

DEBRECENI EGYETEM
HANKÓCZY JENŐ DOKTORI ISKOLA

Doktori Iskola vezető:
Prof. Dr. Hodossi Sándor

Témavezető:
Prof. Dr. Loch Jakab
professor emeritus, az MTA doktora

**ÚJABB VIZSGÁLATI MÓDSZEREK ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGE A
TERMŐHELYSPECIFIKUS TÁPANYAG-GAZDÁLKODÁSBAN**

Készítette:
Bertáné Szabó Emese

**Debrecen
2016**

ÚJABB VIZSGÁLATI MÓDSZEREK ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGE A TERMŐHELYSPECIFIKUS TÁPANYAG-GAZDÁLKODÁSBAN

Értekezés a doktori (PhD) fokozat megszerzésére
a Növénytermesztési és Kertészeti Tudományok tudományágban

Írta: Bertáné Szabó Emese okleveles agrárkémikus-agrármérnök

Készült a Debreceni Egyetem Hankóczy Jenő doktori iskolája
(Növénytermesztési tudományok doktori programja) keretében

Témavezető: Prof. Dr. Loch Jakab, DSc

A doktori szigorlati bizottság:

elnök: Prof. dr. Kátai János, CSc, egyetemi tanár
tagok: Prof. dr. Fülekgy György, CSc, egyetemi tanár
Dr. Micskeiné dr. Csubák Mária, CSc, egyetemi docens

A doktori szigorlat időpontja: 2015. május 18.

Az értekezés bírálói:

A bírálóbizottság:

	név	fokozat	aláírás
elnök:			
tagok:			
titkár:			

Az értekezés védésének időpontja:

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉS.....	5
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	8
2.1. A tápanyag-gazdálkodás múltja és jelene Magyarországon.....	8
2.2. A műtrágyázási szaktanácsadás agrokémiai alapjai.....	14
2.2.1. Nitrogénformák a talajban.....	14
2.2.2. Nitrogén körforgalom.....	15
2.2.3. Foszfor a talajban.....	17
2.2.4. Kálium a talajban.....	19
2.3. A talaj tápelem-tartalmának vizsgálati módszerei.....	22
2.3.1. A hazai szaktanácsadásban alkalmazott N-vizsgálati módszerek.....	23
2.3.2. A talaj P- és K-ellátottságának hazai megítélése.....	25
2.4. A 0,01 M CaCl ₂ kivonószerezrel kapcsolatos hazai és nemzetközi tapasztalatok..	27
2.4.1. Nitrogén.....	28
2.4.1.1. Az N _{org} frakció jelentősége.....	28
2.4.1.2. Összehasonlító vizsgálatok eredményei.....	30
2.4.1.3. Tartamkísérletek eredményei.....	31
2.4.2. Foszfor.....	32
2.4.2.1. Összehasonlító vizsgálatok eredményei.....	32
2.4.2.2. Hazai tartamkísérletek eredményei.....	34
2.4.3. Kálium.....	35
2.5. A hazai és nemzetközi szakirodalom összefoglalása.....	37
3. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	39
3.1. Talajvédelmi Információs és Monitoring Rendszer.....	39
3.2. Tartamkísérletek.....	39
3.2.1. Karcag.....	40
3.2.1.1. A kísérleti terület agroökológiai jellemzői.....	41
3.2.2. Hajdúböszörmény.....	41
3.2.2.1. A kísérleti terület agroökológiai jellemzői.....	42
3.3. A kísérletekben alkalmazott vizsgálati módszerek.....	43
3.4. Mérlegszámítás és relatív termések meghatározása.....	43
3.5. Statisztikai értékelés.....	44
4. EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE.....	46

