban (MENGYELEJEV, PRAJNYISKOV). A hazai agrokémiai kutatások Nagyváthy, Pethe munkásságával kezdődtek, a részletesebb, elmélyültebb, tudományos igényű kimunkálás a későbbiek során Cserhádi, Manninger, Kemenessy és mások tevékenységéhez fűződik (PEPÓ, 2004). Hazánkban a harmincas évek elején indult az első nagyszabású, már talajvizsgálatokkal is összekapcsolt műtrágyázási kísérletezés. A kísérleteket évente más-más helyeken állították be egy-egy évre. Érdemi trágyahatásokat nem tudtak regisztrálni. A harmincas évek végétől Várallyay 125 kisparcellás, ismétléses, statisztikailag értékelhető, klasszikus tápanyaghiány-kísérleteket indított az ország különböző tájain, eltérő talajtípusokon. A különböző adagú és arányú NPK műtrágyák hatásának vizsgálatára 1966-ban kezdődtek meg az egységes Országos Műtrágyázási Tartamkísérletek (OMTK) 26 termőhelyen. A kísérletsorozat tudományos és gyakorlati igényeknek megfelelő kidolgozását Láng Géza vezetésével Bocz Ernő, Debreczeni Béla, Sarkadi János, Sváb János és Wellisch Péter végezték. Az 1966-ban indított kísérletsorozat mára kilenc termőhelyen maradt fenn (Bicsérd, Hajdúböszörmény, Iregszemcse, Karcag, Keszthely, Kompolt, Mosonmagyaróvár, Nagyhörcsök, Putnok).

A jelenlegi Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma, korábban DATE Látóképi Kísérleti Telepén Dr. Bocz Ernő és Dr. Ruzsányi László professzorok vezetésével folytak a debreceni növénytermesztési kutatások, melyek fókuszában tradicionálisan a szántóföldi növények tápanyag- és vízellátásával kapcsolatos kutatások álltak. Ezek a tartamkísérletek Dr. PEPÓ Péter professzor

irányítása mellett tovább folytatódtak. Az országban jelenleg is futó trágyázási tartamkísérleteket Kismányoky és Jolánkai foglalta össze részletesen (DEBRECZENI B. és NÉMETH T. , 2009).

3.5.1. Az Országos Műtrágyázási Tartamkísérletek eredményeinek áttekintése

Az 1-4. táblázatok első oszlopában foglaltam össze az OMTK kísérleti helyek fontosabb talajvizsgálatai adatait (humusz-%, AL-P, AL-K, pH, kötöttség, karbonátosság) és a kísérleti helyek MÉM-NAK szerinti ellátottsági szintjét. A táblázatok további oszlopaiban az őszi búza és kukorica B17, B18 és B19 kísérletek kontroll terméseinek és az optimális N:P adag terméseinek átlagai találhatóak, az 1971-1986 időszakra eső négy rotációban. Minden rotációban bemutatom az optimális N:P trágyázás hatására képződő többletermés mennyiségét, valamint a nitrogén és foszfortrágyázás hatását terméstöbbletben kifejezve. A termőhelyek kontroll talajainak vizsgálati eredményei, a kontroll parcellák termése, az optimális NP trágyaadag nagysága az egyes termőhelyeken és az alkalmazásuk mellett képződő termések és terméstöbbletek lehetőséget adnak a termőhelyi adottságok és a trágyázás kapcsolatrendszerének vizsgálatára.

Az OMTK kísérletek részletes leírását, az eredmények rendkívül sokrétű feldolgozásának eredményeit DEBRECZENI BÉLA és DEBRECZENI BÉLÁNÉ (1994), majd DEBRECZENI BÉLÁNÉ és NÉMETH TAMÁS (2009) szerkesztésében megjelent kiadványok foglalják össze. Az országos kísérletsorozat egyrészt lehetőséget ad a műtrágyázás, a vetésforgó, az évjárathatások, a termőhely szerepének vizsgálatára a kukorica és búza termesztésében. Másrészt rávilágít a növénytermesztési térben ható tényezők (makro- és mikroklimatikus tényezők, növény, talaj) között fennálló komplex kölcsönhatások jelentőségére.

3.5.1.1. Nagyhörcsök, Iregszemcse, Karcag, Hajdúböszörmény termőhelyek

A nagyhörcsöki és iregsemcsei termőhelyek talaja mészlepedékes csernozjom. A talajvizsgálatai eredmények alapján Nagyhörcsök talaja nitrogénben kissé jobban, foszforban kissé gyengébben ellátott, mint az iregsemcsei termőhely. A többi talajtulajdonság tekintetében igen nagy a hasonlóság. Az őszi búza kontroll termések átlaga Nagyhörcsökön 1,71 t/ha, Iregsemcseán 2,64 t/ha. Nagyhörcsökön az optimális

150 kg/ha N és 100 kg/ha P₂O₅ trágya adag mellett az őszi búza termése 4,99 t/ha, többletermése pedig 2,89 t/ha volt a négy rotáció átlagában. Iregszemcsén az optimális trágyaszükségelt nitrogénből jelentősen kisebb 50-100 kg/ha N, foszforból pedig

1. táblázat. Nagyhorcsók, Iregszemcse, Karcag, Hajdúböszörmény termőhelyeken az OMTK műtrágyázással összefüggő fontosabb eredményei. (Műtrágya adag: N1: 50 kg/ha N, P1:50 kg/ha P₂O₅)

Termőhely: Nagyhorcsók (I.kat.) mészlepedékes csernozjom		Őszi búza rotációk					Kukorica rotációk				
		I.	II.	III.	IV.	Átlag	I.	II.	III.	IV.	Átlag
Humusz: 2,7 % j, (k) AL-P ₂ O ₅ : 81 mg/kg gyenge AL-K ₂ O: 147 mg/kg igen gyenge pH(KCl)= 7,2 CaCO ₃ = 6,0 % K _A =38	Kontroll termés [t/ha]	2,73	2,14	1,85	1,71	1,71	4,79	5,89	5,36	4,88	5,37
	Optimális N:P adag	N3:P2	N3:P2	N3:P2	N3:P2		N2:P1	N2:P1	N2:P1	N2:P1	
	Termése [t/ha]	4,72	5,09	4,96	5,22	4,99	6,01	7,54	8,67	7,90	7,53
	Többletermés [t/ha]	1,99	2,95	3,11	3,51	2,89	1,22	1,65	3,31	3,02	2,3
	N-hatás [t/ha]	1,22	2,2	1,5	1,91	1,70	1,07	1,03	2,9	2,49	1,87
	P-hatás [t/ha]	0,77	0,73	2,06	1,60	1,29	0,15	0,62	0,41	0,53	0,42
Termőhely: Iregszemcse (I.kat.) mészlepedékes csernozjom		Őszi búza rotációk					Kukorica rotációk				
		I.	II.	III.	IV.	Átlag	I.	II.	III.	IV.	Átlag
Humusz: 2,4 % közepes AL-P ₂ O ₅ : 103 mg/kg közepes AL-K ₂ O: 150 mg/kg közepes pH(KCl)= 7,4 CaCO ₃ = 8,0 % K _A =37	Kontroll termés [t/ha]	2,71	2,39	2,59	2,88	2,64	6,04	7,05	6,93	8,88	7,22
	Optimális N:P adag	N1:P1	N1:P1	N2:P2	N2:P1		N1:P1	N2:P1	N1:P1	N2:P1	
	Termése [t/ha]	3,98	3,91	4,96	4,49	4,33	7,13	8,20	9,04	11,61	8,99
	Többletermés [t/ha]	1,27	1,52	2,37	1,61	1,69	1,09	1,15	2,11	2,73	1,77
	N-hatás [t/ha]	0,62	0,38	0,87	0,46	0,58	0,64	0,82	1,22	1,44	1,03
	P-hatás [t/ha]	0,65	1,14	1,5	1,15	1,11	0,45	0,33	0,89	1,29	0,74

2. táblázat. Karcag, Hajdúböszörmény termőhelyeken az OMTK műtrágyázással összefüggő fontosabb eredményei. (Műtrágya adag: N1: 50 kg/ha N, P1:50 kg/ha P₂O₅)

Termőhely: Karcag (II.kat.) réti csernozjom		Őszi búza rotációk					Kukorica rotációk				
		I.	II.	III.	IV.	Átlag	I.	II.	III.	IV.	Átlag
Humusz: 2,7 % közepes AL-P ₂ O ₅ : 34 mg/kg igen gyenge AL-K ₂ O: 270 mg/kg közepes pH(KCl)= 4,7 CaCO ₃ = - K _A =47	Kontroll termés [t/ha]	2,85	2,91	3,32	3,04	3,03	5,18	5,07	5,5	6,13	5,47
	Optimális N:P adag	N3:P2	N2:P1	N3:P1	N3:P2		N3:P1	N2:P0	N3:P1	N3:P0	
	Termése [t/ha]	4,42	5,22	5,35	5,16	5,03	7,11	6,82	7,79	8,1	7,45
	Többletermés [t/ha]	1,57	2,31	2,03	2,12	2,00	1,93	1,75	2,29	1,94	1,97
	N-hatás [t/ha]	1,07	1,42	1,47	1,42	1,34	1,82	1,75	2,21	1,94	1,93
	P-hatás [t/ha]	0,5	0,89	0,56	0,7	0,66	0,11	0	0,08	0	0,04
Termőhely: Hajdúböszörmény (III.kat.) , réti talaj		Őszi búza rotációk					Kukorica rotációk				
		I.	II.	III.	IV.	Átlag	I.	II.	III.	IV.	Átlag
Humusz: 3,5 % jó AL-P ₂ O ₅ : 37 mg/kg közepes AL-K ₂ O: 139 mg/kg igen gyenge pH(KCl)= 6,1 CaCO ₃ nyomokban K _A =54	Kontroll termés [t/ha]	2,51	1,80	2,67	3,07	2,51	5,15	6,78	5,64	6,28	5,96
	Optimális N:P adag	N3:P1	N3:P1	N3:P1	N3:P1		N1:P0	N2:P0	N1:P0	N2:P0	
	Termése [t/ha]	4,90	3,25	5,51	5,19	4,71	5,68	8,66	6,56	7,85	7,19
	Többletermés [t/ha]	2,39	1,45	2,84	2,12	2,2	0,53	1,88	0,92	1,57	1,22
	N-hatás [t/ha]	2,19	1,01	1,95	1,83	1,74	0,53	1,88	0,92	1,57	1,22
	P-hatás [t/ha]	0,2	0,44	0,89	0,29	0,45	0	0	0	0	0

hasznos a nagyhorcsöki termőhelyhez 50-100 kg/ha P_2O_5 . Az őszi búza termése 4,33 t/ha, többletermése 1,69 t/ha volt. A kontroll kezelések termésátlaga közötti különbség a termőhelyek eltérő foszfor ellátottságából adódik. Az iregszemcsei termőhely jobb foszfor ellátottsága a kisebb optimális foszfor műtrágya adagban és a kisebb P-hatásban is megmutatkozik. Az optimális trágyaszükséglet mellett képződő termések és terméstöbbletekben megjelenő különbségek, a termőhelyek eltérő klimatikus viszonyaival magyarázhatók. Az iregszemcsei termőhely kedvezőbb csapadékviszonyainak köszönhetően, a közepes humusztartalom mellett is jó volt a nitrogén mineralizációja.

A kukorica kísérletekben a kontroll termések átlaga Nagyhorcsökön 5,37 t/ha, Iregszemcsén 7,22 t/ha. Mindkét termőhelyen a 100 kg/ha N és az 50 kg/ha P_2O_5 trágya adag bizonyult a legtöbb esetben optimálisnak, ami mellett Nagyhorcsökön 7,53 t/ha termés és 2,3 t/ha terméstöbblet, míg Iregszemcsén 8,99 t/ha termés és 1,77 t/ha terméstöbblet képződött. A kukorica a talaj foszforkészletét jól hasznosította mindkét termőhelyen, így a talajok foszfor ellátottságának különbsége a kukorica optimális P trágya igényében nem mutatkozott meg. A két hasonló talajtulajdonságokkal rendelkező termőhelyen a vízigényes kukorica szempontjából meghatározó volt az iregszemcsei termőhely kedvezőbb csapadékviszonya, ami megmutatkozott, mind a kontroll, mind az optimális trágyázás jelentős terméstöbbletében.

A karcagi réti csernozjom talajon mind az őszi búza, mind a kukorica kísérletekben a legtöbbször a 150 kg/ha N kezelés bizonyult optimális adagnak. Az igen gyenge foszfor ellátottságú termőhelyen az őszi búza optimális foszfortrágya adagja 50 és 100 kg/ha P_2O_5 között változott, míg kukorica esetében meglepő módon egyáltalán nem volt szükség foszfortrágyázásra, vagy elegendő volt az 50 kg/ha P_2O_5 műtrágya. A négy rotáció átlagában az optimális N:P trágyázás hatására az őszi búza terméstöbblete a kontrollhoz (3,04 t/ha) képest 2,12 t/ha volt, melyből 1,42 t/ha a N-hatás és 0,7 t/ha a P-hatás. A kukorica terméstöbblete a kontrollhoz (6,13 t/ha) képest 1,94 t/ha, ami szinte teljes egészében a nitrogén trágyázás hatása.

A hajdúböszörményi réti talajon az őszi búza kontroll termésének átlaga 2,51 t/ha volt. Az optimális N:P adagok hatására 4,71 t/ha volt az őszi búza termése a négy rotáció átlagában. A termőhely nagy humusz tartalma ellenére az optimális N-adag aránylag nagy, 150 kg/ha volt, ami a termőhelyi viszonyokkal magyarázható. Az igen gyenge foszfor ellátottság ellenére, foszfor műtrágyából mindössze 50 kg/ha P_2O_5 kezelés jelentette az optimális adagot.

A kukorica kísérletek kontroll terméseinek átlaga 5,96 t/ha, míg az optimális N:P kezelésekben kapott terméseredmények átlaga 7,19 t/ha volt. Az optimális N adagnak az 50-100 kg/ha kezelés bizonyult, ami jelentősen kisebb, mint az őszi búza N-szükséglete. A hajdúböszörményi termőhely igen gyenge foszfor ellátottsága ellenére, mind a négy rotációban elegendő volt az önmagában adott N trágya.

3.5.1.2. Kompolt, Bicsérd, Putnok, Keszthely, Mosonmagyaróvár termőhelyek

Barna erdőtalajok találhatóak a kompolti, bicsérdi, putnoki és keszthelyi termőhelyeken. Mindegyik termőhelyen jelentős nitrogénhatások figyelhetők meg. Mind az őszi búza, mind a kukorica kísérletekben jellemzően a 100-150 kg/ha közötti N-kezelések bizonyultak az optimálisnak. A termőhelyek foszfor ellátottsága többnyire gyenge, ugyanakkor az optimális P-trágya adagja termőhelyenként változó. Kompolton és Keszthelyen az őszi búzában az 50 kg/ha P_2O_5 kezelés, a kukorica kísérletekben a 0-50 kg/ha P_2O_5 kezelés már optimálisnak bizonyult. Ezzel szemben a bicsérdi és putnoki termőhelyeken 100 kg/ha volt az őszi búza és 50 kg/ha a kukorica optimális P_2O_5 adagja. Az őszi búza kísérletekben Bicséreden (0,88 t/ha) és Putnokon (0,81 t/ha) a terméstöbbletben kifejezett foszfor trágyahatás közel háromszorosa a Kompolton (0,26 t/ha) és Keszthelyen (0,32 t/ha) kapott P-hatásoknak. A putnoki és bicsérdi termőhelyeken tapasztalt nagyobb optimális P-trágyaigény és a nagyobb P-hatások az ezeken a termőhelyeken megjelenő foszfor-adszorpció következménye.

A kompolti és bicsérdi termőhelyek őszi búza és kukorica terméseredményeit vizsgálva, hasonló megállapítások tehetők, mint a nagyhöröcsöki és irgeszemcsei termőhelyeken. A kompolti és bicsérdi termőhely talaja egyaránt csernozjom barna erdőtalaj. Optimális N:P adagok alkalmazásával Kompolton nagyobb őszi búza termést (5,33 t/ha), de lényegesen kevesebb kukorica termést (6,15 t/ha) értek el a négy rotáció átlagában, mint Bicséreden (Őszi búza: 4,49 t/ha; kukorica: 8,43 t/ha). Az eltérések a termőhelyek eltérő klimatikus viszonyaival indokolható. Bicsérd az OMTK termőhelyek közül a legcsapadékosabb kísérleti hely, ami kedvező a kukorica termesztése szempontjából. A csapadékosabb klíma ugyanakkor az őszi búzánál nagyadagú N-trágyázás mellett növeli a megdőlés és gombás fertőzések kialakulását.

3. táblázat. Kompolt, Bicsérd, Putnok termőhelyeken az OMTK műtrágyázással összefüggő fontosabb eredményei. (Műtrágya adag: N1: 50 kg/ha N, P1:50 kg/ha P₂O₅)

Termőhely: Kompolt (I.kat.) csernozjom barna erdőtalaj		Őszi búza rotációk					Kukorica rotációk				
		I.	II.	III.	IV.	Átlag	I.	II.	III.	IV.	Átlag
Humusz: 2,6 % j, (gy) AL-P ₂ O ₅ : 51 mg/kg gy, (gy) AL-K ₂ O: 213 mg/kg k, (j) pH(KCl)= 3,9 CaCO ₃ = - K _A =44	Kontroll termés [t/ha]	2,88	2,55	2,82	3,44	2,92	5,11	5,89	3,40	4,23	4,65
	Optimális N:P adag	N3:P1	N3:P1	N3:P1	N3:P1		N3:P0	N3:P0	N3:P1	N1:P0	
	Termése [t/ha]	5,02	5,02	5,22	5,98	5,31	6,06	7,68	5,73	5,13	6,15
	Többlettermés [t/ha]	2,14	2,47	2,40	2,54	2,39	0,95	1,79	2,33	0,9	1,49
	N-hatás [t/ha]	1,9	2,26	2,08	2,27	2,13	0,95	1,79	1,8	0,9	1,36
	P-hatás [t/ha]	0,24	0,21	0,32	0,27	0,26	0	0	0,53	0	0,13
Termőhely: Bicsérd (I.kat.) csernozjom barna erdőtalaj		Őszi búza rotációk					Kukorica rotációk				
		I.	II.	III.	IV.	Átlag	I.	II.	III.	IV.	Átlag
Humusz: 1,9 % gy, (gy) AL-P ₂ O ₅ : 35 mg/kg k, (k) AL-K ₂ O: 206 mg/kg k, (j) pH(KCl)= 5,6 CaCO ₃ = - K _A =45	Kontroll termés [t/ha]	2,49	2,37	2,05	2,25	2,29	6,38	4,96	4,25	7,03	5,65
	Optimális N:P adag	N2:P2	N2:P2	N2:P2	N2:P2		N2:P0	N3:P1	N3:P1	N3:P1	
	Termése [t/ha]	4,39	4,54	4,49	4,55	4,49	7,48	7,73	7,91	10,61	8,43
	Többlettermés [t/ha]	1,9	2,17	2,44	2,3	2,20	1,1	2,77	3,66	3,58	2,77
	N-hatás [t/ha]	1,26	1,23	1,51	1,27	1,32	1,1	2,54	3,27	3,31	2,55
	P-hatás [t/ha]	0,64	0,94	0,93	1,03	0,88	0	0,23	0,39	0,27	0,22
Termőhely: Putnok (I.kat.) agyagbemosódásos barna erdőtalaj		Őszi búza rotációk					Kukorica rotációk				
		I.	II.	III.	IV.	Átlag	I.	II.	III.	IV.	Átlag
Humusz: 2,0 % k, (gy) AL-P ₂ O ₅ : 30 mg/kg gy, (gy) AL-K ₂ O: 167 mg/kg k, (j) pH(KCl)= 3,9 CaCO ₃ = - K _A =41	Kontroll termés [t/ha]	2,72	2,74	2,05	2,48	2,50	3,84	5,06	3,32	4,01	4,06
	Optimális N:P adag	N2:P2	N2:P2	N3:P2	N3:P2		N1:P1	N2:P1	N2:P1	N3:P1	N3:P1
	Termése [t/ha]	4,49	4,68	4,78	4,93	4,72	5,25	6,05	5,76	6,54	5,90
	Többlettermés [t/ha]	1,77	1,94	2,73	2,45	2,22	1,41	0,99	2,44	2,53	1,84
	N-hatás [t/ha]	0,73	0,96	2,17	1,77	1,40	1,15	0,94	2,30	2,42	1,70
	P-hatás [t/ha]	1,04	0,98	0,56	0,68	0,81	0,26	0,05	0,14	0,11	0,14

Mosonmagyaróváron a kísérleti hely talaja humuszos öntéstalaj. A talajvizsgálati eredmények alapján a termőhely gyenge N-ellátottsága alátámasztja az optimálisnak kapott 100-150 kg/ha N trágya mennyiségét, ugyanakkor a kísérleti hely jó foszfor ellátottsága ellenére az optimális foszfor trágya adagja a legtöbbször 100 kg/ha P₂O₅-nak adódott. Az AL-oldható foszfortartalom alapján jó ellátottsági kategóriába sorolás valószínűleg nem tükrözi a valódi ellátottsági viszonyokat. Ennek az lehet az oka, hogy a termőhely talajában jelentős lehet a növények számára nehezen hozzáférhető Ca-foszfatok mennyisége, amelyek az AL kivonószorban jól oldódnak. A talajnak nagy a kalcium-karbonát tartalma. A kukorica kísérletekben mind az optimális N adag (50-150 kg/ha), mind az optimális foszfor adag (0-100 kg/ha P₂O₅) nagy szélsőértékek között változott. Az összes OMTK termőhely közül, itt fordult elő két esetben a vizsgált négy rotációban, hogy a kukorica optimális foszfor adagja elérte a 100 kg/ha P₂O₅-ot.

4. táblázat. **Kompolt, Bicsérd, Putnok termőhelyeken az OMTK műtrágyázással összefüggő fontosabb eredményei. (Műtrágya adag: N1: 50 kg/ha N, P1:50 kg/ha P₂O₅)**

Termőhely: Keszthely (II.kat.)		Őszi búza rotációk					Kukorica rotációk				
Raman féle barna erdőtalaj		I.	II.	III.	IV.	Átlag	I.	II.	III.	IV.	Átlag
Humusz: 1,7 % k, (gy) AL-P ₂ O ₅ : 45 mg/kg k, (gy) AL-K ₂ O: 139 mg/kg k, (k) pH(KCl)= 5,9 CaCO ₃ nyomokban K _A =37	Kontroll termés [t/ha]	3,94	2,84	2,74	1,84	2,84	5,21	5,89	5,48	5,43	5,50
	Optimális N:P adag	N3:P1	N3:P1	N3:P1	N3:P1		N3:P1	N3:P0	N3:P1	N3:P1	
	Termése [t/ha]	5,64	5,72	5,34	4,63	5,33	6,65	7,71	8,2	8,24	7,70
	Többlettermés [t/ha]	1,7	2,88	2,6	2,79	2,49	1,44	1,82	2,72	2,81	2,20
	N-hatás [t/ha]	1,14	2,59	2,36	2,6	2,17	1,1	1,82	2,25	2,52	1,92
	P-hatás [t/ha]	0,56	0,29	0,24	0,19	0,32	0,34	0	0,47	0,29	0,27
Termőhely: Mosonmagyaróvár (III.kat.) humuszos öntéstalaj		Őszi búza rotációk					Kukorica rotációk				
		I.	II.	III.	IV.	Átlag	I.	II.	III.	IV.	Átlag
Humusz: 1,7 % gy, (igy) AL-P ₂ O ₅ : 141 mg/kg j, (k) AL-K ₂ O: 107 mg/kg igy, (igy) pH(KCl)= 7,4 CaCO ₃ = 21 % K _A =54	Kontroll termés [t/ha]	3,53	3,48	2,27	3,54	3,20	5,92	6,1	6,41	5,87	6,07
	Optimális N:P adag	N3:P2	N2:P2	N3:P2	N2:P1		N1:P2	N3:P2	N2:P1	N3:P0	
	Termése [t/ha]	5,0	4,79	4,48	5,45	4,93	6,79	8,09	9,0	9,25	8,28
	Többlettermés [t/ha]	1,47	1,31	2,21	1,91	1,72	0,87	1,99	2,59	3,38	2,21
	N-hatás [t/ha]	0,65	0,37	1,75	1,18	0,99	0,3	1,49	2,46	3,38	1,90
	P-hatás [t/ha]	0,82	0,94	0,46	0,73	0,74	0,57	0,5	0,13	0	0,30

Ezen a termőhelyen a kontroll (6,07 t/ha) és az optimális kezelésekben (8,28 t/ha) kapott viszonylag nagy termésátlagok részben a talajvízből jelentős mértékű folyamatos vízutánpótlásnak is tulajdoníthatók.

3.5.1.3. Az Országos Műtrágyázási Tartamkísérletek eredményeinek összegzése

Már önmagában nehéz feladat az 1971-1986 időszakra eső kísérletekben alkalmazott műtrágyakezelések, az eltérő kezelésekben kapott terméseredmények, az elvégzett talajvizsgálati eredmények és az egyes termőhelyek talajtani és termőhelyi viszonyai között fennálló összefüggések felkutatása. Mégis az eredmények áttekintése után néhány fontosabb következtetés levonható. A termőhelyi kategóriák alapvető tájékozódási pontot adnak abban, hogy milyen kilátásokkal termeszhető egy kiválasztott növénykultúra. Azonos termőhelyi kategóriába eső, azonos talajtípusú kísérleti helyeken mégis jelentősen különböző terméseredmények voltak realizálhatók (Nagyhörcsök és Iregszemcse, Kompolt és Bicsérd). Az egyes termőhelyi kategóriákon belül a kívánt terméseredmények eléréshez szükséges műtrágyaszükségletet az eltérő szaktanácsadási rendszerek, különböző termőhelyi ellátottsági kategóriák segítségével állapítják meg a talajvizsgálatok eredményeire támaszkodva. Több kísérleti helyen megfigyelhető volt, hogy a hagyományos talajvizsgálatok (humusztartalom, AL-oldható

foszfor, AL-oldható kálium) eredményei és a terméseredmények alapján optimálisnak talált műtrágya adagok között nincs közvetlen összefüggés. A termőhely humusztartalma önmagában nem minden esetben jellemzi a termőhely N-ellátottságát, hiszen a klimatikus viszonyok is jelentős hatással vannak a szervesanyag mineralizációjára (Iregszemcse, Hajdúböszörmény), másrészt nem tudja figyelembe venni a műtrágyakezelések hatására a mélyebb rétegekben felhalmozódó, a növény számára hozzáférhető nitrát mennyiségét. Az AL kivonószert egyrészt a talajtulajdonságoktól függően olyan foszfor-frakciók kioldására is képes, amely a növények számára nehezen hozzáférhető (Mosonmagyaróvár), másrészt az AL-P tartalom nem nyújt információt a lekötődési viszonyokról (Bicsérd). A termőhely vízgazdálkodási tulajdonságai is közvetlenül hatnak az elérhető terméseredményekre (Mosonmagyaróvár). Összegzésként felmerül olyan új termőhely-specifikus tápanyag-gazdálkodás megvalósításának szükségessége, ami a termőhelyi kategorizáláson túlmenően, az ellátottsági kategóriák megállapításánál egyrészt új kiegészítő talajvizsgálati módszereket alkalmazna a növény számára hozzáférhető tápanyagok mennyiségének pontosabb megállapítására, másrészt figyelembe venné a termőhelyek klimatikus viszonyait is.

4. A VIZSGÁLATOK ANYAGA ÉS MÓDSZERE

4.1. A kísérlet területe, talajadottságai

Kutatómunkám során vizsgálataimat a Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma Debreceni Tangazdaság és Tájkutató Intézet Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telepén Dr. Ruzsányi László professzor úr által 1983-ban beállított többtényezős tartamkísérletben végeztem a 2004-es és 2005-ös évben. A kísérleti telep Debrecentől 15 km-re a 33-as számú út mellett helyezkedik el a Hajdúsági Lőszháton.

A kísérlet talaja löszön képződött, mély humuszrétegű 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 tartamkísérlet indításakor 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- P_2O_5 = 130-200 mg/kg, AL- K_2O = 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.

4.2. 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 kísérlet a vetésváltás szerint három fő blokkra osztható:

- kukorica monokultúra
- búza, kukorica bikultúra
- borsó, búza, kukorica trikulturna

Az egyes fő blokkon belül az öntözés sávos, a műtrágyakezelések pedig véletlen blokk elrendezésben lettek beállítva négy ismétlésben. A kísérletben alkalmazott parcellaméret 46 m².

A kísérletben három öntözési szint került kialakításra:

- öntöztelen parcellák
- féladagú öntözés
- teljes adagú öntözés

A teljes adagú öntözési szinten az egy öntözési járatban kijuttatott öntözővíz mennyisége 50 mm volt, ami az öntözési veszteség csökkentése érdekében két részletben lett kijuttatva. Az öntözés időpontját a kumulált vízhiány értékek és az extrém száraz hőség napok által előidézett akut vízhiány tünetek határozták meg. Az alkalmazott öntözési eljárás lineár típusú esőszerű öntözés. 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. Ugyanakkor az eredmények értékelése során a tartamkísérlet beállításának megfelelően 2005-ben is öntözöttként jelölöm az öntözésre beállított parcellákat.

A kísérletben alkalmazott műtrágyakezeléseket az 5. táblázatban foglaltam össze.

5. táblázat. **A tartamkísérletben alkalmazott műtrágyakezelések**

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

A tartamkísérlet kukorica szakaszaiban az alkalmazott öntözési szintek és műtrágyakezelések 40 ezer, 60 ezer és 80 ezer kukorica tőszám mellett egyaránt beállításra kerültek.

4.3. A tartamkísérletben alkalmazott agrotechnika

A kukorica monokultúrában közvetlenül betakarítást követően került sor a tarlóhántásra. A bi- és trikultúrában betakarítást követően a tarló gyomosodását figyelembe véve lett a tarlóművelés elvégezve. 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 tartamkísérletben használt fajta a Reseda (PR37M81) hibridkukorica. A vetési időpontja minden évben április 20.- a körül volt. A növényvédelmi kezelések a vetésváltásokban egységesek voltak. Ez alól kivétel a monokultúrában szükségszerűen alkalmazott talajfertőtlenítés volt. A később kelő gyomok irtása mechanikai sorközműveléssel történt. A parcellák betakarítása automata mérleggel felszerelt Sampo 2010 típusú parcella kombájnnal lett elvégezve.

4.4. A vizsgált időszak évjáratának 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 mennyisége együttesen hozzájárult a talajban tárolt vízkészlet gyarapodáshoz. 2004 májusában az átlagosnál alacsonyabb volt a 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. év őszen októberben és novemberben 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 termésmennyisége még az igen jónak mondható 2004-es év terméseredményeit is meghaladta.

4.5. Talaj és növény mintavétel

A beállított többletanyag tartamkísérletből a kutatómunka célkitűzéseinek megfelelően talaj és növényminták vételére egyaránt sor került. A talaj és növény minták vétele mindkét évben a kukorica monokultúra és a kukorica bikultúra kukorica szakaszának 60 ezres tőszámú parcelláiból történt (6. táblázat).

6. 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 talajminták a kísérlet parcelláiból pontminta vétellel lettek véve a 0-200 cm-es rétegből. A motoros talajfúró mintavevő csövéből 20 cm-enként kerültek elkülönítésre az egyes rétegek, így egy pontminta vételből tíz egy-egy 20 cm-es mélységi réteget reprezentáló minta keletkezett. Sem a parcella méret, sem a vizsgált mélység nem tette lehetővé, hogy egy parcellán belül több pontminta vételből képezzünk átlagmintát.

Mivel egy kezelés négy ismétlésben lett beállítva, ezért egy kezelést négy pontminta vételből származó talajminta vizsgálati eredményei jellemeznek, 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, csuhélevél, szem) és az egyes növényi részek kémiai összetétele külön került meghatározásra.