4.1.	Talajvédelmi Információs és Monitoring Rendszer.....	46
4.1.1.	Nitrogén.....	48
4.1.1.1.	0,01 M CaCl ₂ -al kivont NO ₃ -N.....	48
4.1.1.2.	0,01 M CaCl ₂ -al kivont NH ₄ -N.....	50
4.1.1.3.	A 0,01 M CaCl ₂ -al kivont N _{org}	52
4.1.1.4.	Nitrogén frakciók aránya a különböző termőhelyi kategóriák talajain.....	54
4.1.2.	Kálium.....	55
4.1.3.	Foszfor.....	59
4.2.	Karcagi tartamkísérlet.....	62
4.2.1.	Nitrogén.....	63
4.2.1.1.	A 0,01 M CaCl ₂ -al kivonható N frakciók.....	63
4.2.1.2.	A N-trágyázás hatása a 0,01 M CaCl ₂ -N frakciók mennyiségére.....	64
4.2.1.3.	A 0,01 M CaCl ₂ -N _{org} frakció alakulását befolyásoló tényezők.....	66
4.2.1.4.	A 0,01 M CaCl ₂ -N frakciók és az agronómiai N-mérleg kapcsolata.....	69
4.2.2.	Foszfor.....	74
4.2.2.1.	A 0,01 M CaCl ₂ -al kivonható P frakció.....	74
4.2.2.2.	A CaCl ₂ -P és AL-P alakulása a P-trágyázás függvényében.....	74
4.2.2.3.	A CaCl ₂ -P és AL-P valamint az agronómiai P-mérleg kapcsolata.....	76
4.2.2.4.	A 0,01 M CaCl ₂ -P és AL-P értékei közötti összefüggés.....	78
4.2.3.	Kálium.....	79
4.2.3.1.	A 0,01 M CaCl ₂ -al kivonható K frakció.....	79
4.2.3.2.	A CaCl ₂ -K és AL-K alakulása a trágyázás és meszezés függvényében.....	79
4.2.3.3.	A CaCl ₂ -K és AL-K valamint a kicserélhető K kapcsolata.....	81
4.2.3.4.	A CaCl ₂ -K és AL-K valamint az agronómiai K-mérleg kapcsolata.....	82
4.2.3.5.	Az AL-K és CaCl ₂ -K közötti kapcsolat.....	84
4.2.3.6.	A termés és a 0,01 M CaCl ₂ -os frakciók közötti kapcsolat.....	85
4.3.	Hajdúböszörményi tartamkísérlet.....	88
4.3.1.	A 0,01 M CaCl ₂ -al kivonható N frakciók.....	88
4.3.2.	A 0,01 M CaCl ₂ -al kivonható P frakció.....	89
4.3.3.	A 0,01 M CaCl ₂ -al kivonható K frakció.....	90
5.	KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK.....	92
5.1.	Talajvédelmi Információs és Monitoring Rendszer.....	92
5.2.	Karcagi tartamkísérlet.....	93

5.3. Hajdúböszörményi tartamkísérlet.....	94
6. ÖSSZEFOGLALÁS.....	96
7. SUMMARY.....	98
8. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	100
9. A GYAKORLATBAN HASZNOSÍTHATÓ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	101
10. IRODALOMJEGYZÉK.....	102
11. PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN.....	109
12. FÜGGELÉK.....	111
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	120
NYILATKOZAT.....	121

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉS

A magyar mezőgazdaság versenyképességét az agronómiai inputok felhasználásának hatékonysága döntő mértékben befolyásolja, sőt, a jelenlegi támogatási szint csökkenésével várhatóan tovább nő a jelentősége. A műtrágyázás ennek ellenére a mai magyar gyakorlatban nem eléggé céltudatos. Leggyakrabban a termelők rendelkezésére állnak ugyan a talajvizsgálati eredmények, ennek ellenére az eredmények értékelése és a tábla szintű tervezés is elmarad, vagy csak hatósági nyomásra, például a nitrát rendelet előírásainak betartása érdekében történik meg. A talajjal foglalkozó szakemberek azonban tisztában vannak vele, hogy a hazai talajok kémiai- és fizikai paramétereik tekintetében rendkívül heterogének, ezért a talajvizsgálati eredmények értékelését mellőző, megszokásokon alapuló műtrágyázás talajzsaroló vagy pazarló.

A hazai talajvizsgálatok sok évtizedes múltra tekintenek vissza, és ezzel párhuzamosan a tápanyag-gazdálkodási szaktanácsadásunk is nagy múltú. Az országos szintű állami szaktanácsadás az 1979-es MÉM-NAK-kal kezdődött, melynek módosítása már 1987-ben megtörtént. Ennek ellenére a korábbi, 1979-es határértékek használata terjedt el és tart még napjainkban is. A szaktanácsadási rendszer átalakítására történtek próbálkozások, jelenleg is folyik a tartamkísérletek eredményeit alapul vevő, módosított határértékekkel és új számítási móddal dolgozó ProPlanta program gyakorlati bevezetése.

A talajvizsgálati módszerek azonban nem változtak az évtizedek alatt, bár a hazai kutatók, a nemzetközi trendeket is követve folyamatosan kísérleteznek újabb talajvizsgálati módszerek kifejlesztésével vagy adaptálásával. Az újabb módszerek iránti igény több forrásból táplálkozik. A jelenleg használt, AL-P, AL-K és humusz tartalom alapján végzett szaktanácsadás egyik problémája, hogy a mért talajvizsgálati értékek nagymértékben függnak a talaj fizikai-, kémiai tulajdonságaitól. Az AL-P, AL-K részben, a humusz% pedig teljes mértékben a tápanyagtartalmak mennyiségével függ össze. Egy másik probléma, hogy a módszerek elsősorban a szántóföldi termesztésre lettek kifejlesztve, az intenzív kertészeti termesztés, különösen a védett termesztés más típusú szaktanácsadást igényel.

A hagyományos talajvizsgálati módszerek hibáit kiküszöbölhetjük, ha a könnyen hozzáférhető tápelemtartalom jellemzésére alkalmasabb módszert választunk, így viszont kevesebb információt kapunk a tápanyagtökről, és annak változásáról. Egy

nemzetközileg ismert talajkivonószer, a 0,01 M CaCl_2 vizsgálatát már 1990-ben megkezdték az akkori DATE Mezőgazdasági Kémiai Tanszékének munkatársai. Ennek köszönhetően a módszer hazai és nemzetközi szakirodalma nagy. A 0,01 M CaCl_2 hazai felhasználásához azonban az összes, szántóföldi termesztésre használt talajtípus tekintetében érvényes ellátottsági határértékek megállapítására van szükség. A 0,01 M CaCl_2 kalibrálását vagy a már használatban lévő módszerek segítségével végezzük el, vagy kalibrációs kísérleteket állítunk be. A hagyományos módszerekkel történő kalibrációra csak akkor van lehetőség, ha a kivonószer között szoros, szignifikáns összefüggés van, legalább a bizonyos talajtulajdonságok szempontjából homogén mintahalmazokon. Ha ez az összefüggés nem elég erős, akkor a főbb szántóföldi kultúrákban, több helyszínen, és több évjáratban kell beállítani kalibrációs kísérleteket, hogy valós összefüggést kapjunk a talajvizsgálat és a terméseredmények között.

A 0,01 M CaCl_2 módszer a nemzetközi szakirodalomban is sokat taglalt könnyen hozzáférhető szerves N egy frakciójának, a kivonható szerves N (extractable organic N – a továbbiakban N_{org}) tartalomnak a mérésére is lehetőséget ad. Ennek a talajparaméternek azért tulajdonítunk nagy jelentőséget, mert segíthet az adott évi mineralizáció becslésében. Tisztázatlan, vagy csak részben tisztázott viszont, hogy mennyire talajfüggő, esetleg évjáratfüggő az értéke, és befolyásolják-e az agrotechnikai tényezők.