4.6. A talaj és növényminták előkészítése

A szántóföldről bekerülő talajminták 1-1,5 cm-es rétegben kiterítve, majd léghőmérsékleten kerültek szárításra. A megszáritott majd ledarált és 1 mm-es szitán átszitált talajminták képezték alapját a különböző vizsgálati módszereknek.

A kukorica növényminták először a kukorica növény fejlettségi fokának megfelelően részekre lettek bontva (levél, szár, csuhélevél, szem), amelyek léghőmérsékleten szárításra kerültek. Szárítást követően a növényi részeket ledarálták, majd az elemanalitikai vizsgálatok előtt fokozatosan súlyállandóságig szárították szárítószekrényben.

4.7. Alkalmazott laboratóriumi vizsgálati módszerek

A talajmintákból Houba et al. (1986) módszerével meghatározásra kerültek a 0,01 M CaCl_2 -oldható szerves és szervesetlen nitrogén frakciók, a kálium és a foszfor mennyisége. A talajextraktumok elkészítéséhez az analitikai mérlegen bemért 5,0000 g talajmintát $50,00 \text{ cm}^3$ 0,01 M CaCl_2 oldattal két órán keresztül ráztattuk, majd ezt követően a talajkivonatokat centrifugáltuk. A mintákból az összes-N (UV-roncsolt), a nitrát-N, az ammónium-N tartalmat SKALAR típusú folyamatosan áramló un. segmented continuous flow (SCF) rendszerrel mértük fotometriásan. A talajminta kivonatának szerves nitrogén tartalmát az összes nitrogén mennyiségének és a szervesetlen nitrát és ammónium nitrogén mennyiségének a különbsége adja.

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.

4.8. 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.

4.9. 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.

5. AZ EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

5.1. A terméseredmények értékelése

A tartamkísérlet 2004. és 2005. évének terméseredményeit és az 1994-2005 időszak termésátlagát az alábbi 7. táblázatban foglaltam össze.

7. 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 $N_{120}P_{90}K_{90}$ kezelésben állapítható meg. Öntözés mellett szintén az $N_{120}P_{90}K_{90}$ műtrágya növelte szignifikánsan a szemtermés mennyiségét, míg az $N_{240}P_{180}K_{180}$ kezeléseknél nem megbízható mértékű termésnövekedés figyelhető meg. Bikultúrában az öntözés hatására csak a kontrollban képződött szemtermés mennyisége nőtt igazolható mértékben, az öntözetlen kezelésekhöz viszonyítva. A 2005-ös évben a műtrágyakezelések és az egyes kezeléseknél képződött terméseredmények, terméstöbbletek tekintetében az előző évvel teljesen azonos megállapítások tehetők.

Az 1994-2005 időszak termésszintjei megerősítik a vizsgált két év eredményeit a műtrágyázás az öntözés és a vetésváltás vonatkozásában. A szemtermés mennyisége a kontrollhoz képest csak az $N_{120}P_{90}K_{90}$ kezelés hatására nőtt igazolható mértékben. A vetésváltás pozitív hatása elsősorban a bikultúra kontroll kezeléseiben érvényesült, ugyanakkor a nagyobb adagú műtrágyakezelésekben is megjelenik, bár jóval kisebb mértékben. Az öntözés termésnövelő hatása 11 év átlagában 11-17 % között változott, ugyanakkor a vizsgált agrotechnikai tényezők közül az öntözés hatását lehet legkevésbé elválasztani az aktuális évjárártól.

A terméseredményeket értékelve felvetődik a kérdés, hogy mi a magyarázata, annak hogy az $N_{120}P_{90}K_{90}$ műtrágya adagot meghaladó kezeléseknél már nincs igazolható termésnövekedés, sőt a bikultúra kukorica szakaszában termésnövekedés is megfigyelhető volt? Szintén kérdéses, hogy a vetésváltás ezen a termőhelyen miért képes ilyen nagymértékben megnövelni a kontrollon képződött szemtermés mennyiségét? A felmerülő kérdésekre pontos válasz a terméseredmények mellett a megfelelő módszerekkel elvégzett talajvizsgálatok eredményeinek felhasználásával adható. Hasonlóképpen a fenntartható és környezetkímélő gazdálkodás elengedhetetlen feltétele annak ismerete, hogy a trágyázás, vetésváltás, öntözés, mint kritikus agrotechnikai tényezők alkalmazása mellett, miként változik egy adott termőhely talajának tápanyag ellátottsága és tápanyag-szolgáltató képessége, és ezzel összefüggésben milyen termésszintek érhetők el. Ennek megfelelően dolgozatomban a termőhely talajának hagyományos AL-módszerrel és a hazai gyakorlatban újnál számító 0,01 M $CaCl_2$ -os módszerrel meghatározott oldható tápelem tartalmának vizsgálatán keresztül kívánom értelmezni a kritikus agrotechnikai tényezők hatását a termőhely tápanyag ellátottságára és tápanyag-szolgáltató képességére.

5.2. Az agrotechnikai tényezők hatása a nitrát-N mennyiségére

A talaj 0,01 M CaCl₂ oldható nitrát-N tartalma a talajoldatban megjelenő, a növény számára könnyen hozzáférhető nitrát-N mennyiségét jellemzi. A talajszelvény egyes rétegeinek nitrát tartalmára a termőhelyi adottságok mellett jelentős hatással bírnak az agrotechnikai tényezők is, mint a trágyázás, vetésváltás, öntözés, és a növényi tápelem felvétel.

5.2.1. A nitrát-nitrogén frakció mennyisége a 2004. évi tenyészidőszakban

A 2004-es évjárat a kukorica számára kedvezőnek bizonyult. A tenyészidőszakban (IV.-IX. hó) lehullott csapadék mennyisége alig maradt el a harmincéves átlagtól (342,4 mm). A kedvező téli és kora tavaszi időjárást követő szárazabb és az évszakhoz képest hidegebb május alig hátráltatta a kukorica kezdeti fejlődését, és ezt követően egészen a tenyészidőszak végéig szinte optimálisak voltak a klimatikus viszonyok a kukorica fejlődésének, növekedésének. Az 8. táblázatban a 2004. évi szemtermések mennyiségét, a szemtermés nitrogén tartalmát és a szemterméssel felvett nitrogén mennyiségét foglaltam össze a különböző kezeléskombinációk szerint. Az egyszerűsített és a potenciális agronómiai mérlegeredményeket az 9. táblázat tartalmazza. Az egyszerűsített agronómiai mérleg bevételi oldala a műtrágyával kijuttatott tápelemek mennyisége hektáronként, míg a kiadási oldala a szemterméssel lekerülő tápelemek mennyisége hektáronként. A potenciális mérleg bevételi oldalán a műtrágyával kijuttatott tápelemek mennyiségéhez hozzáadódik a talaj által potenciálisan szolgáltatott tápelemek mennyisége is, míg a kiadási oldala megegyezik az egyszerűsített agronómiai mérleg kiadási oldalával. A talaj potenciális tápanyag-szolgáltatása a kontroll kezelésekben képződő szemterméssel elvitt tápelemek mennyisége hektáronként. A különböző kezelés kombinációkban a termőhely talajának oldható nitrát nitrogén tartalmát a 10.-11. táblázatok és az 1.-2. ábrák segítségével mutatom be.

8. táblázat. A kukorica szemtermésének mennyisége, nitrogén tartalma és a szemterméssel felvett nitrogén mennyisége a 2004. évi tenyészidőszakban

Szemterméssel felvett nitrogén mennyisége a 2004 évben, öntözés nélkül						
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
Kukorica terméseredmények, 2004	7,14	12,73	13,39	9,7	12,8	13,4
Szemtermés N tartalma [%]	1,03	1,39	1,49	1,34	1,41	1,5
Szemterméssel felvett N [kg/ha]	73,7	177	199,4	129,2	179,2	201,1
Szemterméssel felvett nitrogén mennyisége a 2004 évben, öntözés mellett						
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
Kukorica terméseredmények, 2004	7,2	13,5	14,3	11,7	13,3	13,3
Szemtermés N tartalma [%]	1,08	1,24	1,35	1,31	1,34	1,51
Szemterméssel felvett N [kg/ha]	77,6	168,2	194,1	153,3	178,2	199,4

9. táblázat. Nitrogén mérlegek a 2004. 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, 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, 1994-2004	-1 835	-1 425	-238	-2 046	-1 379	-216
Potenciális mérleg, 1994-2004	-	410	1 597	-	667	1 830

5.2.1.1. A nitrát-nitrogén frakció mennyisége kukorica monokultúrában, a 2004. évi tenyészidőszakban

Öntözés nélkül a kontroll talaj 0-200 cm-es szelvényében a nitrát-nitrogén tartalom 37,0-62,7 kg/ha között változott a mintavétel időpontjaiban (10. táblázat). A június 29-én mért 62,7 kg/ha nitrát-nitrogén mennyisége július 22-ére a kukorica nitrogén felvétele miatt közel felére csökkent. A kukorica további intenzív növekedése ellenére a szelvény nitrát tartalma nem csökkent tovább a következő mintavétel idejére. Ez a termőhely nagyon jó nitrogénszolgáltató képességének tulajdonítható. Szeptembertől októberig az egyre mérséklődő nitrogén felvétel és az intenzívebbé váló őszi mineralizáció együttes hatásaként újra növekedett a talajszelvény nitrát-nitrogén tartalma. A kontroll parcella negatív egyszerűsített agronómiai mérlege mellett is a termőhely minden mintavételi időpontban számottevő mennyiségű nitrogént volt képes szolgáltatni a kedvező évjáratban. A kukorica a trágyázatlan kontroll jó nitrogénellátottságát 7,1 tonnás terméssel hálálta meg hektáronként. A nitrát mélységi eloszlását vizsgálva, az első mintavétel időpontban a nitrát a felső 0-20 cm-es rétegben

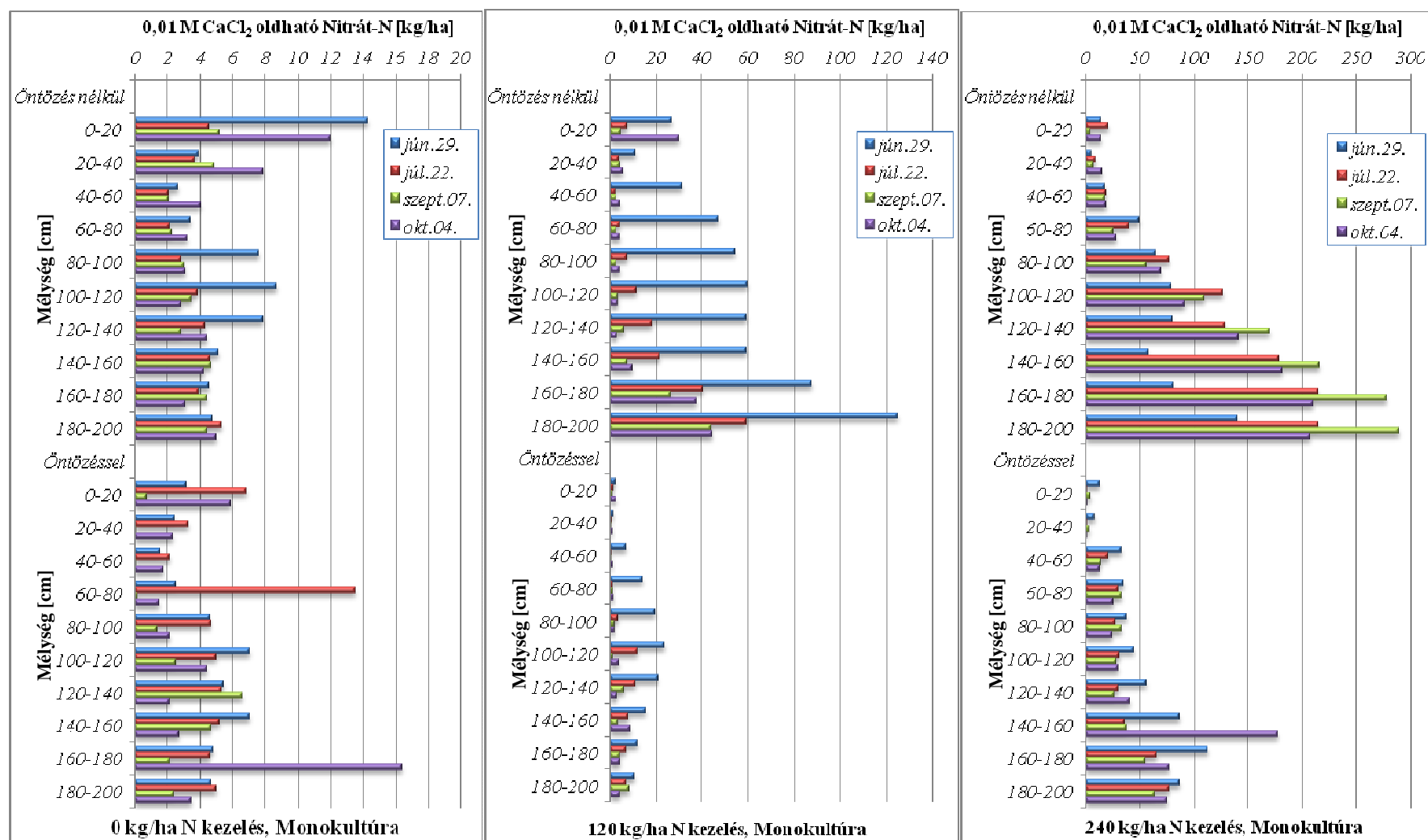
és a humuszos réteg alatt 80-140 cm-es rétegben van jelen nagyobb mennyiségben. Ezt követően a gyorsan növekedő kukorica nitrogén felvételéből adódóan a felső 0-20 cm és a 80-140 cm rétegek nitrát tartalmának csökkenése figyelhető meg a második mintavétel időpontjában. Októberre a kukorica tápelem felvételével már nem kell számolni, az őszi mineralizáció eredményeként a felső 0-40 cm rétegben újra növekedett a nitrát mennyisége.

10. táblázat. A 0-200 cm talajszelvény 0,01 M CaCl₂ oldható NO₃-N tartalma kukorica monokultúrában a 2004. év mintavétel időpontjaiban

NO ₃ -N tartalom [kg/ha]										
mintavételi időpontok: I: június 29. , II: július 22. , III: szeptember 07. , IV: október 04.										
N kezelés [kg/ha]	Öntözés nélkül					Öntözéssel				
	I.	II.	III.	IV.	Átlag	I.	II.	III.	IV.	Átlag
0	62,7 ^a	36,9 ^a	37,0 ^a	49,6 ^a	46,6^a	43,1 ^a	55,4 ^a	20,5 ^a	42,6 ^a	40,4^a
120	560,9 ^a	176,4 ^a	105,1 ^a	147,3 ^a	247,4^a	127,5 ^{a,b}	53,2 ^a	27,7 ^a	33,3 ^a	60,4^a
240	588,6 ^a	1027,9 ^b	1172,8 ^b	974,7 ^b	941,0^b	511,2 ^b	315,6 ^b	297,6 ^b	463,6 ^b	397,0^b
SZD 5%	595,1	752,7	774,9	734,2	310,0	404,6	247,4	265,9	409,2	142,1

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

Öntözött viszonyok mellett a kontroll talaj 0-200 cm-es szelvényében mért nitrát-nitrogén mennyisége 20,5–55,5 kg/ha között változott, ami szignifikánsan nem különbözik az öntözés nélküli kísérletben kapott eredményektől, pedig a parcella egyszerűsített agronómiai mérlege 11 év távlatában 300 kg/ha-ral negatívabb az öntözetlen kontrollhoz képest. A közel azonos nitrogén ellátottságnak megfelelően a terméseredményekben sem jelentkezett kimutatható különbség az eltérő öntözési szinteken. A mintavételi időpontok szerint értékelve az eredményeket megállapítható, hogy az első és a második mintavételi időpont között nem változott a 0-200 cm szelvény nitrát-nitrogén tartalma, ami arra utal, hogy az öntözés hatására átnedvesedő talajrétegben kedvezőbbek a feltételek a mineralizációnak. A harmadik mintavételre csökkenő nitrát mennyisége az őszi mineralizáció eredményeként ismét növekedett. A nitrát-nitrogén mélységi eloszlásában szignifikáns különbségek nincsenek, az egyes rétegekben a nitrát-nitrogén tartalom változása megegyezik az öntözetlen kontrollban tapasztaltakkal.



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

Öntözés nélkül a 120 kg/ha N trágyázás tartamhatásaként jelentősen megnőtt a 0-200 cm talajszelvény nitrát-nitrogén tartalma a kontrollhoz képest, mennyisége 105-561 kg/ha között változott. A javuló nitrogén ellátottságnak köszönhetően a kukorica szemtermése 5,6 tonnával növekedett a kontrollhoz képest hektáronként és a szemtermés mennyisége elérte 12,7 t/ha-t. A kontrollal összehasonlítva, nemcsak a szemtermés, hanem annak nitrogéntartalma is növekedett. A 11 éves egyszerűsített agronómiai mérleg nagy negatívumot mutat, ennek ellenére az első mintavételi időpontban 560,9 kg/ha a szelvényben a nitrát nitrogén mennyisége. Ha a nitrogén kezelés mellett a kontroll parcella talaja által szolgáltatott nitrogén mennyiségét is figyelembe vesszük, mint potenciális nitrogén bevitelt, akkor az így számított mérleg, mint potenciális nitrogén mérleg 650 kg/ha pozitívumot mutat, ami megmagyarázza az első mintavételi időpontban mért nagy nitrát tartalmat. A szeptember 7-i mintavételre a 0-200 cm szelvény nitrát tartalma elsősorban a kukorica nitrogénfelvételéből adódóan 105 kg/ha-ra csökkent. A csökkenés mértékéből ugyanakkor nyilvánvaló, hogy a nitrát egy része a mélyebb rétegekbe mosódott. Mindezt megerősíti az a tény, hogy a július hónapban lehulló csapadék hatására legnagyobb mértékben a 100-200 cm szelvényben csökkent a nitrát-nitrogén mennyisége. A vizsgált szelvényen belül a nitrát legnagyobb mennyiségben a 160-200 cm rétegben található minden mintavételi időpontban.

Öntözött viszonyok mellett az első mintavételi időpontban a 120 kg/ha N kezelés parcelláiban mért nitrát nitrogén mennyisége (127 kg/ha) kevesebb, mint negyede volt az öntözetlen kísérlet azonos kezeléséhez viszonyítva a 0-200 cm talajszelvényben, de jelentősen meghaladta a kontroll parcellákban mért nitrát tartalmakat. Elsősorban a nitrogén trágyázás eredményeként a kontrollhoz képest jelentős nőtt a szemtermés mennyisége és elérte a 13,5 tonnát hektáronként. A további három mintavételi időpontban sokkal kisebb - az öntözött kontrollhoz közeli - a vizsgált szelvény nitrát nitrogén tartalma (28-53 kg/ha). A 11 éves egyszerűsített agronómiai mérleg a nagyobb termések miatt negatívabb öntözés mellett. A kukorica által felvett nagyobb mennyiségű nitrogén is hozzájárulhatott a szelvény nitrát tartalmának csökkenéséhez. A 11 éves potenciális nitrogén mérleg 409,8 kg/ha pozitívumot mutat, de kisebb, mint öntözés nélkül. Monokultúrában a 2004-es évben öntözés mellett kisebb a termések nitrogén tartalma (6. táblázat), így végső soron a terméssel felvett nitrogén mennyiségében az adott évben nem volt különbség az öntözött és öntözetlen viszonyok között. A termés nitrogén tartalma azért lehetett nagyobb az öntözés nélküli kezelésben, mert a vizsgált talajszelvényben sokkal nagyobb volt a felvehető nitrát mennyisége. Az öntözött

parcellák évenkénti kisebb potenciális mérlege alapján, feltehetően a korábbi években is kisebb volt az öntözött parcellákban a termés nitrogén tartalma, ezért a 120 kg/ha N kezelésben nincs különbség a ténylegesen felvett nitrogén mennyiségében az eltérő öntözési szinteken. Mindezek miatt a 0-200 cm szelvény nitrát tartalmának csökkenése elsősorban az öntözés hatására mélyebb rétegekbe mosódó nitrátnak tulajdonítható. Ezt a feltételezést megerősíti, hogy öntözött viszonyok mellett nem figyelhető meg egyik rétegben sem a nitrát felhalmozódása.

Öntözés nélkül, a 240 kg/ha N trágyázás tartamhatásaként drasztikusan megnőtt a nitrát mennyisége a teljes 0-200 cm talajszelvényben. A június 29-ei mintavételi időpontban mért kisebb érték a parcellán belüli inhomogenitásból, a nitrát mobilitásából egyaránt adódhat. A júliustól októberig vizsgált időszakban végig 1 t/ha körül változott a 0-200 cm-es talajszelvény nitrát tartalma. A kezelés hatására ugyan tovább nőtt a szemtermés mennyisége elérve a 13,4 tonnát hektáronként és a szemtermés nitrogén tartalma is gyarapodott, de a kukorica nitrogénfelvételének hatása a szelvény nitrát nitrogén tartalmára a kialakult feltételek mellett jelentéktelen. Az egymást követő 11 év agronómiai nitrogén mérlege több mint 430 kg/ha pozitívumot mutat, ami önmagában nem magyarázza meg a nitrát felhalmozódás mértékét. A potenciális nitrogén mérleg ugyanakkor már közel 2 tonna nitrogén többletet mutat, ami egyrészt magyarázatot szolgáltat a vizsgált szelvény nagy nitrát tartalmára, másrészt arra utal, hogy a 200 cm mélység alatt is nagy mennyiségű nitrátnak kell lennie. A nitrát mélységi eloszlását tekintve a felső 0-60 cm-es rétegben felhalmozódás nem figyelhető meg. A 60 cm-es mélységtől kezdődően ugrásszerűen nő a nitrát mennyisége a 160 cm-es mélységig, majd a 160 - 200 cm-es szelvény nitrát tartalma közel azonos. A talajvizsgálatok egyértelműen igazolták, hogy a 240 kg/ha nitrogén adag alkalmazása alföldi mészlepedékes csernozjom talajon a környezetet veszélyeztető módon növeli meg a termőhely talajának nitrogén tartalmát.

Öntözés mellett négy mintavétel átlagában 544 kg/ha-ral kevesebb a nitrát mennyisége, mint öntözés nélkül a 240 kg/ha adagú nitrogénkezelésben, de még így is nagy a vizsgált szelvény nitrát tartalma (397 kg/ha). A szemtermés mennyisége elérte a 14,3 tonnát hektáronként, de a növekedés nem szignifikáns a 120 kg/ha N adag mellett képződött szemterméshez viszonyítva. A 11 éves egyszerűsített agronómiai mérleg az öntözés hatására képződő nagyobb termések miatt közel 600 kg/ha-ral negatívabb, mint az öntözetlen parcelláké. Az egyszerűsített agronómiai mérleg szerint még a mértnél is sokkal kevesebb nitrát lehetne csupán a szelvényben. A potenciális nitrogén mérleg

ugyan kisebb, mint öntözés nélkül, de még mindig több mint 1500 kg pozitívumot mutat, ami viszont a mértnél lényegesen nagyobb nitrát tartalmat feltételez. A kukorica szemtermésének mennyisége 2004-ben majdnem 1 tonnával nőtt hektáronként az öntözetlen viszonyokhoz képest, ugyanakkor a szemtermés nitrogén tartalma csökkent, így a szemterméssel felvett nitrogén mennyiségében a vizsgált évben nincs kimutatható különbség az eltérő öntözési viszonyok között. A tartamkísérlet teljes időszakát tekintve az öntözött parcellák nagyobb termése mellett, elsődlegesen a nitrát lemosódása miatt kisebb a szelvény nitrát tartalma. A nitrát mélységi eloszlását vizsgálva megállapítható, hogy a 60 cm-es mélységtől kezdődően ugrásszerűen nő a nitrát mennyisége egészen a vizsgált 200 cm-es mélységig. A töretlen növekedés a korábbi feltételezést megerősíti, a nitrát felhalmozódásának csúcsa 200 cm alá tehető, a mélyebb rétegekben is nagy mennyiségű nitrát található. A szelvény nitrát tartalmának változásához a mélyebb rétegekből a talajnedvességgel kapillárisan felemelkedő nitrát is hozzájárulhat.

5.2.1.2. A nitrát-nitrogén frakció mennyisége búza, kukorica bikultúrában a 2004. évi tenyészidőszakban

Öntözés nélkül a bikultúra öntözetlen kontroll talajának nitrát tartalma 21,1-100,5 kg/ha között változott a 0-200 cm szelvényben. A vizsgált szelvény nitrát tartalma június 29-én volt a legnagyobb, ami a július 22-i mintavételre, a kukorica tápelem felvétele miatt közel harmadára csökkent. A júliustól októberig terjedő időszakban már nem változott számottevően a 0-200 cm szelvényben a nitrát mennyisége. A 0-200 cm szelvényben a nitrát a felső 0-20 cm rétegben és a humuszos réteg alatt 80-140 cm rétegben található nagyobb mennyiségben az első mintavétel időpontjában. A második mintavételkor hasonló, de sokkal laposabb lefutású a nitrát profil, majd az ezt követő időpontokban már nincs értékelhető különbség a rétegek nitrát tartalmában. A 11 éves egyszerűsített agronómiai mérleg bikultúrában sokkal negatívabb, mint monokultúrában, mégis négy mintavétel átlagában nem volt számottevő különbség a bikultúra és a monokultúra vizsgált szelvényének nitrát tartalmában. A termőhely az egész tenyészidőszakban képes volt a kontrollban képződött nagy 9,67 t/ha termés kialakulásához szükséges nitrogén szolgáltatására. Az első mintavételi időpontban június 29-én ugyanakkor még sokkal nagyobb volt a bikultúra kontroll talajának nitrát tartalma, mint monokultúrában. Ez magyarázatul szolgál arra, hogy miért képződött a

bikultúra kontroll kezelésében lényegesen nagyobb termés, mint monokultúrában. Másrészt a bikultúra termésének nitrogén tartalma is nagyobb volt, közel 30 %-al meghaladta a monokultúrában képződött termés nitrogén tartalmát. Ezek az eredmények azt igazolják, hogy a kukorica legintenzívebb növekedési szakaszában a bikultúra kontroll talajának jobb a nitrogén ellátottsága, mint monokultúrában, ami egyértelműen a vetésváltásnak tulajdonítható. A búza betakarítását követően már nem volt további tápelem felvétel, így az őszi mineralizáció, az időben elvégzett talajmunkák jótékony hatással voltak a talaj termékenységére. Mindezeknek köszönhetően már a tenyészidőszak kezdetén nagyobb a felvehető nitrát mennyisége a bikultúra vizsgált szelvényében.

11. táblázat. A 0-200 cm talajszelvény 0,01 M CaCl₂ oldható NO₃-N tartalma kukorica bikultúrában a 2004. év mintavétel időpontjaiban

NO ₃ -N tartalom [kg/ha]										
mintavételi időpontok: I: június 29. , II: július 22. , III: szeptember 07. , IV: október 04.										
N kezelés [kg/ha]	Öntözés nélkül					Öntözéssel				
	I.	II.	III.	IV.	Átlag	I.	II.	III.	IV.	Átlag
0	100,5 ^a	32,0 ^a	21,9 ^a	21,2 ^a	43,9^a	132,1 ^a	81,8 ^a	44,5 ^a	48,0 ^a	76,6^a
120	546,7 ^a	532,2 ^{a,b}	247,6 ^a	294,5 ^a	405,2^b	218,1 ^a	128,0 ^a	148,5 ^a	57,2 ^a	137,9^a
240	2065,4 ^b	1263,7 ^b	1256,2 ^b	1719,3 ^b	1576,2^c	688,6 ^b	485,7 ^b	273,3 ^a	349,5 ^b	449,3^b
SZD 5%	555,2	783,7	654,9	500,3	296,1	390,5	285,6	295,4	238,7	142,5

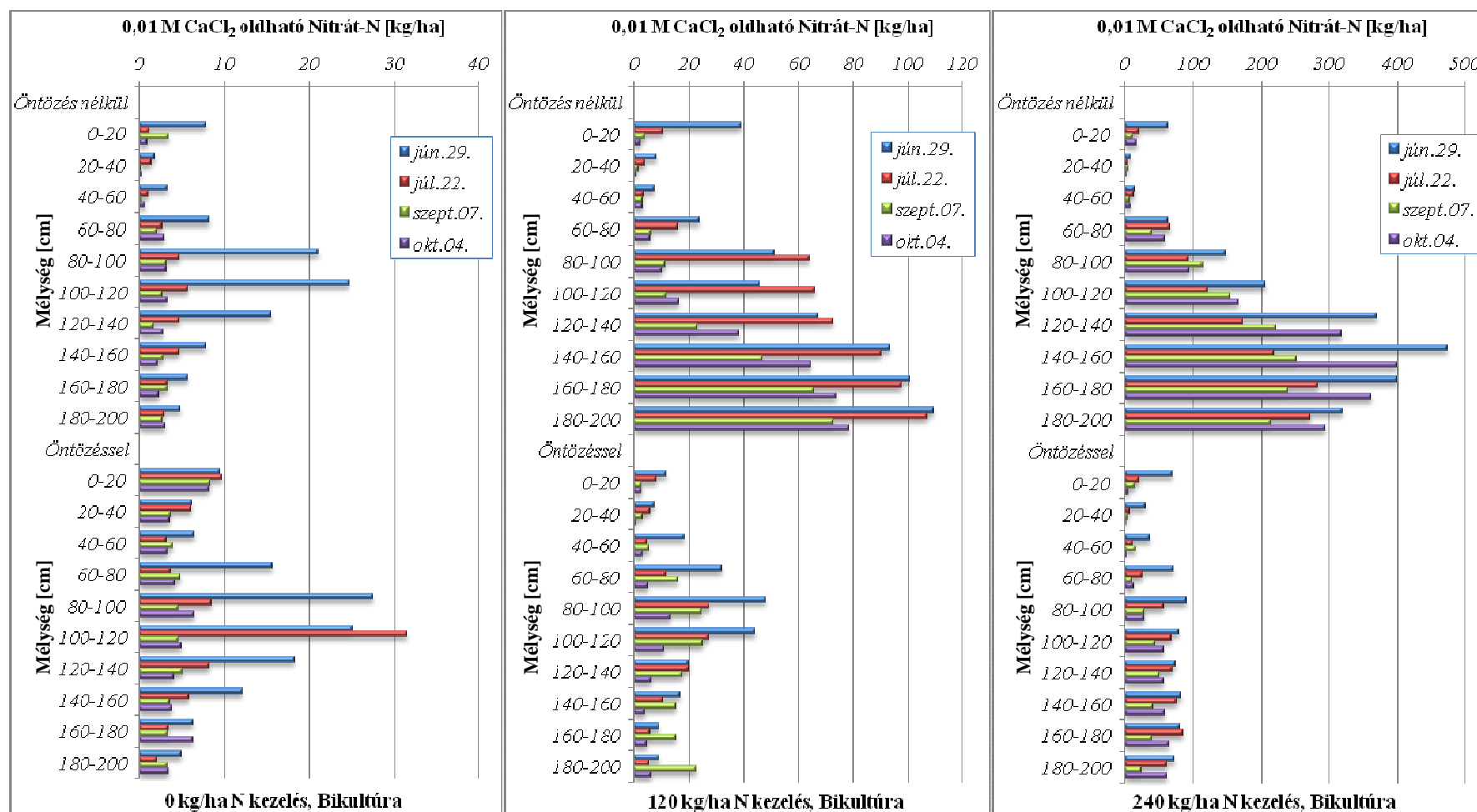
Az azonos betűvel jelzett átlagok p=5%-os szignifikancia szinten nem különböznek egymástól.

Öntözés mellett a bikultúra kontroll kezelésében 44,49 - 132,1 kg/ha között változott a 0-200 cm réteg nitrát tartalma. Június 29-én volt legnagyobb a vizsgált szelvény nitrát tartalma, ami a kukorica nitrogén felvételével szeptember 7-ig terjedő időszakig fokozatosan csökkent, majd ezt követően már nem változott kimutatható mértékben. A bikultúra öntözött parcelláinak 11 éves egyszerűsített agronómiai mérlege több mint 300 kg/ha-val negatívabb, mint az öntözetlen parcelláké. 2004-ben a nagyobb termések nitrogén tartalma sem csökkent az öntözés hatására, így ebben az évben öntözött viszonyok mellett a kukorica több nitrogént vett fel a termőhely talajából, mégis minden mintavételi időpontban a bikultúra öntözött kontroll talajában volt legnagyobb a vizsgált szelvény nitrát tartalma a kontrollkezelések közül. Feltehetően, az öntözés hatására átmedvesedő talajszelvényben kedvezőbb feltételek mellett mehetett végbe a szerves nitrogénformák mineralizációja, ami a vetésváltással együtt jelentősen javította a termőhely talajának nitrogén ellátottságát és nitrogén szolgáltató képességét. A jobb nitrogén ellátottság hatására 11,7 t/ha-ra nőtt a kukorica szemtermése. A 2004-es kedvező évjáratban az öntözés elsősorban közvetve, a nitrogén ellátottság javításán

keresztül fejtette ki termésmnövelő hatását. A 0-200 cm szelvényen belül a nitrát mélységi eloszlása megegyezik a kontrollkezelésekben eddig tapasztaltakkal.

Öntözés nélkül a 120 kg/ha N trágyázás tartamhatásaként minden mintavételi időpontban nagy mennyiségű nitrát nitrogén található a 0-200 cm talajszelvényben (247,6-546,6 kg/ha). A kontrollhoz képest növekvő nitrogén ellátottságnak megfelelően 12,7 t/ha-ra nőtt a szemtermés mennyisége. A vizsgált szelvényben a nitrát mennyisége csupán a harmadik mintavétel idejére csökkent. A 11 éves egyszerűsített agronómiai mérleg és a potenciális nitrogén mérleg nem különbözik jelentékenyen a vetésváltásokban, mégis a bikultúra vizsgált szelvényében sokkal több a nitrát mennyisége, mint a monokultúra azonos kezelésében. A különbség oka a vetésváltás. A bikultúra őszi búza szakaszában elsősorban a felső rétegek nitrogén tartalma hasznosul, továbbá az őszi búza eleve kevesebb nitrogént vesz fel a talajból, mint a kukorica, ezért a mineralizáció során képződő nitrát és a műtrágya nem hasznosuló nitrogénjének egy része a 100 cm réteg alatt felhalmozódhat. A feltételezést a vizsgálati eredmények alátámasztják. A felső 0-100 cm nitrát tartalmában nincs számottevő különbség az öntözetlen mono- és bikultúra között, míg a 100-200 cm réteg nitrát tartalma a bikultúrában sokkal nagyobb az egész tenyészidőszakban. A tenyészidőszakban ugyan végig sokkal nagyobb a felvehető nitrát mennyisége bikultúrában, mint a monokultúra azonos kezelésében, de az eltérő vetésváltásokban képződött szemtermés mennyiségében nincs kimutatható különbség. A nitrát mélységi eloszlására jellemző, hogy a 0-60 cm mélységig nitrát csak a 0-20 cm rétegben található nagyobb mennyiségben. A mélyebb rétegekben 60 cm-től kezdődően egészen a vizsgált 200 cm-es mélységig növekszik a talaj nitrát tartalma. A tenyészidőszakban előrehaladva minden rétegben csökken a nitrát mennyisége, de a 140-200 cm-es rétegben, még a tenyészidőszak végén is nagy mennyiségű nitrát található.

Öntözés hatására a bikultúra 120 kg/ha N kezelésében a 0-200 cm réteg nitrát tartalma nagymértékben csökkent az öntözetlen parcellák azonos nitrogén kezeléséhez viszonyítva (57-218 kg/ha). A vizsgált szelvényben a nitrát mennyisége az első mintavételi időpontban volt a legnagyobb, ami a tenyészidőszak végére az öntözött kontroll szintjére csökkent. Az öntözetlen bikultúra azonos kezeléséhez viszonyítva a 11 éves egyszerűsített agronómiai mérleg sokkal negatívabb, ami alapján a vizsgált szelvénynek a tenyészidőszak egészére vonatkozóan a mértnél kisebb mennyiségű nitrátot kellene tartalmaznia.



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

Bikultúrában is az öntözés nélkül képződött termés nitrogén tartalma volt a nagyobb, ennek megfelelően a felvett nitrogén mennyiségében nincs különbség az eltérő öntözési szinteken, ezért valójában az egyszerűsített agronómiai mérlegben nincs különbség. Az öntözött kontroll nitrogén szolgáltatását figyelembe véve a potenciális nitrogén mérleg viszont alig kisebb az öntözött bikultúrában, mint öntözés nélkül. Ez alapján az öntözött és az öntözetlen szelvények nitrát tartalma között nem várható számottevő különbség, mégis a vizsgált évben öntözés mellett mintegy 270 kg/ha-al kisebb az öntözött bikultúra vizsgált szelvényének nitrát tartalma a lemosódásnak tulajdoníthatóan. Az öntözött monokultúrával összehasonlítva, bikultúrában a vetésváltásból adódóan nagyobb a vizsgált szelvény nitrát tartalma, ugyanakkor a szemtermés mennyiségében nincs kimutatható különbség a vetésforgók között. Kedvező évjáratban 120 kg/ha nitrogén adag alkalmazása mellett, már nincs igazolható hatása a vetésváltásnak a szemtermés mennyiségére. Az öntözetlen bikultúrával ellentétben a 0-200 cm szelvényben nitrát felhalmozódás egyik mintavételi időpontban sem figyelhető meg, ami szintén megerősíti a nitrát lemosódását a mélyebb rétegekbe.

Öntözés nélkül a legnagyobb adagú 240 kg/ha N trágyázás hatására a bikultúra vizsgált 0-200 cm talajszelvényében drasztikus mértékű nitrát felhalmozódás figyelhető meg. Négy mintavétel átlagában 1,5 t/ha a vizsgált szelvényben a nitrát mennyisége, amit a 11 éves egyszerűsített agronómiai mérleg mindössze 283 kg/ha nitrogén többlete nem támaszt alá. A kontroll nitrogén szolgáltatását figyelembe vevő 11 éves potenciális nitrogén mérleg szerint már majdnem 2 t/ha a pozitívum, ami egyrészt megmagyarázza nitrát felhalmozódását a vizsgált rétegben, másrészt rámutat arra, hogy a 200 cm alatti rétegek is nagy mennyiségű nitrátot tartalmaznak. Az öntözetlen monokultúra azonos nitrogén kezelésével összevetve, bikultúrában a 0-200 cm szelvény nitrát nitrogén tartalma 635 kg/ha-val nagyobb, holott sem a termés mennyiségében, sem annak nitrogén tartalmában (6. táblázat) nincs szignifikáns különbség a vetésforgók között. Az eltérés oka, hogy a bikultúra őszi búza szakaszában nagyobb a nem hasznosuló nitrogén mennyisége, ami tovább növeli a szelvény nitrát tartalmát, legnagyobb mértékben a 100 cm alatti rétegekben. Minden mintavételi időpontban sokszorososan meghaladja a szelvény nitrát tartalma a kukorica nitrogén igényét, ezért a tenyészidőszakban a nitrát tartalomban bekövetkező változások elsődleges oka a nitrát szelvényen belüli vertikális elmozdulása. A nitrát felhalmozódása a 80 cm-es rétegtől kezdődik és 100 cm alatt minden vizsgált rétegben több száz kilogramm a nitrát nitrogén mennyisége, ami komoly környezeti kockázatot jelent.

Az öntözött bikultúrában 240 kg/ha N kezelésében több mint 1 tonnával kisebb a 0-200 cm szelvény nitrát tartalma, mint öntözés nélkül. A nitrát mennyisége ugyanakkor még mindig jelentős, 273-688 kg/ha között változott a mintavételi időpontokban, a kukorica szemtermése mégsem gyarapodott a bikultúra 120 kg/ha N kezeléséhez viszonyítva. Az eltérő öntözési szintek mellett képződött szemtermések mennyiségében és nitrogén tartalmában (6. táblázat) a vizsgált évben nem volt különbség. Az egyszerűsített 11 éves agronómiai mérleg ugyan öntözött körülmények között negatívabb, de a 11 éves potenciális nitrogén mérlegek között nincs jelentékeny különbség (7. táblázat). A nitrát mélységi eloszlását összehasonlítva a két öntözési szinten megállapítható, hogy az öntözött bikultúra szelvényében a nitrát tartalom csökkenése a 80-200 cm rétegben következett be. A mérleg eredményeket és a nitrát mélységi eloszlását figyelembe véve a csökkenés elsődleges oka az öntözés hatására 200 cm mélység alá mosódó nagy mennyiségű nitrát.

5.2.2. A nitrát-nitrogén frakció mennyisége a 2005. évi tenyészidőszakban

A 2005-ös tenyészidőszakban a csapadékviszonyok a kukorica számára még a 2004-es évjáratnál is kedvezőbbben alakultak. A tenyészidőszakban (IV.-IX. hónap) 502,1 mm csapadék hullott, ami 157,0 mm-el meghaladja a harmincéves átlagot. Emiatt a 2005-ös évjáratban nem volt öntözés. Ettől függetlenül az eredmények értékelése során továbbra is külön értékelem a tartamkísérlet beállításának megfelelően az öntözött és öntözetlen parcellák eredményeit. A 2005. évben nem volt lehetőség a kukorica szemtermésének elemösszetételét meghatározni, ezért ezek az adatok nem állnak rendelkezésre, de a könnyebb áttekinthetőség érdekében újfent összefoglalom az eltérő kezeléseknél képződött szemtermések mennyiségét és a nitrogén mérlegeket (12. és 13. táblázatok). A különböző kezelés kombinációkban a termőhely talajának oldható nitrát tartalmát a 14.- 15. táblázatok és 3.-4. ábrák segítségével mutatom be. A 2005-ös tenyészidőszakban június 2.-án, június 30.-án, augusztus 3.-án és október 6.-án történt a mintavétel. A dolgozat további részében a két vizsgált év összehasonlításakor többször hivatkozok arra, hogy a két közel azonos mintavételi időpontokban mért oldható tápelem tartalmakat hasonlítom össze, ami a június 30.-ai és az október 6.-ai időpontokat jelenti. A rendkívül csapadékos év nem tette lehetővé, hogy több mintavételi időpont is egyezzen az előző évvel. A talajszelvényben ugyanakkor olyan gyorsan változhat például a nitrát mennyisége a tenyészidőszakban, hogy ha nem közel azonos mintavételi

időpontban kapott eredményeket hasonlítottunk össze, akkor téves következtetések vonhatók le.

12. táblázat. A kukorica szemtermésének mennyisége a 2005-ös tenyészidőszakban

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
Öntözés nélkül [t/ha]	8,4	12,28	13,68	11	12,97	12,51
Öntözéssel [t/ha]	7,61	11,66	13,2	11,11	12,75	12,11

13. táblázat. Nitrogén mérlegek a 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
Egyszerűsített agronómiai mérleg, 1994-2004	-1 539	-888	434	-1 704	-992	283
Potenciális mérleg, 1994-2004	-	651	1 973	-	712	1 988
Egyszerűsített agronómiai mérleg, 2005	-210	-187	-102	-275	-204	-73
Potenciális mérleg, 2005	-	23	108	-	71	202
Nitrogén mérlegek, öntözés mellett						
Vetésváltás módja	Monokultúra			Bikultúra		
	N kezelés [kg/ha]	0	120	240	0	120
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
Egyszerűsített agronómiai mérleg, 2005	-190	-172	-90	-278	-199	-63
Potenciális mérleg, 2005	-	19	100	-	79	215

5.2.2.1. A nitrát-nitrogén frakció mennyisége kukorica monokultúrában, a 2005. évi tenyészidőszakban

Az öntözetlen kontroll parcellák 0-200 cm talajszelvényében a nitrát tartalom 90,3-117,7 kg/ha változott. A tenyészidőszakban még a kukorica intenzív nitrogén felvételének időszakában sem csökkent a talajszelvény nitrát tartalma, holott a kontroll parcellákban is nyolc tonnát meghaladó termés képződött. A nagy negatívumot mutató 11 éves egyszerűsített agronómiai mérleg mellett nemhogy csökkent volna, hanem több mint kétszeresére nőtt a vizsgált szelvényben a nitrát nitrogén mennyisége az előző év két közel azonos mintavételi időpontjához viszonyítva. A 2005-ös csapadékos, meleg évjárat az átlagosnál sokkal kedvezőbb feltételeket biztosított a mineralizációnak. A különösen kedvező évjáratban megnövekedett nitrogén szolgáltatás eredményeként a korábbi évekhez képest kiugró mennyiségű termés képződött az öntözetlen monokultúrában. A nitrát mélységi eloszlása az előző évben tapasztaltakhoz hasonló. Minden mintavételi időpontban, nagyobb mennyiségben a felső 0-20 cm-es és a humuszos réteg alatt 100-120 cm-es mélységben található.

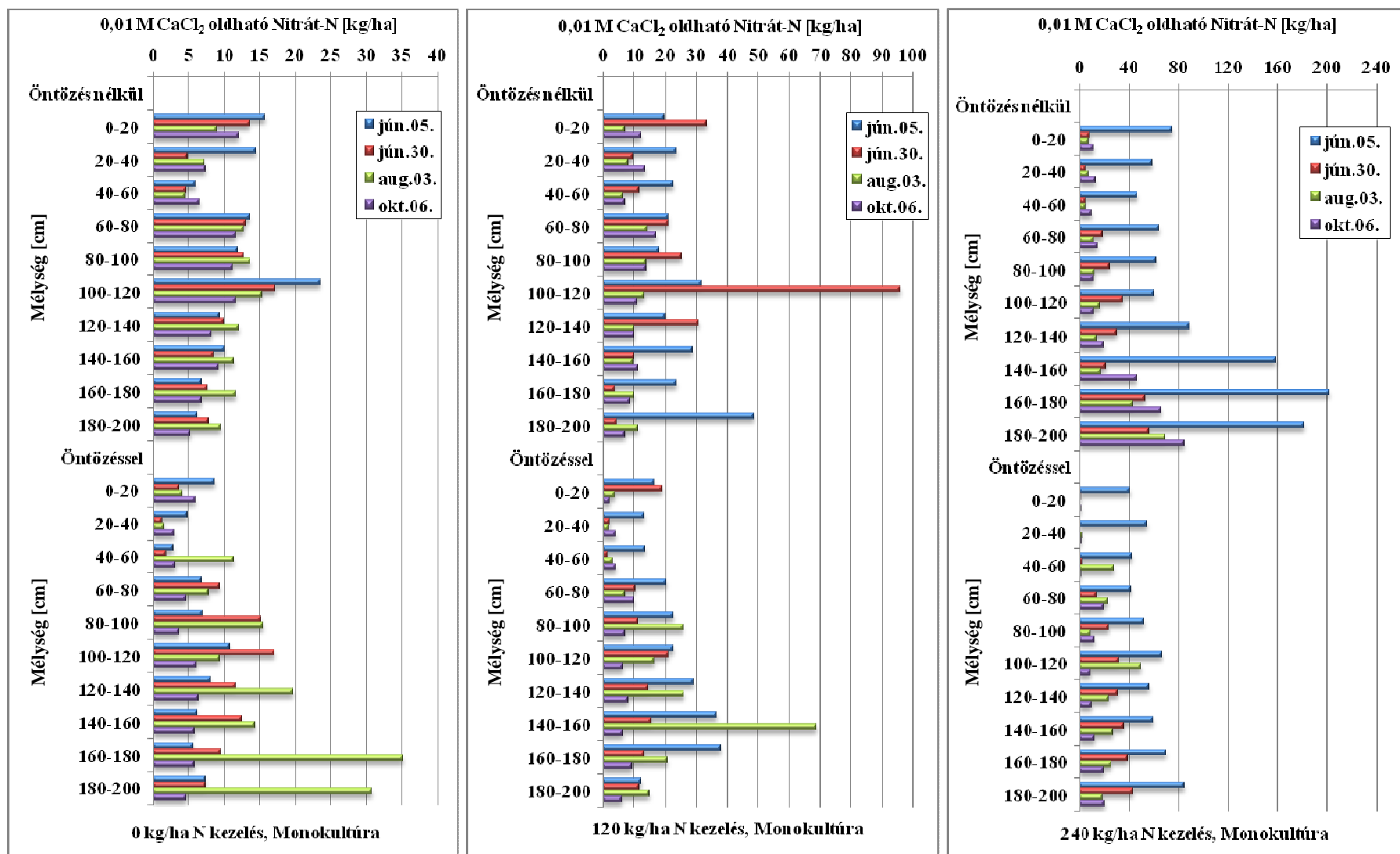
14. táblázat. A 0-200 cm talajszelvény 0,01 M CaCl₂ oldható NO₃-N tartalma kukorica monokultúrában a 2005. év mintavétel időpontjaiban

NO ₃ -N tartalom [kg/ha]										
mintavételi időpontok: I: június 5. , II: június 30. , III: augusztus 03. , IV: október 06.										
N kezelés [kg/ha]	Öntözés nélkül					Öntözéssel				
	I.	II.	III.	IV.	Átlag	I.	II.	III.	IV.	Átlag
0	117,7 ^a	100,3 ^a	107,6 ^a	90,3 ^a	104,0^a	74,2 ^a	92,8 ^a	186,4 ^a	45,5 ^a	99,7^a
120	257,9 ^a	245,4 ^a	103,6 ^a	111,4 ^a	179,6^a	232,2 ^a	121,1 ^{a,b}	315,5 ^a	67,7 ^a	184,1^a
240	994,9 ^b	255,6 ^a	371,8 ^b	287,1 ^a	477,35^b	566,5 ^b	274,9 ^b	289,1 ^a	109,2 ^a	309,9^b
SZD 5%	257,2	178,0	206,9	259,3	160,8	237,0	163,2	419,5	77,9	132,4

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

Az *öntözött* kontroll parcellák 0-200 cm rétegében 45,5-186,4 kg/ha változott a nitrát mennyisége a tenyészidőszakban. A kukorica tápelem felvételének hatása nem jelentkezett az egyes mintavételi időpontokban mért nitrát tartalmakban. A termőhely mindig képes volt fenntartani az adott évjárat környezeti feltételei között egy termőhelyre jellemző nitrogén ellátottságot. Ezt a megállapítást alátámasztja, hogy az öntözés mellett negatívabb 11 éves egyszerűsített agronómiai mérleg ellenére a 2005-ös évben sem volt kimutatható különbség a vizsgált szelvény nitrát tartalmában az eltérő öntözési szinteken. Az előző év két közel azonos mintavételi időpontjához viszonyítva nagyobb a vizsgált szelvény nitrát tartalma. A jobb nitrogén ellátottság az előző évinél nagyobb 7,6 t/ha termésben realizálódott. A nitrát mélységi eloszlása követi a kontroll talajokban eddig tapasztaltakat. Nagyobb mennyiségben a felső 0-20 cm-es rétegben és a humuszos réteg alatt 80-140 cm rétegben található.

Öntözés nélkül a 120 kg/ha kezelések tartamhatásaként a kontrollhoz képest szignifikánsan nőtt a 0-200 cm szelvény nitrát tartalma (103-258 kg/ha). A kontrollhoz képest jobb nitrogén ellátottság eredményeként 12,3 t/ha-ra növekedett a szemtermés mennyisége. A vizsgált szelvényben felhalmozódó nitrátnak és a mineralizációnak kedvező évnek tulajdoníthatóan az első két mintavételi időpontban a kukorica intenzív növekedése mellett is közel azonos volt a nitrát mennyisége. Az augusztus 3-ai mintavételi időpontban, viszont már nagymértékben csökkent a szelvény nitrát tartalma, ami az utolsó mintavétel időpontjáig alig változott. Az előző év azonos időszakára eső mintavételi időpontokhoz képest több mint felére csökkent a vizsgált szelvény nitrát tartalma. A két év terméseredményében gyakorlatilag nem volt különbség. Az egyszerűsített agronómiai mérleg negatívabb, mint az előző évben, de a kontroll talaj nitrogén szolgáltatását is figyelembe vevő potenciális nitrogén mérleg közel azonos az előző évével. Mindezekre tekintettel a szelvény nitrát tartalmának csökkenése egyértelműen a csapadékos évjárat miatt nagyobb mértékben lemosódó nitrátnak



3. ábra: A 0,01 M CaCl₂ oldható nitrát-N frakció mennyiségének talajszelvényen belüli változása kukorica monokultúrában, 2005. év

tulajdonítható. A vizsgált szelvényben nitrát felhalmozódás az előző évvel ellentétben, egyik rétegben sem figyelhető meg, ami szintén a nitrát lemosódás következménye.

Az *öntözött* parcellák 120 kg/ha N kezelésében 67,7-315,5 kg/ha között változott a 0-200 cm rétegben a nitrát mennyisége. A kontrollhoz képest jobb nitrogén ellátottságnak megfelelően a kukorica szemtermése 11,6 t/h-ra növekedett. Az első június elejei mintavételkor a nitrogén trágyázás hatásaként még nagy a vizsgált szelvény nitrát tartalma. A második mintavételi időpontra a kukorica intenzív nitrogén felvételéből adódóan csökkent a nitrát mennyisége a szelvényben. A tenyészedőszak végére az öntözött kontroll talajjal azonos volt a 0-200 cm réteg nitrát tartalma. Az előző év és a 2005-ös év közel egyező mintavételi időpontjaiban mért nitrát mennyiségében nincs kimutatható különbség. A vizsgálati eredményt megerősíti, hogy a két egymást követő év potenciális nitrogén mérlege között sincs jelentékeny különbség. Az előző évvel ellentétben 2005-ben nincs számottevő különbség az öntözetlen és öntözött parcellák vizsgált szelvényének nitrát tartalmában, ami annak köszönhető, hogy az öntözetlen parcellák 0-200 cm rétegének nitrát tartalma csökkent a lemosódás következményeként. A nitrát mélységi eloszlását tekintve megállapítható, hogy a 120 kg/ha N kezelés hatására nőtt minden rétegben a vizsgált szelvény nitrát tartalma a kontrollhoz képest, de nitrát felhalmozódás egyik rétegben sem figyelhető meg.

Öntözés nélkül a 240 kg/ha N trágyázás tartamhatásaként tovább nő a 0-200 cm szelvény nitrát tartalma, és a szemtermés mennyisége eléri a 13,2 tonnát hektáronként. Az első június 2-i mintavétel időpontjában még közel egy tonna volt a nitrát mennyisége, ami a második mintavétel idejére mintegy negyedére csökkent. A tenyészedőszak további részében már nem változott jelentős mértékben a szelvény nitrát tartalma. Az előző év ugyanazon időszakában mért nitrát tartalomhoz képest, 2005-ben majdnem 1 t/ha-val kisebb a vizsgált szelvényben a nitrát mennyisége. Az egyszerűsített agronómiai mérleg mindössze 102 kg/ha-val lett negatívabb, míg a potenciális nitrogén mérleg több mint 20 kg/ha-ra gyarapodott az előző évhez viszonyítva. A csökkenés mértékét egyik mérleg sem támasztja alá. A vizsgált szelvény nitrát tartalmának drasztikus változása, egyértelműen az átlagon felüli csapadékos évjárat hatására mélyebb rétegekbe mosódó nitrátnak tulajdonítható. A lemosódás folyamata jól megfigyelhető az egyes mintavételi időpontokban a nitrát mélység szerinti mennyiségi eloszlásában. Az első mintavételi időpontban a tavasszal kijuttatott műtrágya megnövelte a 0-100 cm réteg nitrát tartalmát, míg a mélyebb rétegekben felhalmozódott a nitrát. A második mintavétel idejére minden vizsgált rétegben kisebb a nitrát tartalom,

de legnagyobb mértékben a 140-200 cm szelvény nitrát tartalma csökkent a lemosódás következményeként.

Az öntözött parcellákban a 240 kg/ha N kezelés tartamhatásaként szignifikánsan nagyobb a 0-200 cm réteg nitrát nitrogén tartalma, mint a 120 kg/ha N trágyázás mellett. A nitrát mennyisége 109-566 kg/ha között változott a mintavételi időpontokban. A vizsgált szelvény első mintavételi időpontban mért nagy nitrát tartalma a következő mintavételre jelentősen, majd a tenyészidőszak további részében fokozatosan csökkent. A 2005-ös év egyszerűsített agronómiai mérlege -90 kg/ha, míg a potenciális nitrogén mérleg a mineralizációnak kedvező év miatt 100 kg/ha-al pozitívumot mutat. A mérlegeredmények alátámasztják, hogy a 0-200 cm réteg nitrát tartalmának csökkenését az átlagosnál csapadékosabb évben nagyobb mértékben lemosódó nitrát okozza. A második mintavételi időpontban mért sokkal kisebb nitrát tartalmat sem eredményezheti csupán a kukorica nitrogén felvétele. Az előző év azonos időszakával összevetve, 2005-ben a 0-200 cm réteg nitrát tartalma 647 kg/ha-ral kevesebb, ami szintén a nitrát lemosódásának veszélyére hívja fel a figyelmet a nagyadagú nitrogén trágyázás esetén. A nitrát mélységi eloszlásában felhalmozódási maximum nem figyelhető meg egyik mintavételi időpontban sem. Az első mintavételi időpontban nincs szignifikáns különbség a szelvények nitrát tartalmában. A további mintavételi időpontokban a kukorica nitrogén felvételének és a lemosódás együttes hatásaként minden rétegben csökkent a nitrát mennyisége.

5.2.2.2. A nitrát-nitrogén frakció mennyisége búza, kukorica bikultúrában, a 2005. évi tenyészidőszakban

Az öntözetlen kontroll parcellákban 78,6-261,6 kg/ha között változott a 0-200 cm szelvény nitrát tartalma. Az első mintavételi időpontban volt legnagyobb a szelvény nitrát tartalma, ami a kukorica nitrogén felvételéből adódóan a harmadik mintavételig folyamatosan csökkent. Az első mintavételi időpontban mért nagy 261,6 kg/ha nitrát tartalom kiválóan mutatja az évjárat hatásának jelentőségét a tápanyag-feltáródási folyamatokra. Hazai viszonyok között a 2004-es és 2005-ös évjáratban az átlagon felüli körülmények között végbemenő mineralizáció és a vetésváltás eredményeként nagymértékben nőtt a felvehető nitrát mennyisége a vizsgált szelvényben. Az egymást követő kedvező évjáratok hatásaként 2005-ben a bikultúra kontroll parcelláin rendkívüli mennyiségű 11 t/ha szemtermés képződött. A nitrogén ellátottság javulását jól mutatja,

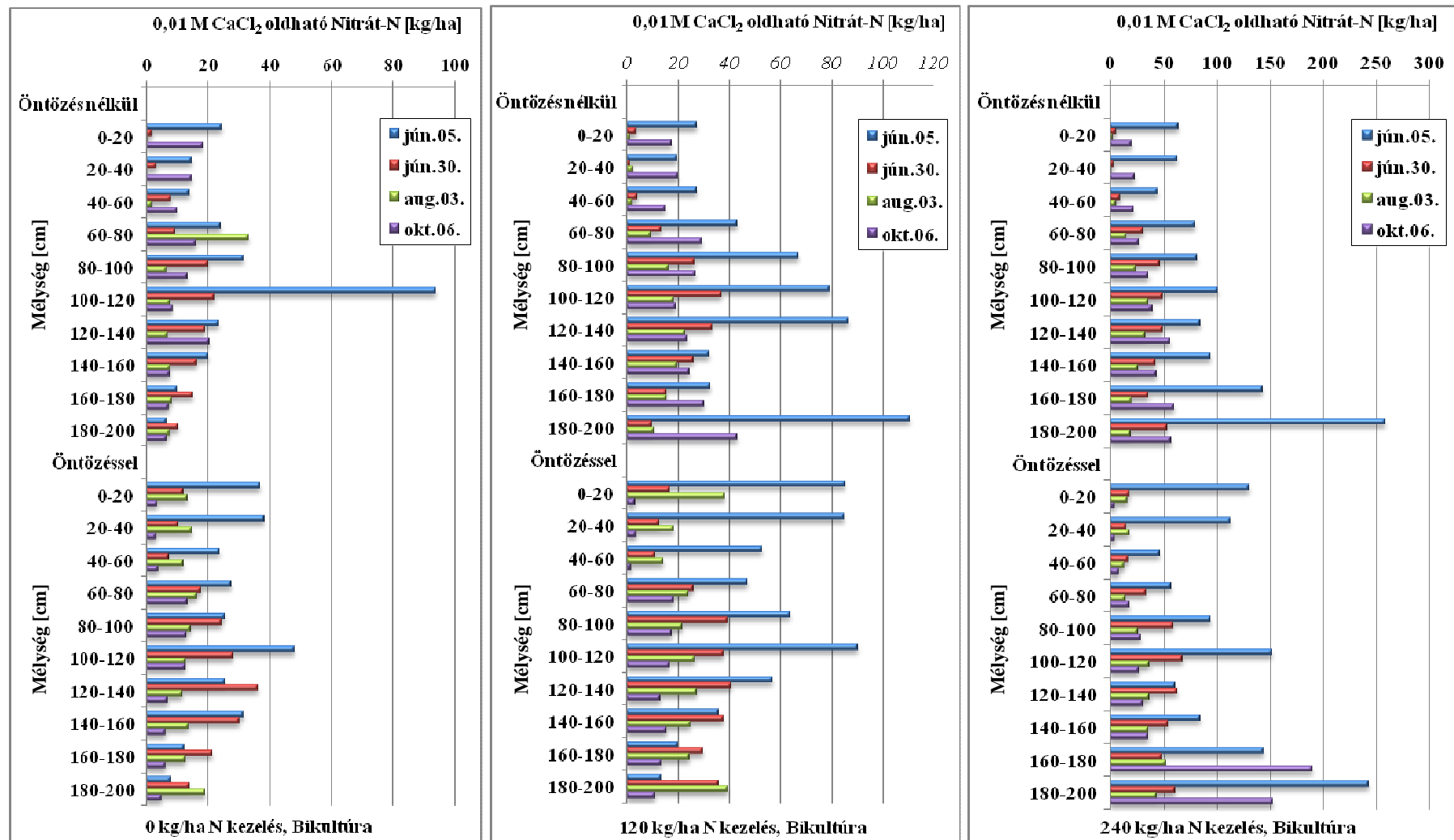
hogy az előző év azonos időszakához viszonyítva 2005-ben több mint 100 kg/ha-val növekedett a 0-200 cm réteg nitrát tartalma. A termőhely nagy tápanyag tőkéjét és kiváló tápanyag szolgáltató képességét jól reprezentálja, hogy az egyre negatívabb egyszerűsített agronómiai mérleg mellett is kedvező környezeti feltételek esetén képes gyarapodni a felvehető formák mennyisége. A nitrát mélyégi eloszlása megegyezik a kontroll talajokban korábban tapasztaltakkal. A nitrát a felső a 0-20 cm-es rétegben és közvetlenül a humuszos réteg alatt a 80-140 cm-es mélységben található meg nagyobb mennyiségben. A tenyészidőszakban előrehaladva a kukorica nitrogén felvételének eredményeként egyre laposabb lefutású a nitrát profil.