A bemutatott előzményeket figyelembe véve a következő vizsgálatokat tűztem ki célul:

- a makroelemek ellátottságának megállapítására hagyományosan használt talajvizsgálati módszerek és a 0,01 M CaCl_2 által kivont tápelemtartalom közötti összefüggés vizsgálata nagy, reprezentatív mintahalmazon
- a hagyományos talajvizsgálati módszerek és a 0,01 M CaCl_2 által kivont tápelemtartalmak közötti összefüggés vizsgálata kötöttség, pH és karbonátosság tekintetében homogén mintahalmazon
- a 0,01 M CaCl_2 kivonószerben meghatározott N_{org} frakció alakulását befolyásoló talajtulajdonságok meghatározása nagy mintahalmazon
- a hagyományos és a 0,01 M CaCl_2 -os talajvizsgálati értékek összefüggésvizsgálata adott talajtípusú, de a trágyázás szempontjából heterogén mintahalmazon (trágyázási tartamkísérletek)

- a 0,01 M CaCl_2 -os talajvizsgálati értékek és a trágyázás, meszezés közötti összefüggések feltárása a tartamkísérletekben
- a tápanyagmérlegek és a 0,01 M CaCl_2 frakciók közötti összefüggés
- javaslatok, ajánlások kidolgozása a tápanyag-vizsgálati módszerek körének kibővítésére, a racionális, termőhelyspecifikus tápanyag-gazdálkodás megvalósítására.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A tápanyag-gazdálkodás múltja és jelene Magyarországon

A tápanyag-gazdálkodás, mint a trágyázást is magába foglaló, de annál szélesebb körű, átgondolt cselekvés, több mint százéves múlttal rendelkezik hazánkban. Az Országos Magyar Királyi Növénytermelési Kísérleti Állomásnak az 1800-as évek végétől tudományos igényű trágyázási kutatásai folytak az ország különböző részein. A kutatók a trágyázástan nemzetközi eredményeit jól ismerték, és ezeken, valamint saját vizsgálati eredményeiken alapuló tankönyveket, összefoglaló munkákat írtak. A teljesség igénye nélkül megemlíthetjük Cserhádi Sándor (Cserhádi és Kosutány, 1887; Cserhádi, 1900) vagy 'Sigmond Elek (Sigmond, 1904; 1930) munkásságát.

Az ezt megelőző időszak tápanyag-gazdálkodását az akkori gazdálkodási rendszerrel jellemezhetjük. Ditz (1867) a kiegyezés korabeli magyar mezőgazdaságot bemutató munkájában arról ír, hogy az egyes országokban már akkor is jellemző intenzív gazdálkodással szemben Magyarországon az extenzív, és talajzsaroló gazdálkodás uralkodott. Az Alföldön, a korábbi legelők feltörésével hosszú időn keresztül termékeny szántókat kaptak. Kezdetben ezeken a gazdag csernozjom talajokon a trágyázás akár káros is lehetett, mert nőtt a gabona megdőlésének veszélye. Cserhádi és Kosutány (1887) szerint az istállótrágyát ekkor még gyakran el is égették.

A kiegyezést követő fél évszázadban Magyarország elmaradt agrárországból fejlett élelmiszeriparral rendelkező, intenzív exporttevékenységet folytató agrár-ipari országgá vált (Romsics, 2005). Ebben része volt a mezőgazdasági termelés fejlődésének is. A háromnyomásos gazdálkodást felváltotta a vetésforgó, ami a rendelkezésre álló föld maximális kihasználását biztosította. Szükségessé vált az intenzívebb talajerő-gazdálkodás. Ez a századfordulóig szinte kizárólag a szerves trágyázást jelentette. Cserhádi (1900) szerint az 1880-as évek elejétől csökkenő terményárak a termékek ésszerű fokozására sarkallták a gazdákat, ami a korábbiakhoz képest ugrásszerű fejlődést jelentett. A Nyugat-Európában felhasznált mennyiségtől elmaradva ugyan, de a fejlettebb gazdaságokban a századforduló idején már rendszeres volt a műtrágyahasználat. Az egy hektár szántóra jutó műtrágya 1898-ban 4–5 kg volt, ami 1913-ig 21 kg-ra emelkedett (Szász, 1997).