15. táblázat. A 0-200 cm talajszelvény 0,01 M CaCl₂ oldható NO₃-N tartalma kukorica bikultúrában a 2005. év mintavétel időpontjaiban

NO ₃ -N tartalom [kg/ha]										
mintavételi időpontok: I: június 05. , II: június 30. , III: augusztus 03. , IV: október 06.										
N kezelés [kg/ha]	Öntözés nélkül					Öntözéssel				
	I.	II.	III.	IV.	Átlag	I.	II.	III.	IV.	Átlag
0	261,6 ^a	124,2 ^a	78,7 ^a	120,7 ^a	146,3^a	274,8 ^a	200,3 ^a	139,1 ^a	72,2 ^a	171,6^a
120	523,7 ^a	168,6 ^a	116,4 ^a	247,7 ^a	264,1^a	549,7 ^a	286,4 ^a	257,6 ^{a,b}	112,3 ^a	301,5^a
240	1007,6 ^b	322,1 ^b	183,6 ^a	379,6 ^b	473,2^b	1118,4 ^b	433,7 ^b	292,2 ^b	500,4 ^a	586,2^b
SZD 5%	371,1	102,3	120,4	249,5	183,1	415,9	136,7	140,3	679,0	286,9

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

Az öntözött kontroll parcellákban 72,2-274,8 kg/ha között változott a 0-200 cm réteg nitrát tartalma. A kukorica nitrogén felvétele miatt a második és harmadik mintavételre csökkent a nitrát szelvényen belüli mennyisége. Az öntözött kontroll parcellák esetében ugyanazon megállapítások tehetők 2005-ben, mint az öntözetlen parcelláknál. A mineralizációnak kedvező egymást követő évjáratoknak és a vetésváltásnak köszönhetően jelentősen növekedett a nitrát mennyisége a vizsgált szelvényben. A képződött 11,1 t/ha szemtermés az utóbbi 11 év kimagasló eredményei közé tartozik. A vetésváltás hatása abban nyilvánul meg, hogy a bikultúra búza szakasza után júliustól a következő év vetéséig feltáródó tápanyagok jelentik az induló tápanyag tőkét a kukorica számára. Ezt a folyamat jól mutatja, hogy 2005-ben az első mintavételi időpontban öntözés mellett több mint négyszerese, öntözés nélkül több mint két és fél szerese bikultúrában a nitrát mennyisége a monokultúrához viszonyítva. A nitrát mélyégi eloszlása megegyezik a kontroll talajokban korábban tapasztaltakkal.



4. ábra: A 0,01 M CaCl₂ oldható nitrát-N frakció mennyiségének talajszelvényen belüli változása kukorica bikultúrában, 2005. év

Az öntözetlen parcellákban a 120 kg/ha N kezelés tartamhatásaként minden mintavételi időpontban nőtt a vizsgált szelvény nitrát tartalma a kontrollhoz képest, mennyisége 116,4-523,7 kg/ha között változott az egyes mintavételi időpontokban. A nitrogén ellátottság javulásával a szemtermés mennyiség 13 t/ha-ra gyarapodott. A második mintavételi időpontra a kukorica nitrogén felvételének és a nitrát lemosódásának együttes hatásaként jelentősen csökkent a 0-200 cm szelvény nitrát tartalma. A bikultúra talajában négy mintavétel átlagában nagyobb a nitrát mennyisége, mint az azonos kezelést kapott monokultúrában. A különbséget sem az egyszerűsített agronómiai mérleg sem a kontroll nitrogén szolgáltatását is figyelembevevő potenciális mérleg nem támasztja alá. Ahogyan az előző évben is, a különbség oka a vetésváltás. A bikultúra őszi búza szakaszában elsősorban a felső rétegek nitrogén tartalma hasznosul, továbbá az őszi búza összességében kevesebb nitrogént vesz fel a tenyészidőszak során, mint a kukorica, ezért az őszi mineralizáció során képződő nitrát és a műtrágya nem hasznosuló nitrogénjének egy része a 100 cm réteg alatt felhalmozódik. A bikultúra előző évének azonos időszakához képest, 2005-ben 425 kg/ha-ral kisebb a vizsgált szelvény nitrát tartalma. A csökkenés mértéke elsősorban a csapadékvízzel lemosódó nitrát mennyiségéből adódik. Az őszi mineralizáció a trágyázás és a nitrát lemosódás hatása egyaránt nyomon követhető a nitrát mélységi eloszlásának változásában. Az első mintavételi időpontban elsősorban a nitrogén kezelés hatásaként nagyobb a 0-80 cm rétegben a nitrát mennyisége, mint a kontrollban. A 80-140 cm között ugrásszerűen nő a rétegek nitrát tartalma a mineralizációban képződő és a trágyázással kijuttatott és lemosódó nitrát miatt. A 140-180 cm rétegekben kevesebb, de még jelentős mennyiségű nitrát található, majd a 180-200 cm-es rétegben újfent drasztikusan nő a nitrát mennyisége a korábbi években felhalmozódó és mélyebb rétegekbe kerülő nitrátnak tulajdoníthatóan. A második mintavételi időpontra minden rétegben nagymértékben csökkent a nitrát mennyisége elsősorban a lemosódás, kisebb részben a növényi felvétel eredményeként. A tenyészidőszak további részében nitrát felhalmozódás már nem volt megfigyelhető.

Öntözés mellett a 120 kg/ha N kezelések tartamhatásaként minden mintavételi időpontban nagyobb a 0-200 cm réteg nitrát tartalma, mint az öntözött kontroll talajában, mennyisége 112,3-549,7 kg/ha között változott. Az első mintavétel időpontjában legnagyobb a vizsgált szelvény nitrát tartalma, ami az előző évi búza után mineralizálódó és a műtrágyával kijuttatott nitrát mennyiségéből tevődik össze. A tenyészidőszak további részében a kukorica nitrogén felvételéből és a nitrát

leomosódásából adódóan csökken a 0-200 cm rétegben a nitrát mennyisége. A vetésváltás hatása öntözés mellett is kimutatható. Bikultúrában minden mintavételi időpontban nagyobb a vizsgált szelvény nitrát tartalma, mint a monokultúrában. Az előző évvel ellentétben a bikultúra talajának nitrát tartalmában nem volt számottevő különbség az eltérő öntözési szinteken. Ennek elsődlegesen az az oka, hogy az öntözetlen parcellákban felhalmozódó nitrát mennyisége a csapadékos 2004, 2005 években a leomosódás miatt csökkent. Az öntözött bikultúra 120 kg/ha N kezelésében mért nitrát tartalmakat összehasonlítva az előző év közel azonos időszakában kapott eredményekkel, megállapítható, hogy 2005-ben a mineralizációnak még kedvezőbb időszakban a termőhely több nitrogént volt képes szolgáltatni. A mérési eredményeket összevetve a 2005 évi negatív egyszerűsített agronómiai mérleggel a vizsgált szelvény nitrát tartalmának csökkenését váránk. A potenciális mérleg viszont pozitívumot mutat, ami egybevág a szelvény nitrát tartalmának növekedésével. Figyelemfelhívó, hogy a lényegesen jobb nitrogén ellátottság nem tudott realizálódni a termés mennyiségének növekedésében. Az első mintavételi időpontban elsősorban a nitrogén kezelés hatásaként nagy a 0-80 cm rétegben a nitrát mennyisége. A 80-140 cm közötti rétegekben a mineralizációban képződő és a trágyázással kijuttatott és leomosódó nitrát miatt egy kisebb felhalmozódási csúcs figyelhető meg. A mélyebb rétegek felé haladva gyorsan csökken a nitrát mennyisége. A tenyészidőszak további részében minden réteg nitrát tartalma csökken, valamint nitrát felhalmozódás már nem volt megfigyelhető a vizsgált szelvényen belül.

Öntözés nélkül a 240 kg/ha N kezelés talajának 0-200 cm rétegében 183,6-1007,6 kg/ha között változott a nitrát mennyisége a vizsgált időszakban. Az első mintavételi időpontban volt legnagyobb a szelvény nitrát tartalma, ami a harmadik mintavételi időpontig a 200 cm réteg alá mosódó nagymennyiségű nitrát miatt ugrásszerűen csökkent. Az utolsó mintavétel időpontjában ismét növekszik vizsgált szelvény nitrát tartalma. A növekedés a mélyebb 160-180 cm-es rétegben következik be, ami egyértelműen a nitrát vertikális mozgásából adódik. A 240 kg/ha N kezelésben ezen a termőhelyen nincs értelme a kukorica nitrogén felvételéből eredő hatások értékelésére. A túltrágyázás eredményeként a nitrát mozgásából származó mennyiségi változások messze meghaladják a növényi nitrogén felvételének hatását a szelvény nitrát tartalmára. Az előző év közel azonos időszakával összehasonlítva 2005-ben 2,5 t/ha-val kevesebb az öntözetlen bikultúra 0-200 cm rétegében a nitrát mennyisége. A különbség a környezeti veszélyek mellett, nagymértékű N-műtrágya veszteséget mutat.

A nitrát lemosódás következményeként 2005-ben nincs különbség az öntözetlen vetésciklusok talajában 0-200 cm-es rétegek nitrát tartalmában. A nitrát mélyebb rétegekbe mozgása mellett is a 0-200 cm-es rétegben továbbra is nagy mennyiségű nitrát nitrogén volt a tenyészidőszakban, ennek ellenére a kukorica szemtermése kismértékben csökkent az öntözés nélküli bikultúra 120 kg/ha N kezelésében képződött termés mennyiségéhez képest. A nitrát mélységi eloszlását tekintve, az első mintavételi időpontba a nitrát mennyisége a mélyebb rétegek felé haladva növekszik és a 180-200 cm-es rétegben már jelentős felhalmozódása figyelhető meg. A tenyészidőszak további részében minden rétegben csökken a nitrát mennyisége, ugyanakkor a nitrát felhalmozódás csúcsa a lemosódás következményeként már a 200 cm-es réteg alatt jelentkezik.

Az öntözött 240 kg/ha N kezelések parcelláiban a 0-200 cm réteg nitrát tartalma 292,2-1118,4 kg/ha között változott a vizsgált időszakban. A nagyadagú trágyázás hatására jelentősen megnövekedett 0-200 cm réteg nitrát tartalma a bikultúra öntözött 120 kg/ha N kezelésében mértékhez képest. Az első mintavételi időpontban volt legnagyobb a vizsgált szelvényben a nitrát mennyisége, ami folyamatosan és nagymértékben csökkent a nitrát mélyebb rétegekbe mosódásának eredményeként egészen a harmadik mintavételi időpontig. A negyedik mintavételkor a nitrát fölfelé irányuló mozgásából adódóan az alsó 160-200 cm rétegben nagyot nőtt a nitrát mennyisége. Az öntözetlen bikultúrához hasonlóan az öntözött kezelések vizsgált szelvényében bekövetkező változások nagyságát és a nitrát mélységi eloszlását elsősorban a nitrát mozgásának sebessége és iránya határozta meg. A jelentős mértékű túltrágyázás mellett a kukorica nitrogén felvételének hatása nem számottevő. A nitrát lemosódása mellett is a 0-200 cm-es rétegben lényegesen nagyobb a nitrát mennyisége, mint amit a 12 éves agronómiai mérleg alapján várható lenne. A kontroll nitrogén szolgáltatását is figyelembe vevő potenciális mérleg szerint viszont nitrát lemosódás nélkül sokkal nagyobbak kellene lennie a szelvény nitrát tartalmának. A mérlegeredmények és a vizsgálati adatok egyaránt alátámasztják, hogy a látóképi mészlepedékes csernozjom talajon a 240 kg/ha nitrogén kezelés esetén nagymértékű N-műtrágya veszteséggel és jelentős környezeti terheléssel kell számolni.

5.3. A szerves nitrogén frakció mennyisége a 2004. és 2005. évi tenyészidőszakban

A talaj 0,01 M CaCl₂ kivonatából meghatározható könnyen oldható és oxidálható szerves nitrogén frakciók jelentősége abban áll, hogy az eddigi kutatási eredmények szerint e frakció mennyisége arányos a tenyészidőszakban mineralizálódó szerves nitrogénformák mennyiségével. A tartamkísérletben vizsgált 0-200 cm talajszelvényen belül a szerves nitrogén frakció a felső 0-60 cm közepes humusztartalmú rétegben található. A mélyebb rétegekbe öntözés hatására sem mosódott le. A tenyészidőszak különböző mintavételi időpontjaiban, egy-egy kezelésen belül a szerves nitrogén frakció mennyisége viszonylag szűk intervallumban változott. Mennyiségét a kukorica tápelem felvétele nem befolyásolta még az intenzív növekedési szakaszban sem, ezért az agrotechnikai tényezők hatását a 0-60 cm réteg szerves nitrogén tartalmára négy mintavétel átlagában mutatom be. (16.-17. táblázat)

16. táblázat. A 0,01 M CaCl₂ oldható organikus nitrogén frakció mennyisége a 0-60 cm rétegben négy mintavétel átlagában, a 2004-es tenyészidőszakban

org.-N tartalom [kg/ha]						
mintavételi időpontok: I: június 29. , II: július 22. , III: szeptember 07. , IV: október 04.						
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	

17. táblázat. A 0,01 M CaCl₂ oldható organikus nitrogén frakció mennyisége a 0-60 cm rétegben négy mintavétel átlagában, a 2005-ös tenyészidőszakban

org.-N tartalom [kg/ha]						
mintavételi időpontok: I: június 05. , II: június 30. , III: augusztus 03. , IV: október 06.						
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 nitrogén trágyázás hatását vizsgálva mindkét évben, csak a 240 kg/ha kezelésben nőtt tendenciózusan a 0-60 cm rétegben a szerves nitrogén frakció mennyisége, mind a mono-, mind a bikultúrában. Ez a növekedés a kísérlet legnagyobb adagú műtrágyakezelésében képződő fejlettebb növény állomány nagyobb gyökérzetéből visszamaradó szerves maradványok bomlásából és ezekkel összefüggésben az élénkülő mikrobiális tevékenységből adódhat.

Az öntözés hatására a 2004-es tenyészidőszakban mindkét vetésváltásban igazolhatóan nőtt a felső rétegben a szerves nitrogén frakció mennyisége minden trágyázási szinten. A szerves nitrogén frakció mennyiségének növekedése a nehezen oldódó szerves vegyületek fokozottabb mineralizációjának eredménye, amit az öntözés hatására kialakuló kedvezőbb feltételek, élénkebb mikrobiológiai aktivitás tettek lehetővé.

A 2005-ös tenyészidőszakban nem volt öntözés. Az átlagon felüli csapadékos évjáratban nem volt különbség az öntözött és öntözetlen parcellák felső rétegének organikus nitrogén tartalmában. Ez várható volt, hiszen a szerves vegyületek mineralizációját meghatározó környezeti feltételek 2005-ben azonosak voltak a kísérlet eltérő öntözési szintjein.

A vetésváltásnak egyik vizsgált évben sem volt kimutatható hatása a szerves nitrogén frakció mennyiségére egyik műtrágyakezelésben sem.

Az eredmények szerint a könnyen oldható és oxidálható szerves nitrogén frakció mennyiségét elsősorban a termőhelyi adottságok és a mineralizáció feltételei határozzák meg. Mennyiségét a vetésváltás, a trágyázás - eltekintve az extrém 240 kg/ha nitrogén adagtól - és a kukorica tápelem felvétele nem befolyásolta. Mindezek azt bizonyítják, hogy a 0,01 M CaCl_2 -ban oldható szerves nitrogén frakció mennyisége alkalmas lehet a termőhely természetes nitrogén szolgáltatásának jellemzésére.

5.4. Az $\text{NH}_4\text{-N}$ frakció mennyisége a 2004. és 2005. évi tenyészidőszakban

A 0,01 M CaCl_2 oldható $\text{NH}_4\text{-N}$ frakció legnagyobb mennyiségben a 0-60 cm rétegben található, az adszorpciós komplexumhoz kötve. A mélyebb rétegek oldható $\text{NH}_4\text{-N}$ tartalma kicsi. A tenyészidőszak mindkét évében a felső réteg $\text{NH}_4\text{-N}$ tartalma az eltérő kezelésektől függetlenül nagy ingadozást mutatott, ami azzal magyarázható, hogy az $\text{NH}_4\text{-N}$, mint a mineralizációs folyamatok közti terméke a körülményektől (talaj mikrobiális aktivitása, nedvesség tartalom, hőmérséklet) függően gyorsan átalakul (18.-19. táblázatok). Ezt megerősíti, hogy a növekvő adagú nitrogénkezeléseknek egyik vizsgált évben sem 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. Az öntözés szintén nem befolyásolta sem a felső sem a mélyebb rétegek oldható $\text{NH}_4\text{-N}$ tartalmát. Hasonlóképpen a vetésváltásnak sem volt igazolható hatása a 0-200 cm réteg oldható $\text{NH}_4\text{-N}$ tartalmára sem a 2004-es, sem a 2005-ös tenyészidőszakban. Az eredmények

alapján megállapítható, hogy a termőhely talajának oldható $\text{NH}_4\text{-N}$ tartalma és a vizsgált agrotechnikai tényezők között nincs igazolható kapcsolat, másrészt mennyisége szélsőségesen változik 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, mennyiségét nem célszerű figyelembe venni a nitrogén ellátottság megítélésékor.

18. táblázat. A 0-60 cm talajszelvény 0,01 M CaCl_2 oldható $\text{NH}_4\text{-N}$ tartalma a 2004. évben

Monokultúra	Az $\text{NH}_4\text{-N}$ mennyisége [kg/ha] a mintavétel időpontjai szerint (I: június 29. , II: július 22. , III: szeptember 07. , IV: október 04.)									
N kezelés [kg/ha]	Öntözés nélkül					Öntözéssel				
	I.	II.	III.	IV.	Átlag	I.	II.	III.	IV.	Átlag
0	8,1	4,1	74,3	24,2	27,7	47,2	5,3	51,2	32,6	34,1
120	12,2	8,5	18,0	40,1	19,7	23,2	40,7	41,5	36,8	35,5
240	100,9	7,2	42,7	24,7	43,9	56,4	105,5	25,3	67,3	63,6
SZD 5%	67,8	6,6	30,3	25,9	25,3	68,2	38,4	27,2	29,4	22,9
Bikultúra	Az $\text{NH}_4\text{-N}$ mennyisége [kg/ha] a mintavétel időpontjai szerint (I: június 29. , II: július 22. , III: szeptember 07. , IV: október 04.)									
N kezelés [kg/ha]	Öntözés nélkül					Öntözéssel				
	I.	II.	III.	IV.	Átlag	I.	II.	III.	IV.	Átlag
0	10,9	71,1	19,3	20,9	30,5	29,8	4,9	78,8	26,7	35,0
120	18,2	7,6	38,8	30,3	23,7	11,1	3,1	36,6	28,1	19,7
240	36,8	7,8	36,1	21,5	25,5	15,7	25,2	61,0	63,4	41,3
SZD 5%	30,7	70,5	33,4	16,7	21,0	23,1	19,6	47,2	16,4	19,5

19. táblázat. A 0-60 cm talajszelvény 0,01 M CaCl_2 oldható $\text{NH}_4\text{-N}$ tartalma a 2005. évben

Monokultúra	Az $\text{NH}_4\text{-N}$ mennyisége [kg/ha] a mintavétel időpontjai szerint (I: június 5. , II: június 30. , III: augusztus 3. , IV: október 06.)									
N kezelés [kg/ha]	Öntözés nélkül					Öntözéssel				
	I.	II.	III.	IV.	Átlag	I.	II.	III.	IV.	Átlag
0	89,3	23,5	52,0	37,3	50,5	35,2	37,4	70,2	46,3	47,3
120	60,4	36,4	39,1	41,4	44,3	76,0	46,7	67,6	39,8	57,5
240	68,0	44,9	41,6	50,6	51,3	62,2	49,5	105,2	57,2	68,5
SZD 5%	37,8	24,7	31,0	30,3	17,3	41,8	21,4	72,5	30,2	22,2
Bikultúra	Az $\text{NH}_4\text{-N}$ mennyisége [kg/ha] a mintavétel időpontjai szerint (I: június 5. , II: június 30. , III: augusztus 3. , IV: október 06.)									
N kezelés [kg/ha]	Öntözés nélkül					Öntözéssel				
	I.	II.	III.	IV.	Átlag	I.	II.	III.	IV.	Átlag
0	21,2	28,2	86,2	36,7	43,1	88,6	41,7	47,7	35,9	53,5
120	49,0	42,2	54,9	40,0	46,5	98,4	58,5	53,1	33,1	60,8
240	42,2	51,1	39,6	30,5	40,8	130,3	49,1	41,5	66,3	71,8
SZD 5%	19,4	14,0	31,6	17,8	14,4	80,0	16,1	21,7	36,3	27,1

5.5. 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 nitrogén szolgáltató 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. A nitrogén ellátottság javulása mellett a szemtermés mennyisége csak a 120 kg/ha N kezelésig nőtt szignifikánsan a kontrollhoz képest.

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 kezeléseknél 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 nitrogén adagtól függően nagy lehet a műtrágya veszteség. Az öntözés és a csapadékos évjárat hatására ugyanakkor 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.

A tartamkísérlet talajának 0,01 M CaCl_2 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. 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 CaCl_2 -ban oldható szerves nitrogén frakció mennyisége elsősorban a termőhely természetes nitrogén szolgáltatásának jellemzésére alkalmas.

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 gyorsan 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.

5.6. A termőhely talajának AL- és CaCl₂ oldható foszfor tartalma

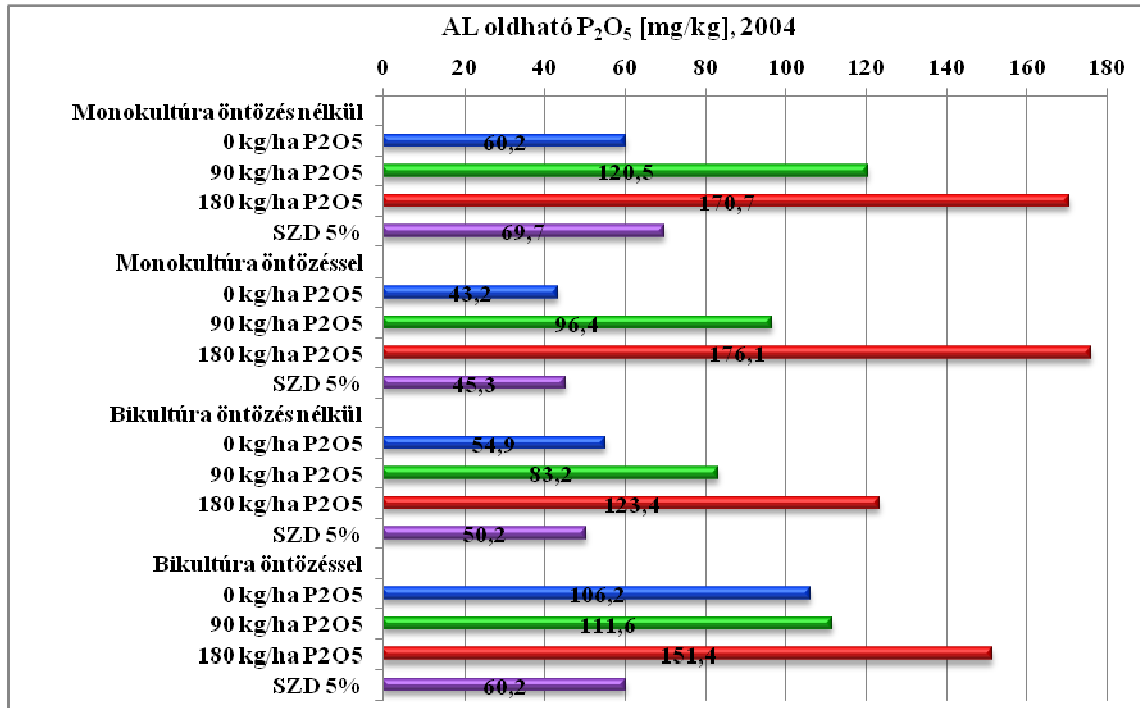
A tartamkísérlet eltérő kezeléseiben a termőhely talajának ammónium-laktát-acetát (pH 3,5) továbbiakban AL és CaCl₂ oldható foszfor tartalmának változását négy mintavétel átlagában mutatom be. A látóképi mészlepedékes csernozjom talaj esetén az AL és CaCl₂ oldható foszfor tartalom a felső 0-40 cm mélységben változik a kezelések hatására. A vizsgált 0-200 cm szelvény mélyebb rétegeinek oldható foszfortartalmában nincs kimutatható különbség az eltérő kezelések között, ezért az eredmények értékelésekor minden esetben a 0-40 cm réteg oldható foszfor tartalmát vettem figyelembe. A kezeléskombinációkban számított mérlegeredményeket az 20. táblázat tartalmazza.

20. táblázat. Foszfor mérlegek az eltérő kezelésekből

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, 1994-2004	-800	-158	833	-839	-172	746
Potenciális mérleg, 1994-2004	-	642	1 633	-	667	1 585
Egyszerűsített agronómiai mérleg, 2005	-109	-70	2	-143	-79	17
Potenciális mérleg, 2005	-	40	111	-	64	160
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, 1994-2004	-954	-438	483	-1 006	-366	501
Potenciális mérleg, 1994-2004	-	517	1 438	-	640	1 507
Egyszerűsített agronómiai mérleg, 2005	-99	-62	8	-144	-76	23
Potenciális mérleg, 2005	-	37	107	-	68	167

5.6.1. Az AL-oldható foszfor tartalom a 2004. évi tenyészidőszakban

A termőhely talajának AL oldható foszfortartalmát az eltérő kezeléskombinációkban összefoglalásul az 5. ábrán mutatom be.



5. ábra. A talaj 0-40 cm rétegének AL oldható foszfor tartalma az eltérő kezelésekben, 2004. év.

5.6.1.1. Az AL-oldható foszfor tartalom monokultúrában, a 2004. évi tenyészidőszakban

Öntözés nélkül a kontroll kezelés talajának MÉM-NAK (1977/1978) szerinti foszfor ellátottsága gyenge. A tartamkísérletben számított 11 éves negatív agronómiai mérleg mellett a tartamkísérletben nem csökkent a kontroll talaj AL oldható foszfor tartalma. A 90 kg/ha P₂O₅ kezelés tartamhatásaként kétszeresére nőtt a talaj AL oldható foszfor tartalma a kontrollhoz képest. A kezelés talaja a közepes foszfor ellátottsági kategóriába került. A negatív 11 éves agronómiai mérleg alapján ekkora mértékű növekedés nem volt várható. A kontroll foszfor szolgáltatását is számításba vevő potenciális mérleg viszont már nagy pozitívumot mutat. Figyelembe véve azt, hogy a talajra kijutatott foszfor fokozatosan egyre oldhatatlanabb formákká alakul, a potenciális mérleg nagy pozitívuma mellett reálisnak tűnhet a trágyázás hatására bekövetkező AL oldható foszfor tartalom növekedésének mértéke. A 180 kg/ha P₂O₅ kezelés hatására tovább nő a kísérlet talajának AL oldható foszfor tartalma és eléri a jó ellátottsági kategóriát. Mind a 11 éves egyszerűsített agronómiai mérleg, mind a

potenciális mérleg alapján a 180 kg/ha P₂O₅ trágyázás alkalmazásakor a foszfor felhalmozódásával kell számolni a felső rétegben, ami hosszabb távon felveti a P-Zn antagonizmus kialakulásának lehetőségét.

Az *öntözött* monokultúra kontroll talajának a MÉM-NAK szerinti foszfor ellátottsága gyenge, AL oldható foszfor tartalma az öntözetlen kontroll talajban mérténél kisebb. Az öntözés mellett képződő nagyobb növényi produktum szükségyszerűen több foszfor felvételét igényli. Az öntözés mellett negatívabb agronómiai mérlegnek megfelelően csökkent a talaj AL oldható foszfor tartalma. A 90 kg/ha P₂O₅ kezelés tartamhatásaként a kontrollhoz képest szignifikánsan nőtt a talaj AL oldható foszfor tartalma, foszfor ellátottsága javult, közepes lett. A növekedés hasonló mértékű, mint az öntözetlen parcellák azonos foszfor kezelésében, de öntözés mellett kisebb a 90 kg/ha P₂O₅ kezelés talajának AL oldható foszfor tartalma, mint öntözés nélkül. A különbség oka, hogy öntözés mellett a 11 éves agronómiai mérleg egyrészt negatívabb, másrészt a potenciális mérleg pozitív, de kisebb, mint öntözés nélkül. Ennek megfelelően kevésbé nő a felső réteg foszfor készlete. A 180 kg/ha P₂O₅ kezelés hatására tovább nő a talaj AL oldható foszfor tartalma és eléri a jó ellátottsági kategóriát. Öntözés mellett mind az agronómiai mérleg, mind a potenciális mérleg kisebb, mint öntözés nélkül, de még így is nagymértékben pozitív, ami a felső réteg foszfor készletének jelentős gyarapodását eredményezte. Emiatt nem meglepő, hogy nincs szignifikáns különbség az eltérő öntözési szintek legnagyobb adagú foszfor kezelésében.

5.6.1.2. Az AL oldható foszfor tartalom bikultúrában, a 2004. évi tenyésztidőszakban

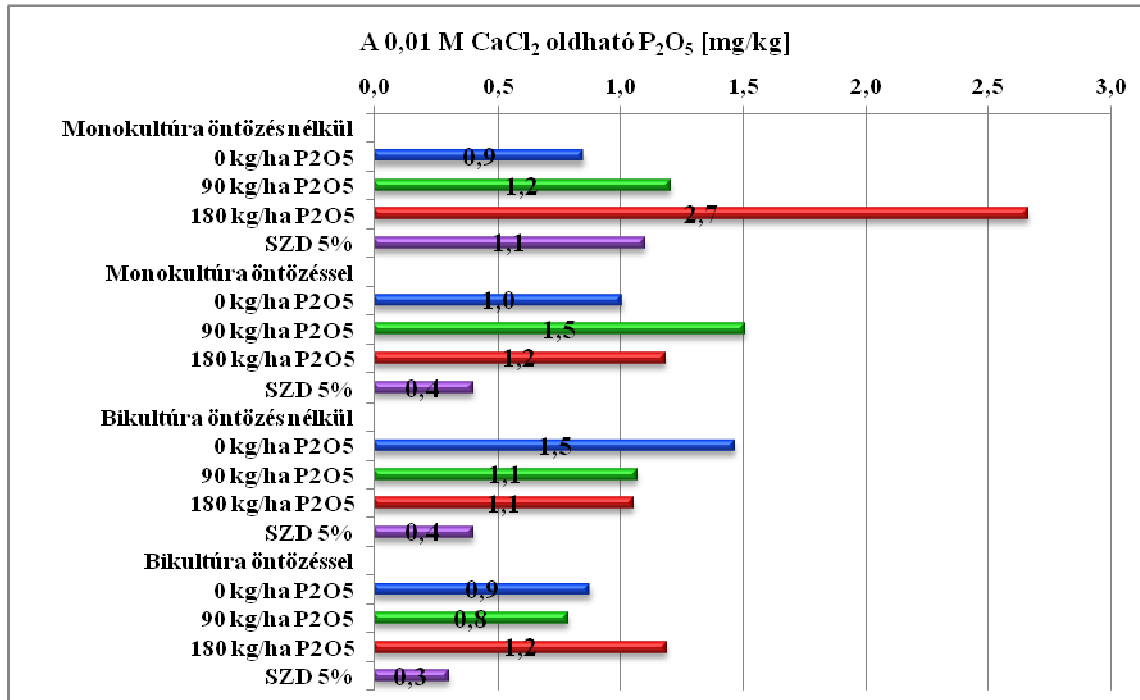
Az *öntözetlen* bikultúra kontroll talajának foszfor ellátottsága gyenge, a tartamkísérlet kezdete óta nem változott. Az öntözetlen mono- és bikultúra kontroll talajának AL oldható foszfor tartalma között nem volt szignifikáns különbség. Ez egybevág azzal, hogy a 11 éves egyszerűsített agronómiai mérleg sem különbözött számottevően az öntözés nélküli vetésforgók kontroll kezeléseiben. A 90 kg/ha P₂O₅ trágyázás tartamhatásaként a kontrollhoz képest szignifikánsan nőtt a talaj AL oldható foszfor tartalma, de a talaj foszfor ellátottsága éppen csak meghaladja a közepes ellátottsági kategória alsó határértékét. A növekedés mértéke sokkal kisebb volt, mint a monokultúra azonos kezelésében. A vetésforgók 11 éves egyszerűsített agronómiai és potenciális mérlege közötti kis különbség alapján, bikultúrában is hasonló mértékben

kellett volna nőnie a felső réteg AL oldható foszfor tartalmának, mint monokultúrában. A különbség oka, hogy bikultúrában a búza gyökérzete révén a felső rétegekből több foszfort vesz fel, mint a kukorica, ezért a bikultúra felső rétegében kisebb a műtrágyázásból eredő foszfor tartalom növekedése. A 180 kg/ha P_2O_5 trágyázás tartamhatásaként tovább nő a termőhely talajának AL-P tartalma, de a foszfor ellátottsága továbbra is közepes maradt. A növekedés mértéke azonban sokkal kisebb volt a vártnál, ami ugyanúgy magyarázható, mint a 90 kg/ha P_2O_5 kezelés esetében.

Az *öntözött* bikultúra kontroll talajának foszfor ellátottsága közepes. A vetésforgók kontrollkezeléseit összehasonlítva, az öntözött bikultúra kontroll kezelésének felső rétegében legnagyobb az AL oldható foszfortartalom, holott ebben a kezelésben legnegatívabb a 11 éves egyszerűsített agronómiai mérleg. A 90 kg/ha P_2O_5 kezelésben, nem nőtt kimutatható mértékben a felső réteg AL-P tartalma a kontrollhoz képest, annak ellenére, hogy az öntözött monokultúra azonos kezelésben negatívabb mérlegek mellett is nőtt a felső réteg AL-P tartalma. A növekedés elmaradásának oka, hogy a bikultúra őszi búza szakaszában a felső rétegbe kijuttatott műtrágya nagyobb mértékben hasznosul. A talajvizsgálati eredmények és a tartamkísérletben kapott terméseredmények alapján, öntözött bikultúrában a 90 kg/ha P_2O_5 műtrágya adag optimálisnak tekinthető. A 180 kg/ha P_2O_5 kezelés hatására már szignifikánsan nő a felső réteg talajának AL-P tartalma, a foszfor ellátottság a jó kategóriába esik. Az öntözött monokultúra azonos kezeléséhez képest kisebb a felső réteg AL-P tartalma a korábban már többször részletezett, vetésváltásból adódó folyamat eredményeként.

5.6.2. A CaCl₂ oldható foszfor tartalom a 2004. évi tenyészidőszakban

A termőhely talajának CaCl₂ oldható foszfortartalmát az eltérő kezeléskombinációkban összefoglalásul a 6. ábrán mutatom be



6. ábra. A talaj 0-40 cm rétegének 0,01 M CaCl₂ oldható foszfor tartalma az eltérő kezelésekben, 2004. év.

5.6.2.1. A CaCl₂-oldható foszfor tartalom monokultúrában, a 2004. évi tenyészidőszakban

Öntözés nélkül a monokultúra felső rétegének CaCl₂-oldható foszfor tartalma 0,9-2,7 mg/kg P₂O₅ között változott. A 90 kg/ha P₂O₅ kezelés nem növelte kimutatható mértékben a felső réteg CaCl₂-P tartalmát. A 180 kg/ha P₂O₅ trágyázás hatására szignifikánsan nőtt a kísérlet talajában a CaCl₂ oldható foszfor mennyisége. Némileg váratlan, hogy nincsenek meg azok a markáns különbségek a CaCl₂ oldható foszfor tartalomban, mint amik a foszfor kezelések alapján várhatók lettek volna.

Az *öntözött* monokultúra felső rétegében 1,0-1,5 mg/kg P₂O₅ között változott a felső réteg CaCl₂-P tartalma. A trágyázásnak nem volt kimutatható hatása a talaj CaCl₂ oldható foszfor tartalmára, holott a tartamkísérletben számított mérlegeredmények is egyértelműen igazolják, hogy a legnagyobb adagú foszfor kezelésben jelentős mértékben gyarapodott a felső réteg foszfor készlete.

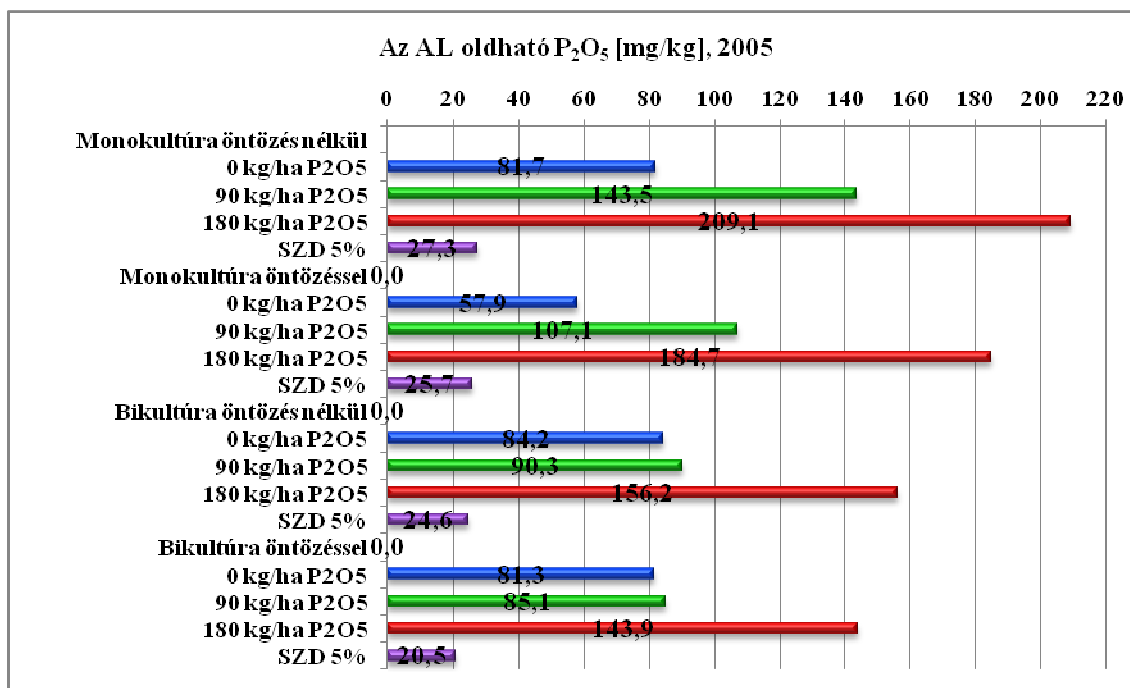
5.6.2.2. A CaCl₂-oldható foszfor tartalom bikultúrában, a 2004. évi tenyészidőszakban

Öntözés nélkül 1,1-1,5 mg/kg között változott a felső réteg CaCl₂ oldható foszfor tartalma. A növekvő adagú foszfor kezelések nem növelték a felső rétegben oldható CaCl₂-P mennyiségét. Bikultúrában a 90 és 180 kg/ha foszfor kezelések felső rétegének AL oldható foszfor tartalma kisebb volt, mint monokultúrában. Ugyanez a különbség nem jelentkezik a CaCl₂-P tartalmakban, ahogyan a mérleg eredmények alapján a felső rétegekben várt növekedés is elmaradt.

Az öntözött parcellák foszfor kezeléseiben 0,8-1,2 mg/kg között változott a felső rétegben a CaCl₂ oldható foszfor mennyisége. A növekvő adagú foszfor- trágyázásnak nem volt hatása a talaj CaCl₂-P tartalmára. Bikultúrában a felső réteg AL-oldható foszfor tartalma öntözés mellett minden foszfor kezelésben nagyobb volt, mint öntözés nélkül. Ezzel szemben a felső rétegekben oldható CaCl₂ foszfor mennyiségében nincs kimutatható különbség az eltérő öntözési szinteken.

5.6.3. Az AL oldható foszfor tartalom a 2005. évi tenyészidőszakban

A 2005-ös tenyészidőszakban az átlagot jóval meghaladó csapadék hullott ezért ebben az évben nem volt öntözés. Az eredményeket ettől függetlenül az eltérő öntözési szintek szerint értékeltem, hiszen az agronómiai mérleg a tartamkíséreltben jelentősen különbözik az öntözési viszonyok szerint. A termőhely talajának AL oldható foszfortartalmát az eltérő kezeléskombinációkban összefoglalásul az 7. ábrán mutatom be.



7. ábra. A talaj 0-40 cm rétegének AL oldható foszfor tartalma az eltérő kezelésekben, 2005. év.

5.6.3.1. Az AL oldható foszfor tartalom monokultúrában, a 2005. évi tenyésztésidőszakban

Öntözés nélkül a kontroll kezelés talajának MÉM-NAK (1977/1978) szerinti foszfor ellátottsága 2005-ben éppen meghaladta a közepes ellátottsági kategória alsó határértékét. A 90 kg/ha P₂O₅ kezelés tartamhatásaként ugrásszerűen nőtt a talaj AL oldható foszfor tartalma a kontrollhoz képest. A felső réteg talaja a közepes foszfor ellátottsági kategóriába került. Az előző évhez hasonlóan a negatív egyszerűsített agronómiai mérleg alapján ekkora mértékű növekedés nem volt várható. A kontroll foszfor szolgáltatását is számításba vevő potenciális mérleg kismértékben növekedett az előző évhez képest. A felső réteg AL-P tartalmának növekedése jól mutatja, hogy monokultúrában öntözés nélkül a látóképi mészlepedékes csernozjom talajon 120 kg/ha N mellett túlzott a 90 kg/ha P₂O₅ adag alkalmazása. A 180 kg/ha P₂O₅ kezelés hatására tovább nő a kísérlet talajának AL oldható foszfor tartalma és eléri az igen jó ellátottsági kategóriát. A mérlegeredmények szerint a 180 kg/ha P₂O₅ trágyázás alkalmazásakor a foszfor felhalmozódik a felső rétegben. Az eredmények értékelésénél szembevetendő, hogy négy mintavétel átlagában 2005-ben minden kezelésben nagyobb a felső rétegek AL oldható foszfor tartalma. A különbség oka, hogy a mintavételek nem azonos időpontban történtek. *A 2004 és 2005 év közel azonos időszakában vett minták felső rétegének AL*

oldható foszfortartalma nem különbözik egymástól kimutatható mértékben az egyes foszfor kezeléseken belül.

Az *öntözött* monokultúra kontroll talajának a MÉM-NAK szerinti foszfor ellátottsága gyenge. Monokultúrában öntözés mellett nagyobb volt a kukorica szemtermése, mint öntözés nélkül, ezért öntözés mellett, nagyobb a felvett foszfor mennyisége. A negatívabb egyszerűsített agronómiai mérlegnek megfelelően monokultúrában öntözés mellett kisebb a felső réteg AL oldható foszfor tartalma, mint öntözés nélkül. A 90 kg/ha P₂O₅ kezelés tartamhatásaként a kontrollhoz képest igazolhatóan nőtt a felső rétegben az AL oldható foszfor tartalom elérve a közepes foszfor ellátottsági kategóriát. Az előző évvel megegyezően öntözés mellett a negatívabb agronómiai és potenciális mérlegeknek megfelelően kisebb a 90 kg/ha P₂O₅ kezelés talajának AL oldható foszfor tartalma, mint öntözés nélkül. A 180 kg/ha P₂O₅ kezelés hatására tovább növekszik az AL oldható foszfor tartalom és a talaj a jó foszfor ellátottsági kategóriába került. Az agronómiai mérleg és a potenciális mérleg egyaránt kisebb, mint öntözés nélkül, de még így is nagymértékben pozitív, ami a felső rétegben a foszfor készletek jelentős felhalmozódását eredményezte. Emiatt nincs kimutatható különbség a legnagyobb adagú foszfor trágyázás esetén a felső rétegek AL oldható foszfor tartalmában az eltérő öntözési szinteken.

5.6.3.2. Az AL-oldható foszfor tartalom bikultúrában, a 2005. évi tenyészidőszakban

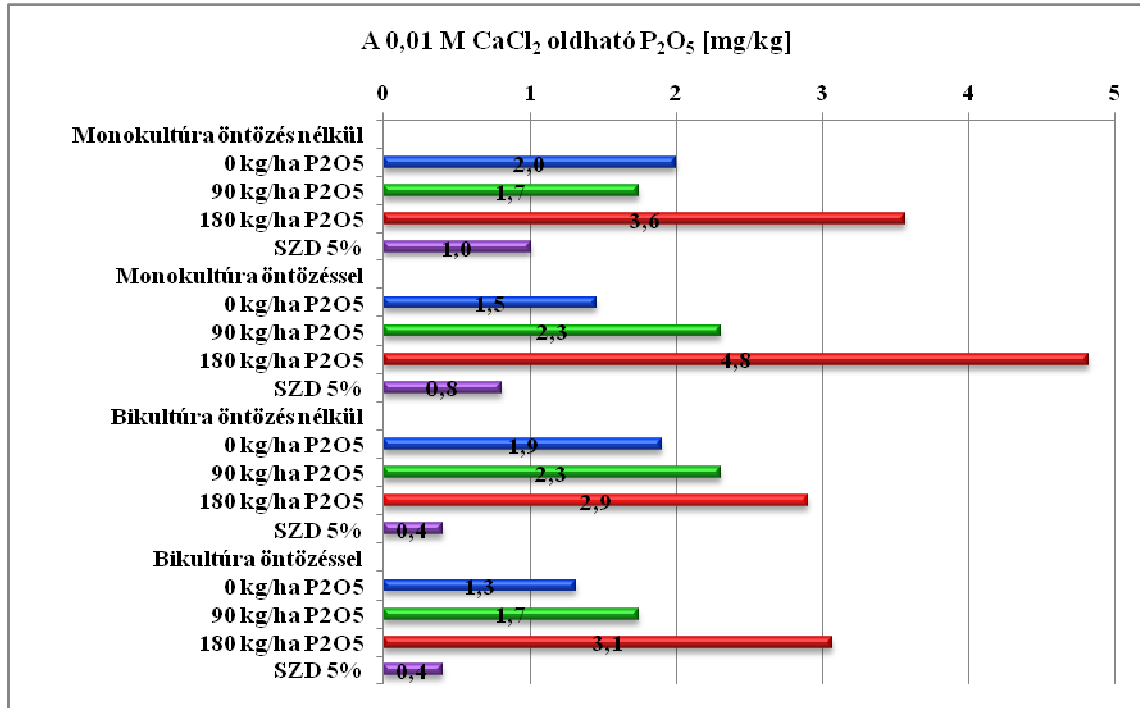
Az *öntözetlen* bikultúra kontroll talajának foszfor ellátottsága közepes. Az öntözetlen mono- és bikultúra kontroll talajának AL oldható foszfor tartalma között az előző évhez hasonlóan, nem volt szignifikáns különbség, ahogyan az egyszerűsített agronómiai mérlegek sem különböztek számottevően a vetésforgók kontroll kezeléseiben egyik évben sem. A 90 kg/ha P₂O₅ trágyázás hatására 2005-ben nem változott a talaj AL oldható foszfor tartalma a kontrollhoz képest. A talaj foszfor ellátottsága nem sokkal haladja meg a közepes ellátottsági kategória alsó határértékét. A monokultúra és bikultúra 90 kg/ha P₂O₅ kezelésében az egyszerűsített agronómiai és potenciális mérlegek közötti különbség nem számottevő. Ezért a bikultúrában is közel hasonló mértékben kellett volna nőnie a felső réteg AL-oldható foszfor tartalmának, mint monokultúrában. A különbség oka, hogy bikultúrában a búza gyökérzete révén a felső rétegekből több foszfort vesz fel, mint a kukorica, ezért a bikultúra felső

rétegében, 2005-ben nem nőtt a felső réteg AL-P tartalma. A 180 kg/ha P_2O_5 trágyázás tartamhatásaként tovább nő a termőhely talajának AL-P tartalma, a talaj foszfor ellátottsága a jó kategóriába került. Az öntözött monokultúra azonos kezeléséhez viszonyítva, kisebb a felső rétegben az AL oldható foszfor mennyisége, ami az előzőleg már részletezett vetésváltás következménye.

Az *öntözött* bikultúra kontroll talajának foszfor ellátottsága közepes. Az öntözött bikultúra kontroll kezelésének felső rétegének AL-P tartalma, 2005-ben nem különbözik szignifikánsan a többi kontroll kezelésétől. Ennek egyik oka lehet, hogy bikultúra esetében 2005-ben értelemszerűen más területről származnak a vizsgált talajminták. A 90 kg/ha P_2O_5 kezelésben, az előző évhez hasonlóan nem nőtt kimutatható mértékben a felső réteg AL-P tartalma a kontrollhoz képest, annak ellenére, hogy az öntözött monokultúra azonos kezelésben negatívabb mérlegek mellett is nőtt a felső réteg AL-P tartalma. Az eredmények alapján feltételezhető, hogy bikultúrában 120 kg/ha N mellett a 90 kg/ha P_2O_5 kezelés optimálisan hasznosul a termesztett kultúrákban. A 180 kg/ha P_2O_5 kezelés hatására már szignifikánsan nő a felső réteg talajának AL-P tartalma, a talaj foszfor ellátottsága jó. Az öntözött monokultúra azonos kezeléséhez képest kisebb a felső réteg AL-P tartalma a korábban már részletezett, vetésváltásból adódó folyamat eredményeként.

5.6.4. A CaCl₂oldható foszfor tartalom a 2005. évi tenyészidőszakban

A termőhely talajának CaCl₂ oldható foszfortartalmát az eltérő kezeléskombinációkban összefoglalásul a 8. ábrán mutatom be.



8. ábra. A talaj 0-40 cm rétegének 0,01 M CaCl₂ oldható foszfor tartalma az eltérő kezelésekben, 2005. év.

5.6.4.1. A CaCl₂-oldható foszfor tartalom monokultúrában, a 2005. évi tenyészidőszakban

Öntözés nélkül a monokultúra felső rétegének CaCl₂ oldható foszfor tartalma 1,7-3,6 mg/kg P₂O₅ között változott az eltérő foszforkezelésekben. A kontroll felső rétegében az előző év azonos időszakához viszonyítva nőtt a CaCl₂ oldható foszfor tartalom. A 90 kg/ha P₂O₅ kezelésben nem változott kimutatható mértékben a felső réteg CaCl₂-P tartalma a kontrollhoz képest. Az előző év azonos időszakával összehasonlítva a 90 kg/ha P₂O₅ kezelésben is nőtt a felső rétegben a CaCl₂-P mennyisége. A 180 kg/ha P₂O₅ trágyázás hatására egyrészt szignifikánsan nőtt a kísérlet talajának CaCl₂ oldható foszfor tartalma, másrészt az előző évhez viszonyítva is növekedett a felső rétegben a CaCl₂ oldható foszfor mennyisége. Az előző évvel egyezően 2005-ben sincsenek meg azok a markáns különbségek az eltérő kezelések

felső rétegében mérhető $\text{CaCl}_2\text{-P}$ tartalmak között, mint amik az AL oldható foszfor tartalmak esetében megmutatkoztak.

Az *öntözött* kísérletekben a foszfor kezelések talajának felső rétegében 1,5-4,8 mg/kg között változott a CaCl_2 oldható foszfor tartalom. Az előző évvel ellentétben a 90 kg/ha P_2O_5 trágyázás hatására nőtt a kontrollhoz képest a felső réteg CaCl_2 oldható foszfor tartalma, bár a különbség nem szignifikáns. A 180 kg/ha P_2O_5 kezelésben már igazolhatóan nőtt a felső rétegben a CaCl_2 oldható foszfor mennyisége. Mindhárom trágyázási szinten kimutatható mértékben nőtt a talaj CaCl_2 oldható foszfor tartalma az előző év azonos időszakához képest.

5.6.4.2. A CaCl_2 oldható foszfor tartalom bikultúrában, a 2005. évi tenyészidőszakban

Öntözés nélkül a foszfor kezelések talajának felső rétegében 1,9-2,9 mg/kg között változott a CaCl_2 oldható foszfor tartalom. A felső rétegben egyedül a 180 kg/ha P_2O_5 trágyázás növelte kimutathatóan a $\text{CaCl}_2\text{-P}$ oldható foszfor mennyiségét. Mindhárom foszfor kezelésben az előző év azonos időszakához képest nőtt a felső réteg CaCl_2 oldható foszfor tartalma. Az AL oldható foszfor tartalommal szemben a vetésváltásnak nem volt hatása a talaj CaCl_2 oldható foszfor tartalmára egyik trágyázási szinten sem.

Az *öntözött parcellák* felső rétegében 1,3-3,1 mg/kg között változott a felső réteg CaCl_2 oldható foszfor tartalma a trágyázási szintektől függően. Az előző évvel ellentétben a 90 kg/ha P_2O_5 kezelésben nem szignifikánsan, de nőtt a kontrollhoz képest a felső réteg CaCl_2 oldható foszfor tartalma, míg a 180 kg/ha P_2O_5 trágyázás hatására már igazolhatóan nőtt a felső rétegben a CaCl_2 oldható foszfor mennyisége. Öntözés hatására minden foszfor kezelésben kimutatható mértékben nőtt a talaj CaCl_2 oldható foszfor tartalma az előző év azonos időszakához képest.

5.6.5. Az AL- és a CaCl₂-oldható P-tartalom változásának összefoglalása

A két év vizsgálati eredményeit összefoglalva megállapítható, hogy 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 P₂O₅ 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 P₂O₅ 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 P₂O₅ 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 és az előző évhez képest nagyobb kalcium-klorid oldható foszfor mennyisége egyaránt az évjárat hatására vezethető vissza. A kiugróan csapadékos évjáratban javuló oldhatósági viszonyok között, nagyobb a talajoldatba jutó foszfor mennyisége. A legnagyobb adagú foszfor kezelésben érthető módon a felső rétegben nagy mennyiségben felhalmozódott foszfor készletekből a foszfor vegyületek rossz oldhatósága ellenére is nagyobb mennyiségű foszfor képes a talajoldatba jutni.

A tartamkísérlet növekvő adagú foszfor kezeléseinek hatására az évek során fokozatosan nőtt a felső rétegek foszfor készlete. A foszfor készletek gyarapodását jól mutatta a felső rétegek AL oldható foszfortartalma, ami a kezelésekkal és a mérleg eredményekkel összhangban változott. A monokultúrával összehasonlítva, bikultúrában a 90 és 180 kg/ha P₂O₅ kezeléseknél 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 erősen eltérően változott. A különbség oka a kivonószerek jellegében és ezzel összefüggésben az általuk oldott foszfor frakció minőségében található meg. A 0,01 M CaCl₂ oldat enyhe kivonószert 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.

5.7. A termőhely talajának AL- és CaCl₂ oldható kálium tartalma

A tartamkísérlet talajának AL és CaCl₂ oldható kálium tartalmának változását négy mintavétel átlagában mutatom be. A vizsgált 0-200 cm szelvényen belül a kezeléskombinációkban csak a felső 0-40 cm rétegben változott az oldható kálium tartalom, ezért az eredmények értékelésekor minden esetben a 0-40 cm réteg oldható kálium tartalmát vettem figyelembe. A mérlegeredmények és az AL oldható kálium tartalom változása az 21. táblázatban és az 9. ábrán került összefoglalásra.

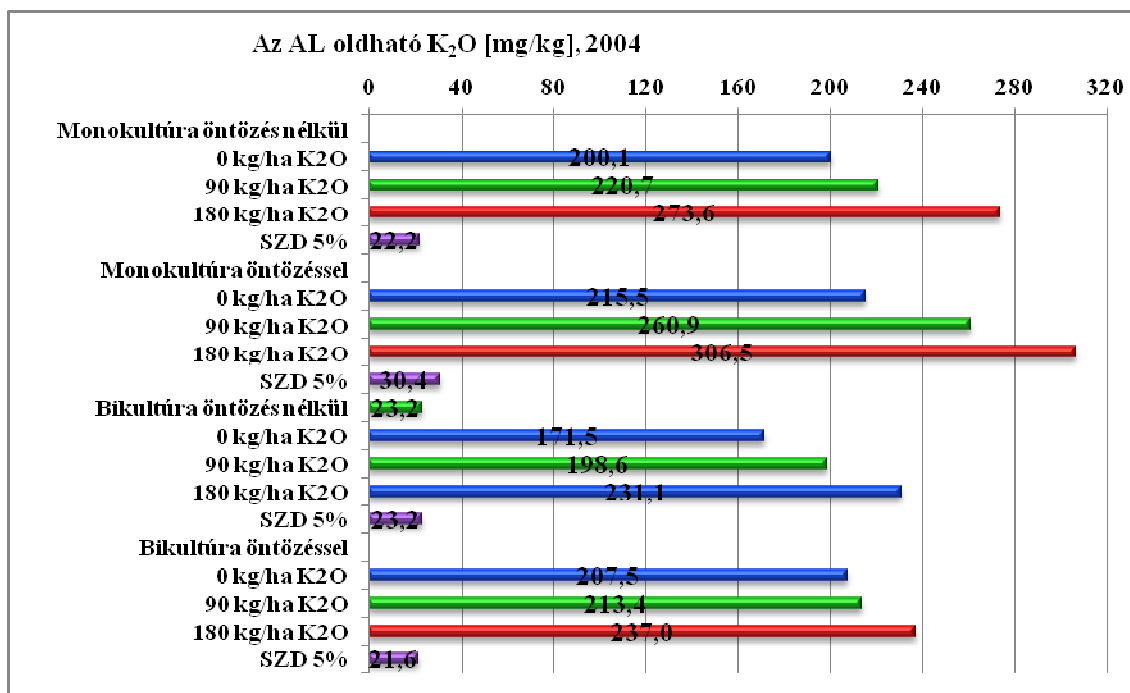
21. táblázat. Kálium mérlegek az eltérő kezelésekben

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, 1994-2004	-1 354	-953	39	-1 410	-838	148
Potenciális mérleg, 1994-2004	-	401	1 393	-	572	1 558
Egyszerűsített agronómiai mérleg, 2005	-185	-180	-121	-242	-195	-95
Potenciális mérleg, 2005	-	5	64	-	47	147
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, 1994-2004	-1 615	-1 426	-553	-1 691	-1 166	-264
Potenciális mérleg, 1994-2004	-	189	1 062	-	525	1 427
Egyszerűsített agronómiai mérleg, 2005	-167	-167	-110	-244	-191	-86
Potenciális mérleg, 2005	-	1	57	-	54	158

5.7.1. Az AL oldható kálium tartalom a 2004. évi tenyészidőszakban

5.7.1.1. Az AL oldható kálium tartalom monokultúrában, a 2004. évi tenyészidőszakban

Öntözés nélkül a kontroll parcellák MÉN-NAK (1979) szerinti kálium ellátottsága közepes, de az AL oldható kálium mennyisége megegyezik a kategória felső határértékével. A nagy negatív 11 éves egyszerűsített agronómiai mérleg mellett sem romlott a kontroll talaj kálium ellátottságának megítélése. A 90 kg/ha K₂O kezelések hatására nőtt a felső réteg AL-K tartalma a kálium ellátottság javult, de a különbség a kontrollhoz képest még nem szignifikáns. A 11 éves egyszerűsített agronómiai mérleg a 90 kg/ha K₂O adag mellett is negatív, míg a kontroll kálium szolgáltatását is tartalmazó potenciális mérleg nagy pozitívumot mutat. A felső rétegben oldható kálium mennyiségének a vártnál kisebb mértékű növekedése arra utal, hogy a kijuttatott műtrágyát a kukorica jól hasznosította. A 180 kg/ha K₂O kezelés hatására tovább nő a vizsgált szelvény AL-K tartalma és a különbség mind a kontrollhoz, mind a 90 kg/ha K₂O kezeléshez viszonyítva egyaránt szignifikáns. A talaj kálium ellátottsága továbbra is a jó kategóriába esik, ugyanakkor az AL oldható kálium tartalom közelít a kategória felső határához. A 11 éves egyszerűsített agronómiai mérleg csupán kismértékben pozitív, ami semmiképpen nem támasztja alá a felső réteg kálium készletének ilyen mértékű növekedését. A 11 éves potenciális mérleg viszont nagy pozitívumot mutat, melynek megfelelően jelentős mértékben növekszik a felső rétegben az AL oldható kálium mennyisége. Másrészt a kukorica mélyre hatoló gyökérzete révén a mélyebb rétegek kálium készletét is képes hasznosítani, ezért a felső rétegbe kijuttatott műtrágya nem hasznosuló része jelentősen növeli a felső rétegben az AL oldható kálium mennyiségét.



9. ábra. A talaj 0-40 cm rétegének AL oldható kálium tartalma az eltérő kezelésekben, 2004. év.

Az öntözött kontroll parcellák talajának kálium ellátottsága jó. Az öntözés hatására a negatívabb agronómiai mérleg mellett, ha nem is szignifikánsan, de nőtt a felső réteg AL oldható kálium tartalma az öntözetlen kontrollhoz képest. A 90 kg/ha kálium kezelés tartamhatásaként igazolhatóan nőtt a talaj AL oldható kálium tartalma. Az öntözés nélküli kezeléssel összevetve, az öntözés hatásaként szignifikánsan nőtt a felső rétegben az AL oldható kálium mennyisége, annak ellenére, hogy öntözés mellett az agronómiai és a potenciális mérleg is jelentősen negatívabb, mint öntözés nélkül. A 180 kg/ha K₂O trágyázás tartamhatásaként tovább nőtt a felső réteg AL oldható kálium tartalma, a talaj kálium ellátottsága elérte az igen jó kategóriát. Az öntözetlen azonos adagú kezeléshez képest az öntözés mellett szignifikánsan nőtt a felső réteg AL-K tartalma. Az öntözött kísérletek minden kezelésében megfigyelhető a talaj AL-K tartalmának növekedése az öntözés nélküli kezelésekhöz képest. Öntözött viszonyok között az agyagásványok rétegei egymástól távolabb kerülnek, melynek következményeként megnő a kicserélhető kálium mennyisége, ezért egyrészt nő talaj AL oldható kálium tartalma az öntözetlen kezelésekhöz képest, másrészt a javuló kálium ellátottság miatt a kijuttatott műtrágya nem hasznosuló része még nagyobb mértékben felhalmozódik a felső rétegben.