A kor meghatározó személyisége Cserhádi Sándor (1900) növénytermelési szakkönyvében kijelenti, hogy a mesterséges trágyák az istállótrágyát teljesen sohasem pótolhatják. Majd hozzáteszi: „a mesterséges trágyaféléknek nem az a feladatuk, hogy főlegessé tegyék az istállótrágyát, hanem, hogy annak hatását kiegészítsék, növeljék, hiányait pótolják...Az istállótrágyát szaporítani kell addig, ameddig azt ésszerűen tenni lehet, és ha ezen kívül még célszerűnek mutatkozik a mesterséges trágyafélék alkalmazása, használjunk belőle annyit, amennyit csak haszonnal alkalmazhatunk.”

A trágyázás elméleti alapjait is ismertető munkájában 'Sigmond (1904) ekkoriban a következőképpen összegzi a trágyázás célját: „Okszerű trágyázásnak ugyanis azt mondjuk, mely a termést annyira fokozza, hogy nemcsak a trágyázás költsége térül meg, de még haszon is várható.” Emellett kiemeli, hogy a tápanyagok visszapótlása ne a statika szabályai szerint történjen, valamint, hogy a különböző termőhelyeken mást és mást jelent az okszerű gazdálkodás. A trágyaszükséglet megállapítását ekkor trágyázási kísérletekkel végezték, de 'Sigmond (1901) a talaj foszforellátottságának megítélésére kifejlesztette és tenyészedényes kísérletekkel kalibrálta a salétromsavas extrakciót, mely az első hazai, a műtrágyázási szaktanácsadás elősegítésére rendszeresen használt kémiai eljárás.

Az agrokémiai és növénytermesztési ismeretek bővülésének ellenére a 20. század első felében a tápanyag-gazdálkodás főbb mutatói (termésátlagok, istállótrágya termelés, műtrágya-felhasználás) érdemben nem változtak (Füleky, 1995).

A stagnálásnak több oka volt. A történelmi Magyarország mezőgazdasági területét egyharmadára csökkentő trianoni békeszerződés derékba törte a mezőgazdaság fejlődését. Megszakadtak a hagyományos termelési és árukapcsolatok. A világháborúk és a nagy gazdasági világválság hatásai mellett, az alacsony műtrágya felhasználás oka a kedvezőtlen agrárrollóban keresendő. Sarkadi (1975) szerint, míg 1975-ben 1 kg N-P₂O₅-K₂O hatóanyagot 2,2-1,7-0,5 kg búza árán lehetett megvásárolni, addig 1936-ban 1 kg hatóanyag 6,9-2,9-2,9 kg búza árába került.

Kádár (1997) kiszámította az 1930-as évek országos tápelemmérlegét, és jelentős hiányt tapasztalt a makrotápelemek tekintetében. A nitrogénnek több mint 80%-át, a foszfornak és káliumnak mintegy felét nem pótoltuk vissza évente trágyákkal. Becslése szerint az 1900-1950 közötti időszakban a talajok 40-50%-a gyengén ellátott nitrogénnel és foszforral. Ez megmagyarázza a termésátlagok stagnálását.

A két világháború közötti időszakban a kormányzat és a szakemberek egyaránt felismerték, hogy a terméshozamok növelésének kulcskérdése a műtrágyázás, ezért több

műtrágya propagandaakció is indult a műtrágyázás eredményességének megismertetésére és a hatást befolyásoló körülmények kísérleti vizsgálatára, de a II. világháborúval ez a folyamat megszakadt (Fülek, 1999).