5.7.1.2. Az AL oldható kálium tartalom bikultúrában, a 2004. évi tenyészidőszakban

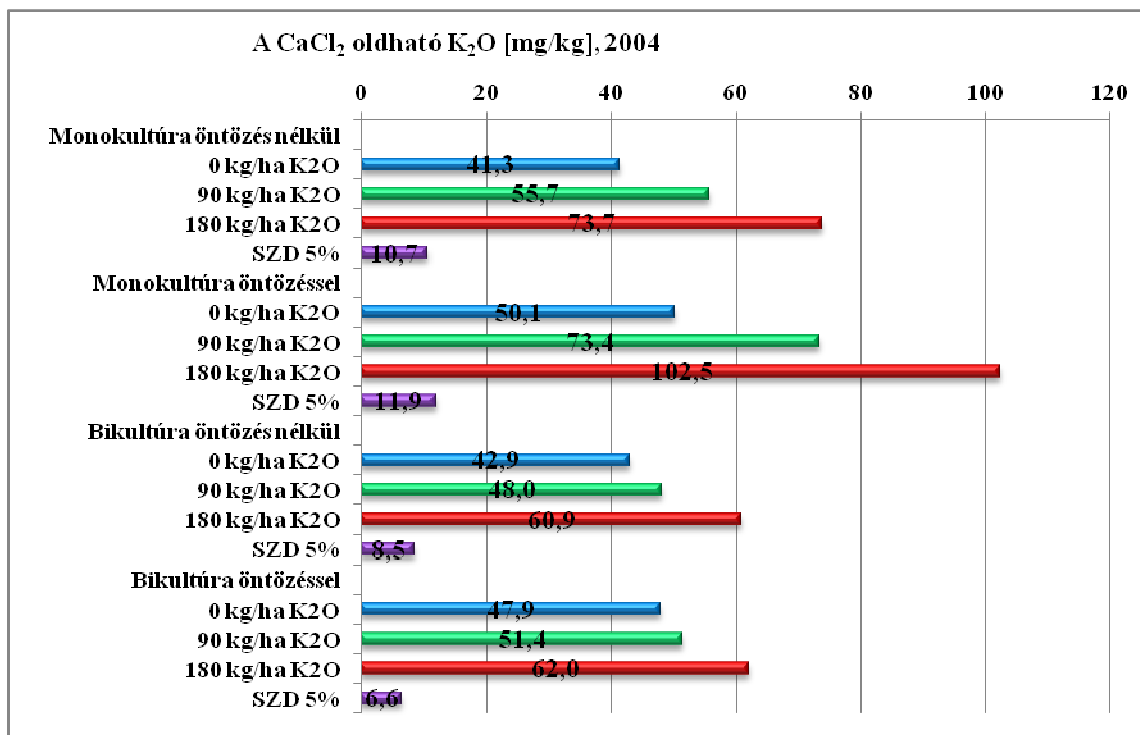
Öntözés nélkül a bikultúra kontroll talajának kálium ellátottsága közepes. A 90 kg/ha K_2O kezelések hatására nőtt a talaj AL-K tartalma, de a különbség nem volt szignifikáns és a kálium ellátottság megítélése sem változott. Szembetűnő, hogy a monokultúra azonos kezeléséhez képest csökken a felső rétegben az AL-K mennyisége annak ellenére, hogy bikultúrában pozitívabb az egyszerűsített agronómiai és a potenciális mérleg egyaránt, mint monokultúrában. A 180 kg/ha K_2O kezelés tartamhatásaként tovább nőtt a vizsgált szelvény AL-K tartalma, ami alapján a talaj káliummal jól ellátott. A különbség mind a kontrollhoz, mind a 90 kg/ha K_2O kezeléshez viszonyítva egyaránt szignifikáns volt. A monokultúra megegyező kezeléséhez viszonyítva, bikultúrában a pozitívabb mérlegek ellenére csökken a felső réteg AL oldható kálium tartalma. A különbség két folyamat eredőjeként alakulhatott ki. Bikultúrában az őszi búza gyökérzete révén a felső rétegek kálium készletét hasznosítja ezzel csökkentve annak AL oldható kálium tartalmát. A kukorica mélyre hatoló gyökérzete révén a mélyebben fekvő rétegekből is jelentős mennyiségű káliumot képes felvenni, ezért kevésbé csökken a felső rétegben az AL-K mennyisége. Mindezek arra hívják fel a figyelmet, hogy kukorica monokultúrában a káliummal jól ellátott talajok esetén a felső rétegben érvényesülő kálium trágyázás esetén a kijuttatott műtrágya kevésbé hasznosul, mint bikultúrában. Ezért a kálium adagok növelésével monokultúrában, nagyobb mértékben nő a felső rétegekben az oldható kálium mennyisége. Kukorica monokultúrában a látóképi mészlepedékes csernozjom talajon a 90 kg/ha K_2O kezelés már meghaladja a kukorica műtrágya igényét, amit jól mutat, hogy a műtrágya nem hasznosuló mennyisége növelte a felső réteg AL oldható kálium tartalmát. 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.

Az öntözött bikultúra kontroll talajának kálium ellátottsága közepes. A 90 kg/ha K_2O kezelésben nem nőtt a talaj AL-K tartalma a kontrollhoz képpes. Ez egyrészt arra hívja fel a figyelmet, hogy a kontroll parcella K-ellátottsága nem csökkent a tartamkísérletben, másrészt arra, hogy a 90 kg/ha K_2O trágyázás bikultúrában jól érvényesült, hiszen a monokultúra azonos kezelésében nagymértékben nőtt a felső rétegben az AL oldható kálium mennyisége. A 180 kg/ha K_2O trágyázás talaja jó ellátottságú, AL oldható kálium tartalma szignifikánsan nagyobb a kontroll és a 90

kg/ha K₂O kezelésekben mért AL-K tartalomnál. A monokultúra azonos kezeléséhez viszonyítva, bikultúrában sokkal kisebb a felső rétegben az AL oldható kálium mennyisége. A bikultúra 90 kg/ha és 180 kg/ha K₂O kezeléseinek felső rétegében a monokultúrához képest kisebb AL-oldható káliumtartalom elsősorban annak köszönhető, hogy monokultúrában a műtrágya nem hasznosuló mennyisége a felső rétegben felhalmozódik.

5.7.2. A CaCl₂ oldható kálium tartalom a 2004. évi tenyészidőszakban

A termőhely talajának CaCl₂ oldható kálium tartalmát az eltérő kezeléskombinációkban összefoglalásul a 10. ábrán mutatom be.



10. ábra: A talaj 0-40 cm rétegének 0,01 M CaCl₂ oldható kálium tartalma az eltérő kezelésekben, 2004. év.

5.7.2.1. A CaCl₂-oldható kálium tartalom monokultúrában, a 2004. évi tenyészidőszakban

Öntözés nélkül, kukorica monokultúrában a növekvő adagú trágyázás hatására minden kezelésben szignifikánsan nőtt a felső réteg kalcium-klorid oldható kálium tartalma. A 0,01 M CaCl₂ kivonószer érzékenyen jelezte a növekvő adagú kálium trágyázás hatását a talaj könnyen oldható és kicserélhető kálium tartalmára. A

kontrollban mért $\text{CaCl}_2\text{-K}$ és AL-K mennyiségét 100 %-nak véve, a növekvő kezelések hatására relatíve nagyobb mértékben nőtt a talaj kalcium-klorid 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 kalcium-klorid oldható kálium tartalomhoz képest. 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 lekötődve tartalékként áll rendelkezésre. Tehát az ammónium-laktát kivonatban megjelenő kálium mennyiségének egy része a növény számára közvetlenül nem hozzáférhető tartalékkészletekből származik. A kalcium-klorid 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.

A monokultúra *öntözött* parcelláiban a növekvő adagú kálium trágyázás hatására szignifikánsan nőtt a felső rétegek CaCl_2 oldható kálium tartalma. A $\text{CaCl}_2\text{-K}$ tartalom relatív növekedése öntözés mellett is nagyobb volt, mint az AL -oldható kálium tartalomé. Öntözés mellett negatívabb az egyszerűsített agronómia és a potenciális mérleg egyaránt, mint öntözés nélkül, mégis az AL oldható kálium mennyiségéhez hasonlóan a CaCl_2 oldható kálium mennyisége nagyobb öntözés mellett, mint öntözés nélkül. Öntözött viszonyok mellett a nedvesebb talajviszonyok mellett több kálium képes a talajoldatba jutni egyrészt az ioncsere egyensúly eltolódása révén, másrészt pedig a nedvesség hatására táguló agyagásványok nagyobb felületen teszik lehetővé a kálium kicserélődését. Ezek a hatások együttesen növelték a felső rétegekben oldható kálium mennyiségét a nagyobb növényi felvétel ellenére. Az öntözött monokultúra növekvő adagú kálium kezeléseiben egyre nagyobb mértékben felhalmozódott a kálium a felső rétegekben. A felhalmozódó kálium egyrészt növeli a tartalékkészletek, másrészt a könnyen kicserélhető és oldható formák mennyiségét. Az AL-K tartalom változása jól mutatta a kálium trágyázás tartamhatását, a kálium készletek növekedését. A látóképi termőhelyi adottságokból adódóan a tartalékkészletekből könnyen és gyorsan képes mobilizálódni a kálium könnyen kicserélhető és oldható formákká. Ez egyrészt megmutatkozik abban, hogy az eltérő kezeléskombinációk kontrolljainak felső rétegében nem különbözik szignifikánsan a felső rétegek 0,01 M CaCl_2 oldható kálium tartalma, holott az agronómiai mérlegek között jelentős különbségek vannak. Másrészt a

növekvő adagú kálium trágyázás hatására relatíve nagyobb mértékben nő a 0,01 M $\text{CaCl}_2\text{-K}$ mennyisége, mint az AL oldható káliumé, ami azzal magyarázható, hogy a kálium kezelések hatásaként arányaiban nagyobb mértékben nő a könnyen kicserélhető és oldható formák mennyisége, mint a tartalékoké. Ebből következően a 0,01 M CaCl_2 kivonószer érzékenyen jelzi az agrotechnikai tényezők hatását a növény számára könnyen hozzáférhető kálium mennyiségére.

5.7.2.2. A CaCl_2 -oldható kálium tartalom bikultúrában, a 2004. évi tenyészidőszakban

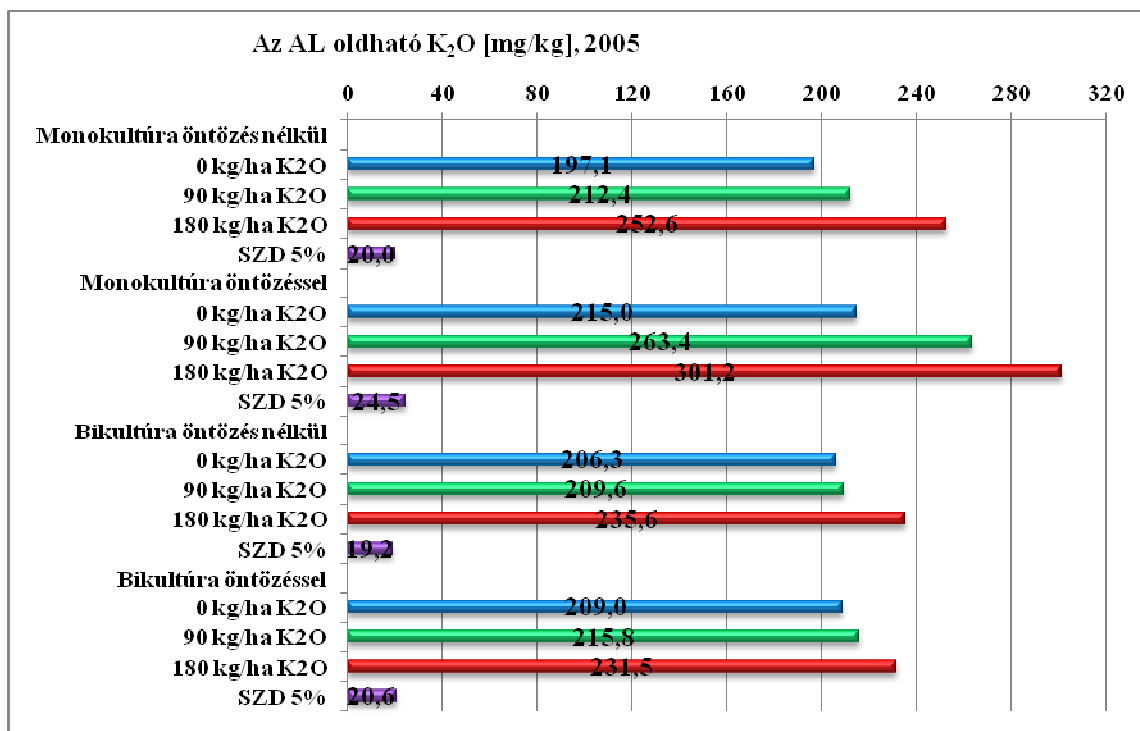
Öntözés nélkül a bikultúra és a monokultúra kontroll felső rétegének CaCl_2 oldható kálium tartalma között nem volt kimutatható különbség. A 90 kg/ha K_2O kezelés felső rétegében nőtt ugyan a CaCl_2 oldható kálium mennyisége a kontrollhoz képest, de a növekedés nem szignifikáns. A kismértékű növekedés érthető, hiszen az AL oldható kálium tartalom is alig változott a kontrollhoz képest. Bikultúrában a felső rétegbe kijuttatott 90 kg/ha kálium műtrágya jól hasznosult, a tartalékkészletek mennyisége kimutathatóan nem növekedett. Ezért nyilvánvalóan a talajoldat kálium koncentrációjában sem következett be számottevő változás. Ennek megfelelően a CaCl_2 oldható kálium mennyisége sem nőtt igazolhatóan a kontrollhoz képest. A 180 kg/ha K_2O trágyázás tartamhatásaként szignifikánsan nőtt a felső réteg CaCl_2 oldható K tartalma. A legnagyobb adagú kezelésben felhalmozódó kálium készleteknek köszönhetően nagyobb mértékben nő a talajoldatban megjelenő kálium mennyisége, mint a potenciálisan hozzáférhető tartalékkészletek mennyisége. Ezért relatíve nagyobb mértékben nőtt a felső réteg CaCl_2 oldható kálium tartalma, mint az AL oldható kálium tartalom. A monokultúra azonos kezeléséhez képest viszonyítva sokkal kisebb a felső rétegben a CaCl_2 oldható kálium mennyisége bikultúrában. A különbség oka a vetésváltás. Bikultúrában nagyobb mértékben hasznosul a felső rétegbe kijuttatott műtrágya, kevésbé halmozódik fel a tartamkísérlet felső rétegében a kálium, ezért kisebb bikultúrában mind az AL, mind a CaCl_2 oldható kálium tartalom.

Öntözés mellett bikultúrában a felső réteg talajának kalcium-klorid oldható kálium tartalma a növekvő adagú trágyázás hatására hasonlóképpen változott, mint öntözés nélkül. A 90 kg/ha kálium adag bikultúrában jól hasznosult, ezért egyedül a 180 kg/ha K_2O kezelés növelte meg szignifikánsan a felsőréteg CaCl_2 oldható kálium tartalmát. A kontroll kezelések közül az öntözött bikultúrában volt legnegatívabb az

egyszerűsített 11 éves agronómiai mérleg, mégsem csökkent sem az AL- sem a CaCl_2 oldható kálium tartalom a felső rétegben. Ez rámutat arra, hogy a termőhely közepes-jó kálium ellátottsága kiváló káliumszolgáltató képességgel párosul. A 90 és 180 kg/ha K_2O kezelésekben bikultúrában a vetésváltásból adódóan, igazolhatóan kisebb a felső réteg CaCl_2 oldható kálium tartalma, mint monokultúrában. Bikultúrában, a monokultúránál tapasztaltakkal ellentétben, öntözés hatására nem nőtt a felső rétegben a CaCl_2 oldható kálium mennyisége az öntözetlen kezelésekhez képest. Bikultúrában öntözés mellett nagyobb termések képződtek, mind a 11 éves agronómiai és potenciális mérleg sokkal negatívabb, mint öntözés nélkül. Ez azt jelenti, hogy az öntözött bikultúrában kijuttatott műtrágya nagyobb részben hasznosul, ezért kevésbé nő a felső rétegben a kálium mennyisége, mint öntözés nélkül. Ennek megfelelően öntözés mellett kisebbnek kellett volna lennie a felső réteg CaCl_2 oldható kálium tartalmának, de a várt csökkenést az öntözés kompenzálta.

5.7.3. Az AL oldható kálium tartalom a 2005. évi tenyészidőszakban

A termőhely talajának AL oldható kálium tartalmát az eltérő kezeléskombinációkban összefoglalásul az 11. ábrán mutatom be.



11. ábra. A talaj 0-40 cm rétegének AL oldható kálium tartalma az eltérő kezelésekben, 2005. év.

5.7.3.1. Az AL oldható kálium tartalom monokultúrában, a 2005. évi tenyészidőszakban

Az öntözetlen kukorica monokultúra kontroll parcelláiban a nagy negatív agronómiai mérleg ellenére sem csökkent a felső réteg AL oldható kálium tartalma az előző évhez viszonyítva. A termőhely elegendő káliumot tudott szolgáltatni a kontroll termések kialakulásához, anélkül, hogy a felső rétegben csökkent volna az AL oldható kálium mennyisége. A 90 kg/ha K₂O kezelések hatására nőtt az AL-K tartalom a kontrollhoz képest, de a különbség nem szignifikáns. Ugyanakkor szembevetendő, hogy a még mindig nagy negatívumot mutató 12 éves egyszerűsített agronómiai mérleg mellett növekedett a felső rétegben az AL oldható kálium mennyisége. Ami azt jelenti, hogy a termőhely eredendően jó káliumszolgáltatása mellett a 90 kg/ha K₂O kezelés monokultúrában már meghaladja a kukorica kálium igényét, a műtrágya feleslege növeli a felső rétegek kálium készletét. A 180 kg/ha K₂O trágyázás eredményeként tovább nő a 0-40 cm réteg AL-K tartalma és a különbség mind a kontrollhoz, mind a 90 Kg/ha K₂O kezeléshez viszonyítva egyaránt szignifikáns. Ebben a legnagyobb adagú kezelésben jelentős a túltrágyázás, a műtrágya nem hasznosuló része felhalmozódik a felső rétegben. A káliumkészlet nagymértékű gyarapodásával együttesen nőtt az AL oldható kálium mennyisége is. A vizsgált két év azonos kezeléseiben mért AL oldható kálium tartalmak között nincs igazolható különbség.

Az *öntözött* kontroll parcellák talajának kálium ellátottsága jó. Az öntözés hatására a negatívabb agronómiai mérleg ellenére is az előző évhez hasonlóan, ha nem is szignifikánsan, de nőtt a felső réteg AL oldható kálium tartalma az öntözetlen kontrollhoz képest. A 90 kg/ha K₂O kezelés tartamhatásaként nőtt a talaj AL oldható kálium tartalma a kontrollhoz képest, a különbség szignifikáns. Öntözés mellett nagyobb mértékben nőtt a felső réteg AL kálium tartalma, mint öntözés nélkül, holott öntözés mellett az agronómiai és a potenciális mérleg is jelentősen negatívabb, mint öntözés nélkül. A 180 kg/ha K₂O trágyázás tartamhatásaként tovább nőtt a felső réteg AL oldható kálium tartalma, a talaj kálium ellátottsága elérte az igen jó kategóriát. Az öntözetlen azonos adagú kezeléshez képest az öntözés mellett szignifikánsan nőtt a felső réteg AL-K tartalma. Az öntözött kísérletek minden kezelésében megfigyelhető a talaj AL-K tartalmának növekedése az öntözés nélküli kezelésekhöz képest. Feltehetően a tartamkísérlet öntözött parcelláinak talaja a leszivárgó öntözővíz miatt a mélyebb rétegekben is átnedvesedik, ami jelentősen elősegíti a kukorica kálium felvételét

ezekből a mélyebb rétegekből. Ezért ilyen körülmények mellett a felső rétegbe nagyobb mennyiségben kijuttatott kálium műtrágya kevésbé hasznosul, mint öntözés nélkül és a kálium a felső rétegben felhalmozódik. Emellett öntözött viszonyok között az agyagásványok rétegei egymástól távolabb kerülnek, melynek következményeként megnő a kicserélhető kálium mennyisége, ezért eleve nő talaj AL-oldható kálium tartalma az öntözetlen kezelésekhez képest.

5.7.3.2. Az AL oldható kálium tartalom bikultúrában, a 2005. évi tenyészidőszakban

Minden második évben, így 2005-ben is a bikultúra parcellái enyhe lejtésű területen fekszenek, melynek mikro domborzata is változatos. A területre a vizsgált évben lezúduló csapadék, a kijuttatott kálium műtrágya parcellán belüli mennyiségére is hatással volt, továbbá a kísérlet területének jelentős részén tócsákat képezve megállt a víz. Feltehetően e hatásoknak tulajdonítható, hogy a negyedik mintavételben mért vizsgálati eredmények adatai kiugróak. Ezért a 2005 év bikultúra talajában a három mintavételi időpont átlagát értékeltem.

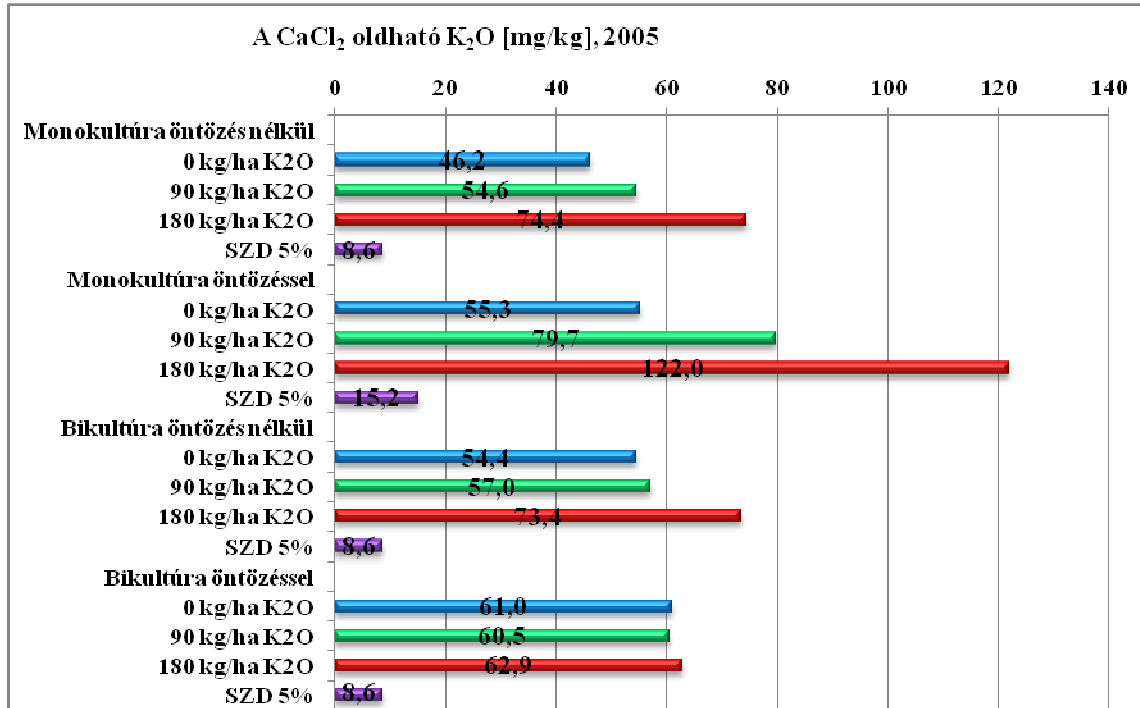
Öntözés nélkül a bikultúra kontroll parcellák felső rétegének AL oldható kálium tartalma 2005-ben nem különbözött szignifikánsan egyik kontrollban mért AL oldható kálium tartalomtól sem. Az előző évhez képest látszólag nőtt a kontroll talajában az AL oldható kálium mennyisége. Ez nyilvánvalóan nem lehetséges, hiszen 2005-ben lényegesen negatívabb az egyszerűsített agronómiai mérleg, mint az előző évben. A 2004 évi öntözetlen bikultúra kontrollját kivéve, mindkét évben 200 mg/kg közelében változott valamennyi kontroll kezelés talajának AL oldható kálium tartalma. Ezért az öntözetlen kontrollban sem arról van szó, hogy nőtt volna az AL-oldható kálium tartalom, hanem a 2004 évi kontrollkezelésben kapott AL oldható kálium tartalom volt némileg kisebb a vártnál. A 90 kg/ha K_2O kezelés hatására nem nőtt a talaj AL-K tartalma a kontrollhoz képest, holott a monokultúra azonos kezelésében nagymértékben nőtt a felsőrétegben az AL oldható kálium mennyisége. A 180 kg/ha K_2O trágyázás tartamhatásaként már szignifikánsan nagyobb a felső réteg AL oldható kálium tartalma, a kontroll és a 90 kg/ha K_2O kezeléshez képest. A monokultúra 90 és 180 kg/ha K_2O kezeléseihez képest bikultúrában a pozitívabb mérlegek ellenére mégis sokkal kisebb a felső réteg AL oldható kálium tartalma, ami két folyamat eredőjeként alakulhatott ki. Bikultúrában az őszi búza gyökérzete révén a felső rétegek kálium készletét hasznosítja,

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-K mennyisége. Mindezek felhívják a figyelmet arra, hogy ugyanaz a műtrágya adag másképp érvényesül monokultúrában, mint bikultúrában, a vetésforgók a kijuttatott műtrágyát az adott termőhelyi viszonyok mellett másképp hasznosítják. A káliumadagok növelésével monokultúrában, nagyobb mértékben nőtt a felső rétegben az oldható kálium mennyisége. A 2005 évi eredmények megerősítették az előző évben tett megállapításokat, miszerint a látóképi mészlepedékes csernozjom talajon a 90 kg/ha K_2O kezelés már meghaladta a monokultúrában termesztett kukorica műtrágya igényét, ezért jelentősen 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.

Öntözés mellett a 12 éves egyszerűsített agronómiai mérleg bikultúrában sokkal negatívabb, még sincs különbség az öntözött és az öntözetlen bikultúra kontroll talajának AL oldható kálium tartalma között. A termőhely talaja a kontrollban képződött kiemelkedő terméshez szükséges kálium mennyiségét képes volt úgy szolgáltatni, hogy eközben nem csökkent a felső rétegben az AL oldható kálium mennyisége a többi kontrollhoz viszonyítva. A 90 kg/ha K_2O kezelésben nem nőtt a talaj AL-K tartalma a kontrollhoz képest, a kijuttatott műtrágya jól hasznosult. A 180 kg/ha K_2O trágyázás tartamhatásaként szignifikánsan nőtt a felső réteg AL oldható kálium tartalma a kontrollhoz és a 90 kg/ha K_2O kezeléshez viszonyítva, a növekedés mértéke viszont sokkal kisebb, mint a monokultúra azonos kezelésében. A bikultúra 90 kg/ha és 180 kg/ha K_2O kezeléseinek felső rétegében a monokultúrához képest kisebb AL-oldható káliumtartalom a korábban már részletezett okokkal magyarázható. Egyrészt a bikultúra őszi búza szakaszában elsősorban a felső rétegek kálium készlete hasznosul, másrészt monokultúrában a kukorica mélyre hatoló gyökérzete révén a mélyebben fekvő rétegekből is jelentős mennyiségű káliumot képes felvenni, ezért kevésbé csökken a felső rétegben az AL-K mennyisége, ezért a műtrágya nem hasznosuló mennyisége a felső rétegben felhalmozódik.

5.7.4. A CaCl₂ oldható kálium tartalom a 2005. évi tenyészidőszakban

A termőhely talajának CaCl₂ oldható kálium tartalmát az eltérő kezeléskombinációkban összefoglalásul az 12. ábrán mutatom be.



12. ábra: A talaj 0-40 cm rétegének 0,01 M CaCl₂ oldható kálium tartalma az eltérő kezelésekben, 2005. év.

5.7.4.1. A CaCl₂-oldható kálium tartalom monokultúrában, a 2005. évi tenyészidőszakban

Az öntözés nélküli kontroll parcellák felső rétegének CaCl₂ oldható kálium tartalma az egyre negatívabb kumulált egyszerűsített agronómiai mérleg mellett sem csökkent az előző évhez képest. A termőhely a 8 t/ha-t meghaladó szemtermések kialakulásához szükséges kálium mennyiségét úgy szolgáltatta, hogy eközben a talaj könnyen oldható és kicserélhető kálium tartalma nem változott. Ez azt jelenti, hogy a látóképi mészlepedékes csernozjom talajon a kálium tartalékok könnyen és gyorsan mobilizálódnak, ezért ezen a termőhelyen kálium trágyahatásokra nem lehet számítani, a termőhely talaja biztosítani tudja a termesztett kultúra kálium igényét. A 90 kg/ha K₂O kezelés hatására igazolhatóan nőtt a felső rétegben a CaCl₂ oldható kálium mennyisége a negatív kumulált mérleg ellenére is. A 180 kg/ha K₂O trágyázás tovább növelte a felső rétegek CaCl₂ oldható kálium tartalmát. A növekvő adagú

káliumkezelésekben a túltrágyázás fokozódásával a felső réteg CaCl_2 oldható kálium tartalma relatíve nagyobb mértékben nőtt a kontrollhoz képest, mint az AL-K tartalom. Az eltérés igazolja, hogy 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 két módszer egymást kiegészítve egzakt módon képes jellemezni a termőhely kálium ellátottságát és káliumszolgáltatását.

Öntözés mellett a monokultúra kontroll parcelláiban az egyre negatívabb kumulált agronómiai mérleg ellenére sem csökkent a felső rétegben a CaCl_2 oldható kálium mennyisége. A 90 és 180 kg/ha K_2O kezelések hatására szignifikánsan nőtt a felső rétegek CaCl_2 oldható kálium tartalma. Az előző évvel megegyezően a káliummal trágyázott öntözött kísérletekben szignifikánsan nagyobb volt a felső réteg CaCl_2 oldható kálium tartalma, mint öntözés nélkül, annak ellenére, hogy öntözés mellett negatívabb a kumulált egyszerűsített agronómia és a potenciális mérleg egyaránt. A tartamkísérlet öntözött talajában nyilvánvalóan nem lehet nagyobb a káliumkészletek mennyisége, mint öntözés nélkül, mégis öntözés mellett mind az AL, mind a CaCl_2 oldható kálium mennyisége jelentősen növekszik. Öntözött viszonyok mellett a nedvesség hatására táguló agyagásványok nagyobb felületen teszik lehetővé a kálium kicserélődését és a nedvesebb talajviszonyok mellett az ioncsere egyensúly eltolódása révén több kálium képes a talajoldatba jutni. Ezért öntözés mellett nagyobb a potenciálisan hozzáférhető és a könnyen oldható és kicserélhető kálium mennyisége. A növekvő adagú kálium trágyázás hatására öntözés mellett is relatíve nagyobb mértékben nőtt a 0,01 M CaCl_2 -K mennyisége, mint az AL oldható káliumé, ami azzal magyarázható, hogy a kálium kezelések és az öntözés hatásaként arányaiban nagyobb mértékben nő a könnyen kicserélhető és oldható formák mennyisége, mint a tartalékoké.

5.7.4.2. A CaCl_2 oldható kálium tartalom bikultúrában, a 2005. évi tenyészidőszakban

A bikultúra kukorica szakaszának parcellái 2005-ben értelemszerűen más területre estek, mégis az eltérő kezeléskombinációkban kapott eredmények megegyeznek az előző évben kapottakkal. Ez a tény megerősíti az előző évben tett megállapításokat.

Öntözés nélkül a kontroll talaj CaCl_2 oldható tartalma nem különbözik szignifikánsan a többi kontrolltól. A 90 kg/ha K_2O kezelés felső rétegének CaCl_2 oldható kálium tartalma és a kontroll között nincs kimutatható különbség. Bikultúrában a talaj felső rétegéből több káliumot vesz fel az előző évben termesztett őszi búza, ezért a kukorica alá kijuttatott 90 kg/ha kálium műtrágya jól hasznosult. A 180 kg/ha K_2O trágyázás tartamhatásaként a pozitív kumulált agronómiai és potenciális mérleggel egyezően szignifikánsan nőtt a felső réteg CaCl_2 oldható K tartalma. Ugyanakkor a CaCl_2 oldható kálium mennyisége nagyobb mértékben növekedett, mint az AL oldható kálium mennyisége, mert a legnagyobb adagú kezelésben felhalmozódó kálium készleteknek köszönhetően nagyobb mértékben nő a talajoldatban megjelenő kálium mennyisége, mint a potenciálisan hozzáférhető tartalékkészletek mennyisége.

A kontroll kezelések közül az *öntözött* bikultúrában legnegatívabb a kumulált agronómiai mérleg, ennek ellenére nem csökkent sem az AL- sem a CaCl_2 oldható kálium tartalom a felső rétegben. A termőhely talaja képes volt biztosítani a kiemelkedő mennyiségű szemtermés kálium igényét. A 90 kg/ha K_2O kezelés és a kontroll CaCl_2 -K tartalma között nincs kimutatható különbség, ami az előző évben is tapasztalt hatások együttes eredménye. A kontroll talajának jó kálium ellátottságának és kiváló káliumszolgáltató képességének köszönhetően nem csökken a CaCl_2 oldható kálium tartalma. A 90 kg/ha K_2O kezelésben pedig a tartamkísérlet őszi búza szakaszaiban jobban hasznosul a felső rétegben érvényesülő kálium műtrágya, így ebben a rétegben nem nő kimutatható mértékben sem az AL sem a CaCl_2 oldható kálium tartalom. A 180 kg/ha K_2O trágyázás hatására nőtt a felső rétegben a CaCl_2 oldható kálium mennyisége, ugyanakkor a felső réteg CaCl_2 -K tartalma fele akkora, mint a monokultúra azonos kezelésében. Monokultúrában a kukorica a mélyebb rétegekből is képes felvenni a káliumot, így a kijuttatott műtrágya nem hasznosuló része jelentősen növeli a felső rétegben a potenciálisan hozzáférhető és a könnyen oldható és kicserélhető kálium mennyiségét. A feltételezést megerősíti, hogy bikultúrában a 180 kg/ha K_2O kezelésben

mindkét öntözési szinten pozitívabb a kumulált egyszerűsített agronómiai és a kontroll kálium szolgáltatását figyelembe vevő potenciális mérleg, mint monokultúrában. Ez alapján a bikultúra felső rétegében éppen nagyobbak kellett volna lennie az AL és a CaCl_2 oldható kálium mennyiségének egyaránt. Az ellenkező eredmény egyetlen lehetséges előzőekben leírt magyarázata az, hogy monokultúrában a kukorica a mélyebb rétegekből jelentős mennyiségű káliumot képes felvenni ezért a felső rétegben nagyobb a műtrágya nem hasznosuló aránya monokultúrában, mint bikultúrában.

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

A tartamkísérelt két évének különböző kezeléskombinációiban, a felső rétegek AL és CaCl_2 oldható kálium tartalmát 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. 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 vetéscserék 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 természetesen 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. 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 leköttődve 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 megítélés 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 növénytáplálás 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.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Kutató munkámat a Debreceni Egyetem Látóképi Növénytermesztési Kísérleti telepén †Ruzsányi László professzor úr által alapított szántóföldi tartamkísérlet 2004. és 2005. évében vett talaj- és növényminták elemzése alapján végeztem. A többletanyag tartamkísérletben három vetésváltási modell, öt különböző tápanyag kezelés került beállításra három öntözési szinten. Vizsgálataimat kukorica monokultúrában és búza, kukorica bikultúra kukorica szakaszában végeztem, a műtrágyázatlan kontroll a 120:90:90 és a 240:180:180 (N:P₂O₅:K₂O, kg/ha) kezelésekből, öntözés nélkül és öntözés mellett (2x50 mm). A termőhely talaja löszön képződött, mély humuszréteggű alföldi mészlepedékes csernozjom talaj. A kutató munka célja volt a kritikus termesztéstechnológiai elemek, mint az öntözés, tápanyagellátás, vetésváltás és a termőhely interakciójának vizsgálata elsősorban a talaj oldható tápelem tartalmának hagyományos és új módszerekkel történő meghatározásán keresztül. További célként tűztem ki megvizsgálni annak lehetőségét, hogy a hazai szaktanácsadási gyakorlatban a termőhely tápelem ellátottságának meghatározására alkalmazott hagyományos módszerekkel kapott eredmények pontosabbá tehető-e új kiegészítő módszerek segítségével. A felvetés oka, hogy a termőhely foszfor és kálium ellátottságának meghatározására a hazai gyakorlatban alkalmazott ammónium-laktát erélyes kivonószer, ezért sokkal nagyobb mennyiségben vonja ki a tápelemeket a talajból, mint amennyi valójában a termesztett kultúra számára rendelkezésre állna a tenyészidőszakban. Hasonlóképpen a humusztartalom meghatározása a termőhely nitrogén ellátottságának megítélésére ma már önmagában kevés információt nyújt. A műtrágyázási gyakorlattól és a termőhely nitrogénszolgáltató képességétől függően a növénytermesztés szempontjából meghatározó talajszelvényen belül akár jelentős mennyiségű nitrát is lehet, ami befolyásolja a kijuttatandó műtrágya mennyiségét. Mindezek miatt a fenntartható és környezetkímélő gazdálkodás szempontjából fontos lehet a termőhely tápanyag ellátottságának hagyományos módszerek mellett új kiegészítő módszerekkel történő meghatározása is. A célkitűzéseknek megfelelően a termőhely talajának oldható kálium és foszfor tartalmának vizsgálatára a hagyományos módszerek közül a hazai szaktanácsadási rendszerek alapját képező ammónium-laktát-acetsav (AL) módszert választottam, míg hazai vonatkozását tekintve új módszerként a 0,01 M kalcium-klorid kivonószer alkalmaztam. A termőhely nitrogén ellátottságának és nitrogén forgalmának vizsgálata során a multielemes 0,01 M kalcium-klorid

kivonószerral meghatároztam a kísérlet talajában a könnyen oldható és oxidálható szerves nitrogén frakció és a szervesetlen nitrogén frakciók (NO_3^- -N, NH_4^+ -N) mennyiségét.

A tartamkísérletben vizsgált két év eredményei egyértelműen igazolták, hogy a trágyázás a vetésváltás és az öntözés jelentős hatással voltak a termőhely tápanyag ellátottságára és tápanyag-szolgáltató képességére. Összefoglalóan a következő fontosabb megállapítások tehetők.

A termőhely nitrogén ellátottságával és nitrogénszolgáltató képességével összefüggő eredmények:

- A talaj 0,01 M CaCl_2 oldható nitrát tartalmát és az egyszerűsített agronómiai mérlegszámításokat összevetve igazoltam, hogy a termőhely talajának rendkívül jó a N-szolgáltató képessége, ami jelentősen befolyásolta a kijutatott nitrogén műtrágya érvényesülését és a környezetre kifejtett hatását.
- A látóképi mészlepedékes csernozjom talajon a 120 kg/ha N kezelésekben szignifikánsan nőtt a termés a kontrollhoz képest, ugyanakkor már kimutatható a nitrát felhalmozódása a 0-200 cm rétegben. Ezért ezen a termőhelyen a 120 kg/ha nitrogén adagot meghaladó nitrogénadagok nem indokoltak sem monokultúrában, sem bikultúrában, alkalmazásuk komoly környezeti kockázatot jelent és jelentős N-hatóanyag veszteséggel kell számolni.
- A 240 kg/ha nitrogén adag hatására olyan mértékben nőtt a vizsgált szelvény nitrát tartalma, hogy több évjáratban is termésdepressziót okozott. A felhalmozódott nitrát mennyisége konkrét környezeti veszélyt jelent.
- Igazoltam, hogy az öntözés hatására és a csapadékos évjáratban a mineralizáció kedvezőbb környezeti feltételeinek köszönhetően fokozódott a nitrát nitrogén feltáródása, javult a szelvényen belül a természetes nitrogén ellátottság.
- Kimutattam, hogy öntözött viszonyok mellett és csapadékos évjáratban a látóképi termőhelyen gyors a nitrát lemosódása, számottevő a növény igényét meghaladó N-hatóanyag veszteség.
- Megállapítottam, hogy a tartamkísérletben alkalmazott nitrogén adagok mellett a vetésváltás hatással volt a szelvény nitrát nitrogén tartalmára, bikultúrában több nitrát nitrogén halmozódott fel a 100-200 cm-es rétegben.

- Vizsgálataim szerint a talaj felső rétegében található könnyen mobilizálható szerves N-frakció mennyiségét a termőhelyi adottságok és a mineralizáció feltételei határozzák meg, ezért elsősorban a termőhely N-szolgáltatásának jellemzésére alkalmas, a vizsgált tényezők közül mennyisége csak a legnagyobb N-kezelés hatására növekedett igazolhatóan.
- A mérési adatok megerősítették, hogy az ammónium-nitrogén mennyisége a talaj adszorpciós viszonyaival hozható összefüggésbe, legnagyobb mennyiségben a humuszos rétegben halmozódik fel. A vizsgált agrotechnikai tényezőknek nem volt igazolható hatása a 0,01 M CaCl₂ oldható NH₄-N frakció mennyiségére.
- Bizonyítottam hogy a talaj 0,01 M CaCl₂ oldható nitrogén frakcióinak mennyisége alkalmas a talaj N forgalmának jellemzésére és nyomon követésére az eltérő évjáratokban is. A termés adatok és a talajvizsgálati adatok egybevetése alapján becsülhető az optimális, környezetkímélő N-adag.
- Vizsgálataim alapján a hazai tápanyag-gazdálkodási szaktanácsadásban a termőhely nitrogén ellátottságának és nitrogénszolgáltató képességének megítélésére használt, humusztartalom meghatározásán alapuló módszer helyett, a kalcium-kloridos módszer javasolható, mely az aktuális és potenciális készleteket egyaránt jól jellemzi.

A termőhely foszfor ellátottságával és foszforszolgáltató képességével összefüggő eredmények:

- A látóképi termőhelyen a foszfor műtrágyázás hatása a felső 0-40 cm rétegben volt kimutatható. A felső rétegekben a talaj AL oldható foszfor tartalma a foszfor kezelésekkkel és a kumulált egyszerűsített agronómiai mérlegekkel összhangban változott.
- Kimutattam, hogy a vetésváltás jelentős hatással van a felső rétegbe kijuttatott foszfor műtrágya érvényesülésére. A bikultúra felső rétegében kisebb a műtrágyázásból eredő foszfor tartalom növekedése.
- A talaj foszforkészletében bekövetkező változásokat figyelembe véve a látóképi mészlepedékes csernozjom talajon a 90 kg/ha P₂O₅ adag bikultúrában a kukorica alá kijuttatva optimálisnak tekinthető, míg monokultúrában már jelentősen meghaladja a termesztett kultúra foszfor igényét.

- Az évjárat és az öntözés nem volt hatással a felső 0-40 cm rétegben az AL oldható foszfor mennyiségére.
- A tartamkísérlet eredményei alátámasztják, hogy az ammónium laktátban oldható foszfor tartalom a termőhely talajtani és klimatikus viszonyai által meghatározott körülmények között potenciálisan rendelkezésre álló tartalékkészletek mennyiségét jellemzi.
- A látóképi mészlepedékes csernozjom talajon a 90 kg/ha P₂O₅ kezelésnek, az öntözésnek és a vetésváltásnak nem volt igazolható hatása a felső réteg CaCl₂ oldható foszfor tartalmára.
- A 2005-ös rendkívül csapadékos évjárat minden kezelésben a javuló oldhatósági viszonyoknak megfelelően megnövelte a talaj kalcium-klorid oldható foszfortartalmát.
- Vizsgálataim szerint az enyhe kivonószerként ismert 0,01 M CaCl₂ oldat, a növények számára közvetlenül hozzáférhető, könnyen oldható foszforformákat képes oldatba vinni. A 0,01 M CaCl₂ egyensúlyi kivonat foszfor koncentrációja a talajoldatban az adott termőhelyi feltételek mellett megjelenő foszfor mennyiségét jellemzi.
- A kísérleti eredmények alapján megállapítható, hogy a talajok foszfor-ellátottsága az AL- és a 0,01 M CaCl₂ kivonószert együttes alkalmazásával jól jellemezhető. A kalcium-kloridos módszer a közvetlenül hozzáférhető készleteket, az AL-módszer a tartalékokat jellemzi.

A termőhely kálium ellátottságával és káliumszolgáltató képességével összefüggő eredmények:

- Mindkét évben a növekvő adagú kálium trágyázás hatására a kukorica monokultúrában nőtt a felső rétegben az ammónium-laktát és a kalcium-klorid oldható kálium mennyisége.
- A látóképi termőhely mészlepedékes csernozjom talaján kukorica monokultúra esetén a 90 kg/ha K₂O adag már meghaladja a termesztett növény igényét, a kálium a felső rétegben felhalmozódik.
- Kimutattam, hogy az őszi búza-kukorica vetésváltásban a kijuttatott kálium műtrágya jobban érvényesült, mint monokultúrában. Bikultúrában a 90 kg/ha K₂O adag optimálisnak tekinthető, ennél nagyobb mennyiségű műtrágya kijuttatása nem indokolt.

- Az eredmények igazolták, hogy öntözés mellett javul a termőhely talajának kálium szolgáltatása, amit a műtrágyaszükséglet meghatározásakor figyelembe kell venni.
- Bizonyítottam, hogy a kalcium-kloridos módszer érzékenyebben jelzi a kálium kezelések hatását a talaj könnyen kicserélhető és oldható kálium tartalmára, mint a hagyományos ammónium-laktátos módszer. A felső réteg CaCl_2 oldható tartalma a növény számára könnyen hozzáférhető kálium frakció mennyiségét jellemzi.
- Eredményeim szerint az ammónium-laktát kivonatban megjelenő kálium mennyiségének egy része a növény számára közvetlenül nem hozzáférhető tartalékkészletekből származik, az AL módszerrel a növény számára közvetlenül nem hozzáférhető, potenciális tartalékkészletek nagyságáról nyerhetünk pontos képet.
- A növénytáplálás szempontjából egyaránt meghatározó a potenciálisan mobilizálódni képes tartalékkészletek mennyiségének és a talajoldatban megjelenő közvetlenül felvehető formák ismerete, ezért a hagyományos ammónium-laktát-ecetsav (AL) és a kalcium-kloridos módszer egymást kiegészítve egzakt módon képes jellemezni a termőhely kálium ellátottságát és káliumszolgáltatását.

7. 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, termésmenővelő 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.

8. 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.

9. SUMMARY

I have conducted my research work on the analysis of soil and plant samples taken at the Látókép Experimental Farm of the University of Debrecen in the years of 2004 and 2005 of the long-term field experiment set by †Professor László Ruzsányi. During the multi-factorial long-term experiment, three crop rotation models, five different nutrient treatments were set at three irrigation levels. I have carried out my studies in maize monoculture and the maize phases of a wheat, maize biculture, with control (no fertilization), 120:90:90 and 240:180:180 (N:P₂O₅:K₂O, kg/ha) treatments, without and with irrigation (2x50 mm). The soil of the experiment is a lowland calcareous chernozem with deep humus layer, formed on loess. The goal of the research was the investigation of the crucial production technological elements as the interactions of irrigation, nutrient supply, crop rotation and growing area, mainly via the determination of the soluble nutrient content of the soil by traditional and new methods. Another aim of mine was to study whether the results obtained by traditional methods applied for the determination of the nutrient supply of the growing area in the domestic advisory practice, could be made more precise by the use of the new, complementary methods. The cause of this idea is that the ammonium lactate applied in the domestic practice for the determination of the phosphorus and potassium supply of a growing area, is a heavy extraction solvent, thus extracts the nutrient elements from the soil to much greater extent than available for the culture during the vegetation period. Similarly, the determination of the humus content to evaluate the nitrogen supply of the growing area provides less information by itself. Depending on the fertilization practice and the nitrogen providing ability of the growing area, the soil profile decisive for crop production could contain a significant amount of nitrate that could influence the amount of fertilizer to be applied. Therefore, the determination of the nutrient supply of the growing area by new, complementary methods – besides the traditional ones – could be important, in terms of sustainable and environmentally friendly farming. In accordance with the objectives, I have chosen the ammonium lactate-acetic acid (AL) method, the basic technique of the domestic advisory systems for the determination of the soluble potassium and phosphorus contents of the soil of a growing area; in addition, as a new method in the domestic practice, I have applied 0.01 M calcium chloride for extraction. During the investigation of the nitrogen content and turnover of the growing area, I have determined the amounts of the easily soluble and oxidizable organic nitrogen fraction

and the inorganic nitrogen fractions (NO_3^- -N, NH_4^+ -N) in the soil of the experiment by multi-element 0.01 M calcium chloride extraction solvent.

The results of the two years studied during the long-term experiment clearly confirmed that the fertilization, the crop rotation and the irrigation significantly influenced the nutrient supply and nutrient providing ability of the growing area. As summary, the following most important conclusions can be drawn.

Results in connection with the nitrogen supply and nitrogen providing ability of the growing area:

- By the comparison of the 0.01 M CaCl_2 soluble nitrate content of the soil and the simplified agronomical balance calculations, I have confirmed that the N providing ability of the soil of the growing area is very good; it have significantly influenced the effect of the applied nitrogen fertilizer and its effect on the environment.
- In the calcareous chernozem soil of Látókép, the yield significantly increased in the case of the 120 kg/ha N treatments compared to the control; at the same time, the accumulation of the nitrate could be detected within the 0-200 cm layer. Thus, the application of nitrogen doses above 120 kg/ha is reasonable neither in monoculture, nor in biculture. Their application is extremely hazardous for the environment and can result in considerable nitrogen loss.
- As an effect of the 240 kg/ha nitrogen dose, the nitrate content of the studied profile increased to an extent that caused yield depression in several cropyears. The amount of the accumulated nitrate is a special risk for the environment.
- I have confirmed that as a result of irrigation and the more favourable effects of mineralization in the moist cropyear, the recovery of the nitrate-N increased and the natural nitrogen supply improved within the profile.
- I have demonstrated that the washing down of nitrate is fast in the Látókép growing area under irrigated circumstances and during a moist cropyear, the N active substance loss above the demands of the plant in considerable.
- I have found that the crop rotation made effect on the nitrogen content of the profile in the case of the nitrogen doses applied in the long-term experiment; more nitrate-N accumulated within the 100-200 cm layer in biculture.

- According to my studies, the amount of the easily mobilizable organic N fraction in the upper layer of the soil is determined by the abilities of the growing area and the conditions of mineralization; thus, it is mainly applicable for the characterization of the N-providing of the growing area; among the studied factors, its amount justifiably increased only as an effect of the highest N treatment.
- The results of the measurements confirmed that the amount of ammonium-N can be connected to the adsorption conditions of the soil; it accumulates mainly in the humous layer. The studied agrotechnical factors did not affect the amount of the 0.01 M CaCl₂ soluble NH₄-N fraction justifiably.
- I have demonstrated that the amounts of the 0.01 M CaCl₂ soluble nitrogen fractions of the soil can be applied for the characterization and tracing of the N turnover of the soil during the different cropyears too. By the comparison of the yield and soil analysis data, the optimal, environmentally friendly N dose can be estimated.
- According to my studies, in the domestic nutrient management advisory system, the calcium chloride method can be advised instead of the method used for the evaluation of the nitrogen supply and nitrogen providing ability of the growing area, based on the determination of the humus content. The former one can characterize either the actual or potential supplies well.

Results in connection with the phosphorus supply and phosphorus providing ability of the growing area:

- On the Látókép growing area, the effect of phosphorus fertilization could be detected within the upper 0-40 cm layer. Within the upper layers, the AL soluble phosphorus content of the soil changed in accordance with the phosphorus treatments and cumulated simplified agronomic balances.
- I have demonstrated that the crop rotation significantly influenced the effect of the phosphorus fertilizer applied into the upper layer. Within the upper layer of the biculture, the fertilization increased the phosphorus content to lesser extent.
- Considering the changes took place in the phosphorus supply of the soil, in the calcareous chernozem soil of Látókép, in biculture, the P₂O₅ dose of 90 kg/ha can be considered as optimal, while in monoculture, it significantly exceeds the phosphorus demand of the culture.

- The cropyear and the irrigation did not affect the amount of the AL soluble phosphorus within the upper 0-40 cm layer.
- The results of the long-term experiment confirm that the ammonium lactate soluble phosphorus content characterizes the amount of potential reserves under the circumstances determined by the soil and climatic conditions.
- On the calcareous chernozem soil of Látókép, the 90 kg/ha P₂O₅ treatment, the irrigation and the crop rotation did not make justifiable effects on the CaCl₂ soluble phosphorus content of the upper layer.
- The extremely moist cropyear of 2005 increased the calcium chloride soluble phosphorus content of the soil in accordance with the improving solubility conditions in the case of every treatment.
- According to my studies, the 0.01 M CaCl₂, known as a mild extraction solvent, can solubilise the easily soluble phosphorus forms directly available for the plants. The phosphorus concentration of the equilibrium 0.01 M CaCl₂ extract characterizes the amount of phosphorus that can be detected in the soil solution under the given growing area conditions.
- According to the experimental results, we can conclude that the phosphorus supplies of soils can be well characterized by the simultaneous application of the AL and CaCl₂ extraction solvents. The calcium chloride method characterizes the directly available supplies, while the AL method the reserves.

Results in connection with the potassium supply and potassium providing ability of the growing area:

- In both years, as an effect of potassium fertilization of increasing dose, the amount of the ammonium lactate and calcium chloride soluble potassium increased in maize monoculture, in the upper layer.
- In the calcareous chernozem soil of the Látókép growing area, in the case of maize monoculture, the 90 kg/ha K₂O dose exceeds the demands of the cultivated crop, the potassium accumulates within the upper layer.
- I have demonstrated that in the crop rotation of winter wheat-maize, the efficiency of the applied potassium fertilizer was better than in monoculture. In biculture, the 90 kg/ha K₂O dose can be considered as optimal, the application of higher amount of fertilizer is not reasonable.

- The results confirmed that the potassium providing of the soil of the growing area improved by irrigation, which has to be taken into consideration during the determination of the fertilizer demand.
- I have proved that the calcium chloride method could indicate the effects of potassium treatments more sensitively on the easily replaceable and soluble potassium content of the soil than the traditional ammonium lactate one. The CaCl_2 soluble potassium content of the upper layer characterizes the amount of potassium fraction easily available for the plant.
- According to my results, a partial amount of potassium appearing in the ammonium lactate extract derives from reserves directly unavailable for the plants; by the AL method we can get exact data on the extents of potential reserves directly unavailable for the plants.
- With respect to plant nutrition, it is crucial to know both the extents of the potentially mobilizable reserves and the directly available forms appearing in the soil solution, thus, the traditional ammonium lactate-acetic acid (AL) and calcium chloride methods can characterize the potassium supply and potassium providing of the growing area in an exact way, complementing each other.

IRODALOMJEGYZÉK

1. ANTAL J. - BUZÁS I. - DEBRECENI B. - NAGY M. - SIPOS S. - SVÁB J. /SZERK.: BUZÁS I. - FEKETE A. - BUZÁS I. - CSENGERI P. - KOVÁCS Á./ (1979): A műtrágyázás irányelvei és üzemi számítási módszer. I. rész. N, P, K műtrágyázási irányelvek. MÉM Növényvédelmi és Agrokémiai Központ, Budapest. 1-47. p.
2. APPEL, T. - MENGEL, K. (1992): Nitrogen uptake of cereals grown on sandy soils as related to nitrogen fertilizer application and soil nitrogen fractions obtained by electro-ultrafiltration (EUF) and CaCl_2 extraction. European Journal of Agronomy. 1.1-19.
3. 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. 127-130.
4. AVERY, B.W. - BULLOCK, P. (1977): Mineralogy of clayey soils in relation to soil classification. Soil Survey, Techn. Mon. No.10. Harpenden.
5. BAIER, J. - BAIEROVA, V. (1997): Einfluss der Stickstoffdüngung auf den Kali-Entzug. VDLUFA-Schriftenreihe. 46: 723-726.
6. BALÁZS J. (1983): A N-műtrágyázás, a talaj ásványi N-tartalma és a növényi N-felvétel összefüggései búzánál Ramann-féle barna erdőtalajon. XXV. Georgikon Napok, Keszthely. I. kötet, 318-328. PATE, Keszthely.
7. BALÁZS J. (1991): Nitrogén lemosódás dunántúli barna erdőtalajokon. XXXIII. Georgikon Napok, Keszthely, I. kötet, 267-273. PATE, Keszthely.
8. BALÁZS J. (1993): A N-ellátottság szerepe a búzatermesztésben eltérő típusú barna erdőtalajokon. Kandidátusi Értekezés. PANNON ATE, Keszthely.
9. BÁLINT I. - BERÉNYI M. - BORSOS A. - CSERNI I. - FÁBIÁN NAGY K. - FARAGÓ L. - FARKAS I. - FARKASNÉ VIKOR J. - FISCHER I. - FODOR L. - GENTISCHER G. - HAMAR N. - HAJDU J. - HEGYI A. - LEDÓNÉ DARÁZSI H. - MÉCS J. - SZABÓ L. - SZALVA P. - TARJÁNYI F. - TERBE I. /SZERK.: NAHLIK GY./ (1981): A szántóföldi zöldségnövények műtrágyázási irányelvei. MÉM Növényvédelmi és Agrokémiai Központ, Budapest. 96 p.
10. BALLENEGGER R. - BITTERA M. - CSIKY J. - DICENTY D. - HALÁCS Á., VILAX Ö. - ZICKER J. (1936): A talaj termőerejének fenntartásáról és a műtrágyázásról. Országos Mezőgazdasági Kamara Talajtani és Műtrágyázási Osztályának Kiadványa. 8., Pallas Nyomda, Budapest.
11. BALLENEGGER R. (1959): Talajvizsgáló módszerek. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 203-209. p.
12. BALLENEGGER, R. - DI GLÉRIA, J. (1962): Talaj- és trágyavizsgáló módszerek. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
13. BARANYAI, F. - FEKETE, A. - KOVÁCS, I. (1987): A magyarországi tápanyag-vizsgálatok eredményei. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
14. BERECZ K., J. BALÁZS, I. NÉMETH and GY. FÜLEKY (2005): Studying the direct and residual effect of long-term fertilization using ammonium lactate and hot water extraction methods. Comm. Soil Sci. Plant Anal. 36: 203-213.
15. BOON, R. (1981): Nitrogen fertilization advice for winter cereals and sugarbeets on deep loam and sandy loam soils based on a profile analyses. Pedologie. 31: 347-363.

16. BRAY, R.H. (1958): The correlation of a phosphorus soil rest with the response of wheat through a modified Mitscherlich equation. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 22: 314.
17. BRAY, R.H. - KURTZ L.T. (1945): Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59: 39.
18. BREMNER, J.M. (1965): Organic nitrogen in the soils. In: C.A. Black et al. (ed.) *Methods of soil analysis. Agronomy* 10. 93-149.pp. AM. Soc. of Agron., Madison, Wis.
19. BREMNER, J.M. (1967): Nitrogenous compounds. In: McLaren, A.D., Peterson, G.H. (eds.) *Soil Biochemistry*, pp. 19-66. London. Edward Arnold (Publishers), Ltd; New York: Marcel Dekker, Inc.
20. BUCHNER, A. - STURM, H. (1985): Gezielter düngen: intensiv wirtschaftlich –umweltbezogen. DLG Verlag, Frankfurt (Main).
21. BUZÁS I. - FEKETE A. (1979): Műtrágyázási irányelvek és üzemi számítási módszer. MÉM NAK. Budapest.
22. BUZÁS I.-ELEK É.-NYÍRI L.-LOCH J.-KERESZTÉNY B.-KOTZ T. /SZERK.: BUZÁS I.-FEKETE A.-BUZÁS I.NÉ-CENGERI P.NÉ-KOVÁCS Á.NÉ/ (1979): A műtrágyázás irányelvei és üzemi számítási módszer. II. rész. Ca, Mg és mikroelem műtrágyázási irányelvek. MÉM Növényvédelmi és Agrokémiai Központ, Budapest. 48-66.p.
23. BUZÁS I. (1983): A növény táplálás zsebkönyve. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
24. BUZÁS I. (1987): Bevezetés a gyakorlati agrokémiába. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
25. CAMPBELL, C.A. - ZENTNER, R.P. - SELLES, F. - BIEDERBECK, V.O. - LEYSHON, A.J. (1992): Comparative effects of grain lentil-wheat and monoculture wheat on crop production, N economy and N fertility in a Brown Chernozem. *Can. J. Plant Sci.* 72. 1091-1107.
26. CHANG, S.C. - JACKSON, M.L. (1957): Fractionation of soil phosphorus. *Soil Science.* 84: 133-144.
27. CSATHÓ P. (2002): Az AL-P korrekciós modell értékelése a hazai szabadföldi őszi búza P-kísérletek adatbázisán, 1960-2000. *Agrokémia és Talajtan.* 51: 351-380.
28. CSATHÓ P. (2003): Kukorica P-hatásokat befolyásoló tényezők vizsgálata az 1960 és 2000 között publikált hazai szabadföldi kísérletek adatbázisán. *Agrokémia és Talajtan.* 52: 455-472.
29. CSATHÓ P. (2003b): Kukorica N-hatásokat befolyásoló tényezők vizsgálata az 1960 és 2000 között publikált hazai szabadföldi kísérletek adatbázisán. *Agrokémia és Talajtan.* 52: 169-184.
30. CSATHÓ P. (2005a): Őszi búza K-hatásokat befolyásoló tényezők vizsgálata az 1960 és 2000 között publikált hazai szabadföldi kísérletek adatbázisán. *Növénytermelés.* 54: 197-213.
31. CSATHÓ P. (2005b): Kukorica K-hatásokat befolyásoló tényezők vizsgálata az 1960 és 2000 között publikált hazai szabadföldi kísérletek adatbázisán. *Növénytermelés.* 54: 447-465.

32. CSATHÓ P. - ÁRENDÁS T. (2003): A hazai szabadföldi őszi búza és kukorica N trágyázási tartamkísérletek adatbázisának értékelő elemzése, 1960-1995. In: ELEK GY. - VÉCSY B. (szerk.) XVII. Országos Környezetvédelmi Konferencia és Szakkiállítás: MTEsz Fejér és Veszprém megyei Szervezete. Siófok, Magyarország. pp. 143-150.
33. CSATHÓ P. - ÁRENDÁS T. - NÉMETH T. (1998a): New, environmentally friendly fertilizer recommendation system based on the data set of the Hungarian long term field trials set up between 1960 and 1995. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 29: 2161-2174.
34. CSATHÓ P. - ÁRENDÁS T. - NÉMETH T. (1998b): New, environmentally friendly fertiliser recommendation system in Hungary. *Bibliotheca Fragmenta Agronomica*, Tom. 3: 225-230.
35. CSATHÓ P. - ÁRENDÁS T. - NÉMETH T. (2002): Új, a hazai körülményekre adaptált, költségkímélő számítógépes trágyázási szaktanácsadási rendszer. In: Harnos Zs, Herdon M (szerk.)
36. CSATHÓ P. - ÁRENDÁS T. - NÉMETH T. (2003): New, environmentally friendly P fertiliser recommendation system for Hungary: a useful tool for eliminating agricultural P losses to surface and subsurface waters. In: *Book of Abstracts, COST 832 Final Conference.* 2003. pp. 48-49.
37. CSATHÓ P. - ÁRENDÁS T. - NÉMETH T. (2003b): Új környezetkímélő trágyázási szaktanácsadási rendszer a korszerű kukorica növénytáplálás szolgálatában. In: *Ötven éves a magyar hibridkukorica.* (Szerk.: MARTON L. CS., ÁRENDÁS T.) 99-104. MTA Mezőgazdasági Kutatóintézet, Martonvásár.
38. CSERHÁTI S. (1900): Általános és különleges növénytermesztés. I. kötet: általános növénytermelés. Magyaróvár, Czéh Sándor-féle könyvnyomda.
39. CSERHÁTI S. (1906): Általános és különleges növénytermesztés. II. Második kiadás. Nitsman József Könyvnyomdája, Győr. 1-600.
40. CSERHÁTI, S. - KOSUTÁNY, T. (1887): A trágyázás alapelvei. Országos Gazdasági Egyesület Könyvkiadó, Budapest.
41. DEBRECZENI B. - DEBRECZENI B. (1994): Trágyázási kutatások 1960-90, Akadémiai Kiadó, Budapest.
42. DEBRECZENI B. - NÉMETH T. (2009): Az Országos Műtrágyázási Tartamkísérletek (OMTK) kutatási eredményei (1967-2001). Akadémiai Kiadó, Budapest.
43. DIEST, A. VAN - HORAKOVA, H. - HOUBA, V.J.G. (1993): Towards unity and clarity in European soil testing. *Proc. Int. Congr. Potassium in ecosystems: biogeochemical fluxes of cations in agro- and forest-systems.* Praag, 1992. Int. Potash Inst., Basel.
44. DUMAS, J.- B. (1831): *Ann. Chim. Phys. (Paris)*, 2.47.198.
45. EGENÉR, H. (1932). *Meddelande report No. 425 Från Centralanstalten for Forsoksvasendet poa jordbrukssomrao det, Avdelnignen Forlantbrukskemie, Stockholm, Nr. 51.*
46. EGNÉR, H. - RIEHM, H. (1955): Die Doppellaktatmethde. In: Thon, R., Hermann, R., & Knikemann, E., (Eds.). *Die Untersuchung von Boden Verbandes deutscher Landweritschaftlicher Untersuchungs und Forschungsanstalten, Methodenbuch I.* Neumann Verlag, radebeul and Berlin. Based on: Egenér, H., (1932). *Meddelande report No. 425 Från Centralanstalten for Forsoksvasendet poa jordbrukssomrao det, Avdelnignen Forlantbrukskemie, Stockholm, Nr. 51.*

47. EGNÉR, H. - RIEHM, H. - DOMINGO, W.R. (1960): Untersuchungen über die chemischen Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. II. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor- und Kaliumbestimmung. Kungliga Lantbrukshögskolans Annaler 26: 199-215
48. FILEP GY. - TÓTHNÉ BÍRÓ Á. (1980b): A talaj mineralizálható N-tartalmának gyors meghatározása. Agrokémia és Talajtan 29. 245-250.
49. FILEP GY. - TÓTHNÉ BÍRÓ Á. (1980a): Hazai talajok mineralizálható N-készletének és N-szolgáltatásának mérése és számítása. Agrokémia és Talajtan 29. 229-244.
50. Filep Gy. (1999): Talajtani alapismeretek I. Debreceni Agrártudományi Egyetem, Debrecen (egyetemi jegyzet)
51. FÖRIZS J. - MÁTÉ G. - STEFANIVITS P. (1972): A talajminősítés módszere. Agrártudományi Egyetem, Gödöllő.
52. FOTYMA, M. - GOSEK, S. - SZEWCZYK, M. (1996): Preliminary experience with calcium chloride method in Poland. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 27.5-8: 1387-1401.
53. FÜLEKY GY. - BENEDEK SZ. (2009): Talajok AL- és forróvíz-oldható (HWP) P- és K-tartalmának összehasonlítása. Agrokémia és Talajtan. 58. 243-250.
54. FÜLEKY GY. - VARGA GY. (1974): A foszforvegyületek eloszlása jellegzetes hazai talajokon. Agrokémia és Talajtan 23.41-52.
55. FÜLEKY GY. (1973): Néhány hazai talajtípus összes foszfortartalmának összehasonlító vizsgálata. Agrokémia és Talajtan. 3-4. 311.
56. FÜLEKY GY. (1974): A talaj könnyen oldható foszfortartalmának és szervesetlen foszforformáinak összefüggése. Egyetemi doktori disszertáció Gödöllő.
57. FÜLEKY GY. (1976a.): A talaj könnyen oldható P-tartalmának meghatározására használt kivonószerek vizsgálata I. Az AL-, DL-, CAL-, Bray I-, NaHCO₃-os, NaHCO₃+NH₄F-os és CaCl₂-os kivonószer vizsgálata közvetlen kioldással. Agrokémia és Talajtan. 25. 271-283.
58. FÜLEKY GY. (1976b.): A talaj könnyen oldható P-tartalmának meghatározására használt kivonószerek vizsgálata II. Az AL-, DL-, CAL-, Bray I-, NaHCO₃-os, NaHCO₃+NH₄F-os és CaCl₂-os kivonószerrel oldott P és szervesetlen foszfátfrakciók korrelációja. Agrokémia és Talajtan. 25. 284-296.
59. FÜLEKY GY. (1987): Potassium supply in typical soils of Hungary. Bull. Univ. Agric.Sci. Gödöllő. 1.113-119
60. FÜLEKY GY. (szerk.) (1999): Tápanyaggazdálkodás. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
61. FÜLEKY GY. (2002): Magyarország talajainak tápelem-szolgáltató képessége. In: Az agrokémia időszerű kérdései. 53-62. Debrecen Egyetem Agrártudományi Centrum MTK. Debrecen.
62. FÜLEKY GY. - CZINKOTA I. (1993): Hot water percolation (HWP): A new rapid soil extraction method. Plant and Soil. 157. 131-135.
63. GEYPENS, M. - VANDENDRIESSCHE, H. - BRIES, J. - HENDRIKX, G. (1994): The N-index expert system, a tool for integrated N-management. In: Transactions 15th World Congress of Soil Science, July 10-16, Acapulco, Mexico. International Society of Soil Science. Volume 5a. 165-173.
64. GOURLEY C.J.P. (1999): Potassium. In: Peverill KI, Sparrow LA, Reuter DJ (eds) Soil analysis: an interpretation manual. CSIRO, Collingwood, pp 229-246

65. GRIMME, H. - NÉMETH, K. – V. BRAUNSCHWEIG, L.C. (1971): Beziehungen zwischen dem Verhalten des Kaliums in Boden und der Kaliumernährung der Pflanze. Landw. Forsch. 26/1. Sonderheft. 165.
66. GROOT, J.J.R. - HOUBA, V.J.G. (1995): A comparison of different indices for nitrogen mineralization. Biol Fertil Soils 19. 1-9.
67. GUYOT, J. (1971): Evolution de l'azote mineral dans un sol et fumure azotee du ble d'hiver. Bull. Rech. Agron. Gemb., 6. 280-326.
68. GYÓRI D. (1984): A talaj termékenységé. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
69. HARGITAI L. (1983): Természetes állapotú művelt és mesterséges talajok szervesanyag-gazdálkodása. Budapest, Doktori értekezés.
70. HASENBÄUMER, J. (1931): in: Honcamp, F.: Handbuch der Pflanzenernährung und Düngerlehre. Bd. I. Springer, Berlin
71. HOFFMANN S. - KISMÁNYOKY T. - BALÁZS J. (1988): Az őszi búza és a kukorica tavaszi N-trágyázása a talaj ásványi-N készletére alapítva. In: Kutatási eredmények a gyakorlatnak. Tápanyaggazdálkodás. Szerk.: DEBRECZENI B., MIKLAY F., Agroinform, Budapest. 37-46. p.
72. HOSSNER, L.R. - FREEOUF, J.A. - FELSOM, B.L. (1973): Solution phosphorous concentration and growth of rice (*Oryza sativa* L.) in flooded soils. Soil Science Society of America Proceedings. 37, p.405-408.
73. HOUBA, V.J.G. - JÁSZBERÉNYI I. - LOCH J. (1991): Application of 0,01 M CaCl_2 as a single extraction solution for evaluation of the nutritional status of Hungarian soils. Debreceni Agrártudományi Egyetem Tudományos Közleményei, 30. 85-89. p.
74. HOUBA, V. J. G. - NOVOZAMSKY, L. - LEXMOND, T. M. - VAN DER LEE, J. J. (1990): Applicability of 0,01 M CaCl_2 as a single extraction solution for the assessment of the nutrient status of soils and other diagnostic purposes. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 21. 2281-2290.
75. HOUBA, V.J.G. (1998): Final report, Project Cipact 94-021, Wageningen Agricultural University.
76. HOUBA, V.J.G. - NOVOZAMSKY, I. - HUIJBREGTS, A.W.M. - LEE, VAN DER LEE, J.J. (1986): Comparison of soil extractions by 0,01 M CaCl_2 , by EUF and by some conventional extraction procedures. Plant Soil 96: 433-437.
77. IZSÁKI Z. - IVÁNYI I. (2002): Csernozjom réti talaj AL-oldható foszfor- és káliumtartalmának változása műtrágyázási tartamkísérletben. Növénytermelés. 51.6: 703-712.
78. JACKSON, M.L. (1958): Soil chemical analysis. Prentice Hall. Inc., Englewood Cliffs, New Jersey
79. JÁSZBERÉNYI I. - LOCH J. - SARKADI I. (1994): Experiences with 0.01 M calcium chloride as an extraction reagent for use as a soil testing procedure in Hungary. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 25.9-10: 1771-1777.
80. JARVIS S. C. - STOCKDALE E.A. - SHEPHERD M.A. - POWLSON D.S. (1996): Nitrogen mineralization in temperate agricultural soils: Processes and measurment. Adv. Agronomy No.57:187-235. Madison, Wincosin
81. KÁDÁR I. (1992): A növénytáplálás alapelvei és módszerei. MTA TAKI. Budapest. 398 p.
82. KÁDÁR I. (1993): A kálium-ellátás helyzete Magyarországon. KTM-MTA TAKI. Budapest. 112 p.
83. KERPELY K. (1910): A műtrágyák helyes alkalmazása. Pátria, Budapest.
84. KJELDAHL, J. (1883): Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern, Z. Anal. Chem. 22.366-382.

85. KREYBIG L. (1940): Talajvizsgálatok szerepe a növénytermesztésben. Debrecen, Tiszántúli Mezőgazdasági Kamara, Alföldi Magvető.
86. KRISZTIÁN J. - HOLLÓ S. - KADLICKÓ B. (1988): Periodikus kálium műtrágyázás. Növénytermelés. 37. 259–266.
87. KULCSÁR L. - DEBRECZENI K. - JÁSZBERÉNYI I. - LOCH J. (1998): Investigation of the soil N-fractions in special consideration of the N-fertilizer recommendation for sugar beet. Fertilization for sustainable plant production and soil fertility. (Eds.: Van Cleemput, O. et al.) Proceedings of the 11th Int. World Fertilizer Congress, Gent, Belgium.
88. LÁNG G. (1978): Káliumtrágyázási tartamkísérletek. Nemzetközi Mezőgazdasági Szemle. 4.73-77.
89. LÁSZTITY B. (1977): A műtrágyázás hatása a talaj (felvehető) AL-oldható K₂O-tartalmának alakulására karbonátos homokon. Növénytermelés. 26.185-190.
90. LATKOVICS GY. (1982): A nitrogén átalakulása és mozgása a talajban. Doktori Értekezés. Budapest.
91. LAZÁNYI J. (2003): Fenntartható gazdálkodás a Westsik vetésforgó kísérlet tapasztalatai alapján. Westsik Vilmos Nyírségi Tájfejlesztési Alapítvány. Nyíregyháza.
92. LAZÁNYI J. - LOCH J. (2006): Evaluation of 0.01 M CaCl₂ extractable nitrogen forms in the treatments of Westsik's crop rotation experiment. Agrokémia és Talajtan. 55. 135-144.
93. LAWRENCE SMITH, J. (1962): cit. in: Talaj- és trágyavizsgáló módszerek. Mezőgazdasági Könyvkiadó, Budapest
94. LIEBIG, J.V. (1840): Dir Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie. 9. Aufl. Vieweg und Sohn. Braunschweig.
95. LOCH J. - JÁSZBERÉNYI I. (1997): The 0.01 M CaCl₂ solution as a multielement soil extractant - application and experiences in Hungary. In: Land use and Soil Management. Ed.: FILEP GY., Rexpo Ltd, Debrecen. 175-184. p.
96. LOCH J. - NOSTICZIUS Á. (1992): Agrokémia és növényvédelmi kémia. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
97. LOCH J. (2006): Tápanyagvizsgáló módszerek értékelése. In: A tápanyag-gazdálkodást segítő talajvizsgáló módszerek alkalmazása a Nyírség homoktalajain. (Szerk.: Loch J. - Lazányi J.) 51–77. Nyíregyháza.
98. LOCH J. (1999): A talajok könnyen oldható szerves N, P, S frakciói. T017043 számú OTKA téma zárójelentése.
99. MENGEL K. (1976): A növények táplálkozása és anyagcseréje. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
100. MENGEL, K. - GRIMME, H. - NEMETH, K. (1969): Potencial and actual availability for plant nutrients in soils. Landw. Forsch. 23/I. Sonderh., 79-91.
101. MENGEL, K. - KIRKBY, E. A. (2001): Principles of plant nutrition. 5th edition. Kluwer Academic Publishers.
102. MENGEL, K. - KIRKBY, E.A. (1987): Principles of plant nutrition. International. Potash Institute Bem, Switzerland. 4th edition. 403-413 pp.
103. MESTERHÁZI P.Á. - CSATHÓ P. - ÁRENDÁS T. - NEMÉNYI, M. (2004): Experiences of a three-year site-specific farming trial especially regarding nutrient replacement and soil draft measurement. In: Conference Abstracts, 7th Internat. Conf. on Precision Agriculture, July 25-28, 2004. Minneapolis, USA. 96.
104. MITSCHERLICH, E.A. (1909): Das Gesetz des Minimums und das Gesetz des abnehmen den Bodenertrages. Landw. H. 38. 537.

105. MULLER, J. (1974): The residual effects of preceding crops on soil mineral nitrogen at the end of winter: maize grown for grain. *Comptes Rendus des Seances de l'Academie d'Agriculture de France*. 60.11: 850-856.
106. MÜLLER, S. - JOACHIM, S. - BUZÁS, I. - CHOCHOLA, J. (1985): Új módszerek a cukorrépa N-adagjának meghatározására (Neue Methoden zur Bemessung der N-gaben zu Zuckerrüben). *Tag.-Ber., Akad. Landwirtsch. Wiss. DDR, Berlin*, 229. 113-118. p.
107. NAGY P.T. - JÁSZBERÉNYI I. - LOCH J. (2002): A trágyázás hatása a 0,01 M kalcium-kloridban oldható nitrogén-formák mennyiségére a Nyírlugosi tartamkísérletben. In: Láng István, Lazányi János, Németh Tamás (szerk.): *Tartamkísérletek, tájtermesztés, vidékfejlesztés*. Debrecen: DE ATC, 2002. pp. 143-148.
108. NEETESON, J.J. - DILZ, K. - WIJNEN, G. (1989): N-fertilizer recommendations for arable crops. In: *Management systems to reduce impact of nitrates*. (Ed.: Germon, J. C.), 253-263., Elsevier Sci. Publ., Barking, England
109. NÉMETH K. (1971): Möglichkeiten zur Bestimmung massgeblicher Faktoren der Bodenfruchtbarkeit mittels Elektroultra-filtration (EUF). *Landw. Forschung Sonderheft.*, 26.1: 129-198.
110. NÉMETH K. (1972): Bodenuntersuchung mittels Elektro-Ultrafiltration (EUF) mit mehrfach variiertes Spannung. *Landw. Forsch. Sonderh.* 27.2: 184-196.
111. 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: E. Welte and I. Szabolcs, Volume 2. pp. 220-224. CIEC Goltze-Druck, Goettingen.
112. NÉMETH T. - BUZÁS I. (1991): Kalibrációs N-trágyázási kísérlet őszi káposztarepce jelzőnövényvel. *Agrokémia és Talajtan*. 40. 409-418.
113. NÉMETH T. - BUZÁS I. (1991b): Nitrogéntrágyázási tartamkísérlet humuszos homok- és mészlepedékes csernozjom talajon. *Agrokémia és Talajtan*. 40. 399-408.
114. NÉMETH T. - KÁDÁR I. (1988): A N-műtrágya igényének becslése talajvizsgálattal. In: *Tápanyag-gazdálkodás*. (Szerk.: Debreczeni, B. és Miklay, Fné.) 34-36. Agroinform. Budapest.
115. NÉMETH T. - KÁDÁR I. (1989): A talaj ásványi-N tartalma és az őszi káposztarepce fejlődése közötti összefüggések. In: *XIX. Hungarochem Konferencia*. 206-212. NEVIKI. KAE. Keszthely.
116. NÉMETH T. (1987): A nitrogénigényt módosító tényezők az MTA TAKI-KSZE szaktanácsadási rendszerében. Kézirat. MTA TAKI, Budapest
117. NÉMETH T. (1988): A N-ellátottság szerepe az őszi káposztarepce termesztésében. *Kandidátusi Értekezés*, Budapest.
118. NÉMETH T. (1990): Vzaimosvzjaz mezdsdu szoderzsanijem mineralnovo azota i rosztom parametrov ozimivo rapsza. In: *XI. Mezsdunar. Naucs. Konf. Agrohímicseszkije Pokazateli Plodorodija Pocsy*. 5-7. Szentjabra 1989., Wroclaw, Materialü Koonferencii, pp. 172-179. Inst. Uprawy Nawoz. i Gleboz., Pulawy, Polska.
119. NÉMETH T. (1993): Fertilizer recommendations – Environmental aspects. *Zeszyty Prob. Post. Nauk Roln.* 400. 95-104.
120. NÉMETH T. (1993): Fertilizer recommendations – Environmental aspects. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 400. 95-104.
121. NÉMETH T. (1994): Nitrate-N accumulation in the soil profiles of long-term fertilizer experiments. *Agrokémia és Talajtan*. 43. 231-238.

122. NÉMETH T. (1996): Talajaink szervesanyag-tartalma és nitrogénforgalma. MTA TAKI, Budapest.
123. NÉMETH K. (1979): The availability of nutrients in the soil as determined by electro-ultrafiltration (EUF). *Adv. Agron.* 31. 155-188. p.
124. NÉMETH, T., (1999): A precíziós trágyázás alkalmazhatóságának feltételei. In: Talaj, növény és környezet kölcsönhatásai. (Szerk.: Nagy J., Németh T.) 120-137. Debreceni Agrártudományi Egyetem. Debrecen.
125. OLSEN, SR. – COLE, C.V. – WATANABE F.S. – DEAN L.A. (1954): Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate. US Department of Agriculture Circular. No. 939, Washington, D.C.
126. PAAUW VAN DER, F. (1969): Entwicklung und Verwertung einer neuen Wasserextraktionsmethode für die Bestimmung der pflanzenaufnehmbaren Phosphorsäure. *Landw. Forsch.* 23.11.Sonderheft. 102.
127. PAAUW, F. VAN DER - SISSINGH, H. A. - AND RIS, J. (1971): An improved method of waterextraction for the assessment of soil phosphate supply:- Pw value. *Verslag. Landbouwk. Onderzoek.* 749.
128. PÁSZTOR L. - SZABÓ J. - BAKACSI ZS. (2002): GIS processing of large-scale soil maps in Hungary. *Agrokémia és Talajtan.* 51. 273-282.
129. PECZE ZS. - NEMÉNYI M. - DEBRECZENI B. - CSATHÓ P. - ÁRENDÁS T. (2001): Helyspecifikus tápanyagvizsgálás kukoricánövényénél. *Növénytermelés.* 50. 269-284.
130. PEPÓ P. (2004): Őszi búza tápanyagellátása a Hajdúságban. MTA doktori értekezés.
131. RAUTERBERG, E. (1966): Methoden zur Bestimmung des Düngebedürfnisses der Böden. Chemische und physikalisch-chemische Verfahren. In: Scharrer, K.-Linser, H.: *Handbuch der Pflanzenernährung und Düngung.* Bd. 11.1. Springer, Wien
132. RIEHM, H. (1943): Bestimmung der laktatlöslichen Phosphorsäure in karbonathaltigen Böden. *Phosphorsäure.* 1. 167.
133. RIEHM, H. (1958): Die Ammoniumlaktatessigsäure Methode zur Bestimmung der leichtlöslichen Phosphorsäure in karbonathaltigen Böden. *Agrochimica.* 3.49.
134. RIS, J. - SMILDE, K.W. - WIJNEN, G. (1981): Nitrogen fertilizer recommendations for arable crops as based on soil analysis. *Fert. Research.* 2. 21-32.
135. SÁRDI K. - FÜLEKY GY. (2002): omparison of extractants used for evulating the bioavailability of soil P and K. *Comm.Soil Sci. Plant Anal.* 33. 2803-2812.
136. SARKADI J. - VÁRALLYAY GY. (1989): Advisory system for mineral fertilization based on large-scale land-site maps. *Agrokémiai és Talajtan.* 38. 775-789.
137. SARKADI J. (1975): A műtrágyaigény becslésének módszerei. *Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.*
138. SAURBECK, D. - TIMMERMANN, F. (1983): The efficient use of fertilizer nutrients as influenced by soil testing. Application technique and timing. *Developments in Plant and Soil Sciences.* 10. 171-195.
139. SCHACHTSCHABEL, P. (1954): Das pflanzenverfügbare Magnesium des Bodens und seine Betsimmung. *Z. Pfl. Ernähr. Düng. Bodenk.* 67. 9-23.
140. SCHEFFER, F. - SCHACHTSCHABEL, P. (1970): *Lehrbuch der Bodenkunde.* Ferdinand Enke, Stuttgart.

141. SCHÜLLER, H. (1969): Die CAL-Methode, eine neue Methode zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren Phosphates in Böden. Z. Pflanzenernähr. Bodenkunde 123. 48.
142. SEBESTYÉN E. - BARANYAI F. - BOLDIS O. (1982): Az őszi búza szervesanyag-termelése és tápanyagforgalma I-II. MÉM-AGROINFORM, Budapest.
143. SESZTAKOV, A.G. (1961): Agrokémia. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
144. 'SIGMOND E. (1904): Mezőgazdasági chemia. Budapest.
145. 'SIGMOND E. (1901): Adatok a talaj asszimilálható foszforsavtartalmának meghatározásához. Magyar Chemiai Folyóirat. 7. 49.
146. SISSINGH, H. A. (1969): Die Lösung der Bodenphosphorsäure bei wässriger Extraktion in Verbindung mit der Entwicklung einer neuen P-Wasser-Methode. Sonderh. Z. Landwirtsch. Forsch. 23. II, 110-120.
147. SMITH, A.N. (1965): Distinction between iron and aluminium phosphate in Chang-Jackson's procedure for fractionating inorganic soil phosphorus. Agrochimica. 9. 162-168.
148. SMITH, A.N. (1969): Fractionation of inorganic phosphorus in soils. The Chang and Jackson fractionation procedure: its limitation and uses. AGRI Digest. 17. 10-19.
149. SPARKS, D.L. - HUANG, P.M. (1985): Physical chemistry of soil potassium.p.201-276. In R.D. Munson (ed.) Potassium in agriculture. American Society of Agronomy, Madison, WI.
150. SPRENGEL, C. (1837): Die Bodenkunde oder die Lehre von Boden. Leipzig.
151. STANFORD, G. - SMITH, S.J. (1972) Nitrogen mineralization potentials of soils. Soil Science Society of America Journal 36. 465-472.
152. 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., Keeny D.R. (1982): Methods of soil analysis. Part 2, Agronomy No.9 (2)p.711-733. Madison, Wincosin USA
153. STEFANOVICS P. (1993): Talajtan. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
154. STEFANOVITS P. - DOMBÓVÁRINÉ FEKETE K. (1994): Az agyagásvány-összetétel ismeretének talajtani és agrokémiai alkalmazási lehetőségei. In: Debreczeni B., Debreczeni B. (szerk.): Trágyázási kutatások 1960-90, Akadémiai Kiadó, Budapest. 82-111.
155. STEFANOVITS P. - FILEP GY. - FÜLEKY GY. (1999): Talajtan. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
156. STEFANOVITS P. (1975): Talajtan. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
157. TAMÁS J., (2001): Precíziós mezőgazdaság. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest. 144 p.
158. THAMM F.-NÉ (1980): Az AL-P értékek korrigálása néhány talajtulajdonság figyelembevételével. Agrokémia és Talajtan. 29. 473-496.
159. TYURIN, I.V. (1951): Analytical procedure for a comparative study of soil humus. Trudy Pochv. Inst. Dokuchayeva 38. 5-21.
160. VÁRALLYAY GY. - SZÜCS L. - MURÁNYI A. - RAJKAI K. - ZILAHY P. (1979-1980): Magyarország termőhelyi adottságait meghatározó talajtani tényezők 1:100 000 méretarányú térképe. Agrokémia és Talajtan. I. 28. 363-384. II. 29. 35-76.
161. VÁRALLYAY GY. (1940): A talaj táplálóanyagtartalmának változása és annak vizsgálata. Mezőgazd. Kutat. 13. 71-81.

162. VÁRALLYAY GY. (1944): Várallyay eljárása a szántóföldön bekövetkező foszforsav-, kálium- és nitrogéntrágya hatás laboratóriumi megítélésére. In: LOCH J. (2001): A talajok nitrogénellátottságának megítélése. Centenárium emlékülés Id. Várallyay György születésének 100. évfordulója alkalmából. *Agrokémia és Talajtan*. 50. 154-159. p.
163. VÁRALLYAY GY. (1950): A műtrágyázást irányító kísérletek és vizsgálatok. *Agrokémia*. 2. 287.
164. VÁRALLYAY, GY. - BUZÁS, I. - KÁDÁR, I. - NÉMETH, T. (1992): New plant nutrition advisory system in Hungary. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 23. 2053-2073.
165. WARD, R.C. (1971): NO₃-N soil test – approaches to use and interpretation. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 2. 61-71.
166. WEHRMANN, J. - SCHARPF, H.C. (1977): Stickstoffdüngung: N_{min}-methode hat sich bewahrt. *DLG Mitteilungen*, Frankfurt (Main). 92. 1058.
167. WEHRMANN, J. - SCHARPF, H.C. (1979) Der mineralstickstoffgehalt des Bodens als Mass-stab für den Stickstoffdüngerbedarf (N_{min}-methode). *Plant and Soil*. 52. 109-126.
168. WEHRMANN, J. - SCHARPF, H.C. (1980): Der Mineralstickstoffgehalt des Bodens als Grundlage der Stickstoffdüngung bei Zuckerrüben. Bericht über den 43. Winterkongress des Internationalen Instituts für Zuckerrübenforschung. 327-341. p.
169. WEHRMANN, J. - SCHARPF, H.C. (1986): The N_{min}-method an aid to integrating various objectives of nitrogen-fertilization. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*. 149. 428-440.
170. WEHRMANN, J. - SCHARPF, H.C. (1989): Reduction of nitrate leaching in a vegetable farm – fertilization, crop rotation, plant residues. In: Management systems to reduce impact of nitrates. Proceedings of a conference held in Brussels, 24-25 September, 1987. Elsevier Applied Science, Barking. 147-157. p.
171. WEHRMANN, J. (1983): N_{min}. Antworten zu Fragen aus der Praxis. *DLG-Mitteilungen*. 2. 66-69.
172. WIKLICKY L. - NÉMETH K. (1981): Düngungsoptimierung mittels EUF-Bodenuntersuchung bei der Zuckerrübe. Sonderdruck aus Band. 106: 982-998.

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom témavezetőimnek Dr. Loch Jakab egyetemi tanárnak, professor emeritusnak, és Dr. Pepó Péter egyetemi tanárnak a disszertáció elkészítésében nyújtott szakmai segítségükért. Külön köszönöm a felém tanúsított türelmet, megértést, szeretetet és emberi támogatásukat, ami nélkül a disszertáció nem készülhetett volna el.

Köszönet illeti az Agrokémiai és Talajtani Intézet és a DE AGTC KIT Látóképi Telep valamennyi munkatársának a mintavételben, minta előkészítésben és a laboratóriumi vizsgálatokban nyújtott segítségével.

TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

1. táblázat. **Nagyhörcsök, Iregszemcse, Karcag, Hajdúböszörmény termőhelyeken az OMTK műtrágyázással összefüggő fontosabb eredményei. (Műtrágya adag: N1: 50 kg/ha N, P1:50 kg/ha P₂O₅).....34**
2. táblázat. **Karcag, Hajdúböszörmény termőhelyeken az OMTK műtrágyázással összefüggő fontosabb eredményei. (Műtrágya adag: N1: 50 kg/ha N, P1:50 kg/ha P₂O₅).....34**
3. táblázat. **Kompolt, Bicsérd, Putnok termőhelyeken az OMTK műtrágyázással összefüggő fontosabb eredményei. (Műtrágya adag: N1: 50 kg/ha N, P1:50 kg/ha P₂O₅).....37**
4. táblázat. **Kompolt, Bicsérd, Putnok termőhelyeken az OMTK műtrágyázással összefüggő fontosabb eredményei. (Műtrágya adag: N1: 50 kg/ha N, P1:50 kg/ha P₂O₅).....38**
5. táblázat. **A tartamkísérletben alkalmazott műtrágyakezelések.....41**
6. táblázat. **A talaj és növényminták származása kezelések szerint.....43**
7. táblázat. **A kukorica szemtermésének mennyisége az eltérő kezelésekben.....46**
8. táblázat. **A kukorica szemtermésének mennyisége, nitrogén tartalma és a szemterméssel felvett nitrogén mennyisége a 2004. évi tenyészidőszakban.....49**
9. táblázat. **Nitrogén mérlegek a 2004. évben és 1994-2004 között az eltérő kezelésekben.....49**
10. táblázat. **A 0-200 cm talajszelvény 0,01 M CaCl₂ oldható NO₃-N tartalma kukorica monokultúrában a 2004. év mintavétel időpontjaiban.....50**
11. táblázat. **A 0-200 cm talajszelvény 0,01 M CaCl₂ oldható NO₃-N tartalma kukorica bikultúrában a 2004. év mintavétel időpontjaiban.....55**
12. táblázat. **A kukorica szemtermésének mennyisége a 2005-ös tenyészidőszakban.....60**

13. táblázat. Nitrogén mérlegek a 2005. évben és 1994-2004 között az eltérő kezelésekben.....	60
14. táblázat. A 0-200 cm talajszelvény 0,01 M CaCl ₂ oldható NO ₃ -N tartalma kukorica monokultúrában a 2005. év mintavétel időpontjai- ban.....	61
15. táblázat. A 0-200 cm talajszelvény 0,01 M CaCl ₂ oldható NO ₃ -N tartalma kukorica bikultúrában a 2005. év mintavétel időpontjai- ban.....	65
16. táblázat. A 0,01 M CaCl ₂ oldható organikus nitrogén frakció mennyisége a 0-60 cm rétegben négy mintavétel átlagában, a 2004-es tenyészidő- szakban.....	70
17. táblázat. A 0,01 M CaCl ₂ oldható organikus nitrogén frakció mennyisége a 0-60 cm rétegben négy mintavétel átlagában, a 2005-ös tenyészidőszak- ban.....	70
18. táblázat. A 0-60 cm talajszelvény 0,01 M CaCl ₂ oldható NH ₄ -N tartalma a 2004. évben.....	72
19. táblázat. A 0-60 cm talajszelvény 0,01 M CaCl ₂ oldható NH ₄ -N tartalma a 2005. évben.....	72
20. táblázat. Foszfor mérlegek az eltérő kezelésekben.....	76
21. táblázat. Kálium mérlegek az eltérő kezelésekben.....	89

ÁBRÁK JEGYZÉKE

1. ábra.	A 0,01 M CaCl ₂ oldható nitrát-N frakció mennyiségének talajszelvényen belüli változása kukorica monokultúrában, 2004. év.....	51
2. ábra	A 0,01 M CaCl ₂ oldható nitrát-N frakció mennyiségének talajszelvényen belüli változása kukorica bikultúrában, 2004. év.....	57
3. ábra	A 0,01 M CaCl ₂ oldható nitrát-N frakció mennyiségének talajszelvényen belüli változása kukorica monokultúrában, 2005. év.....	62
4. ábra	A 0,01 M CaCl ₂ oldható nitrát-N frakció mennyiségének talajszelvényen belüli változása kukorica bikultúrában, 2005. év.....	66
5. ábra.	A talaj 0-40 cm rétegének AL oldható foszfor tartalma az eltérő kezelésekben, 2004. év.....	77
6. ábra.	A talaj 0-40 cm rétegének 0,01 M CaCl ₂ oldható foszfor tartalma az eltérő kezelésekben, 2004. év.....	80
7. ábra.	A talaj 0-40 cm rétegének AL oldható foszfor tartalma az eltérő kezelésekben, 2005. év.....	82
8. ábra.	A talaj 0-40 cm rétegének 0,01 M CaCl ₂ oldható foszfor tartalma az eltérő kezelésekben, 2005. év.....	85
9. ábra.	A talaj 0-40 cm rétegének AL oldható kálium tartalma az eltérő kezelésekben, 2004. év.....	91
10. ábra.	A talaj 0-40 cm rétegének 0,01 M CaCl ₂ oldható kálium tartalma az eltérő kezelésekben, 2004. év.....	93
11. ábra.	A talaj 0-40 cm rétegének AL oldható kálium tartalma az eltérő kezelésekben, 2005. év.....	96
12. ábra.	A talaj 0-40 cm rétegének 0,01 M CaCl ₂ oldható kálium tartalma az eltérő kezelésekben, 2005. év.....	100