Az 1960-as évek elején a keleti blokk országai elhatározták a termések 20 év alatti megkétszerezését. Magyarországon 1962-ben jelent meg az a kormányhatározat, amely célul tűzte ki felzárkózásunkat a nyugat-európai termésátlagokhoz (Bocz, 2002).

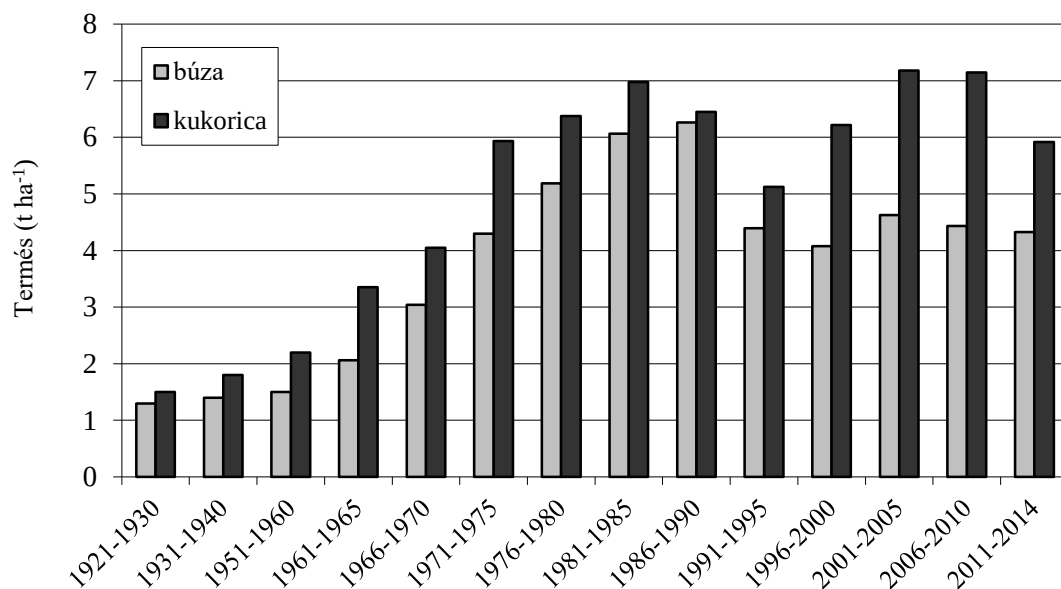
Bocz (1962) a nagy terméseredmények feltételrendszerét vizsgálva első helyen említette a megfelelő adagú műtrágyázás országos bevezetését. Az általa készített műtrágya felhasználási terv az 1951-60 között jellemző 20 kg alatti NPK hatóanyag-felhasználás fokozatos, 250 kg-ra emelését tűzte ki célul 1976-tól 1980-ig. A terv ellenőrzése és kivitelezése Láng Géza, Bocz Ernő, Györffy Béla és Sarkadi János nevéhez fűződik. Az említett növénytermesztők és agrokémikusok hazánk kedvező agrár-ökológiai adottságainak kihasználása és a stagnáló terméseredmények javítása céljából kidolgozták a tudományos alapokon nyugvó műtrágyázás rendszerét. A korábbi „több állat, több trágya, több termés” szemléletet felváltotta a „több tápanyag (trágya), több termés, több állat” koncepció (Bocz, 1976). Tekintettel arra, hogy az állatállomány trágyatermelése nem fedezte a növénytermesztés szerves trágya igényét, a fokozott műtrágya felhasználás mellett döntöttek. Az akkori és mai viszonyokat összevetve megállapíthatjuk, hogy ez napjainkban még inkább igaz, hiszen amikor Bocz 1962-ben megfogalmazta tápanyag-gazdálkodási stratégiáját az egy hektár mezőgazdasági területre jutó szamosállat létszáma 0,4 volt, míg napjainkban már csak 0,24.

A háború utáni korszak jelentős eredménye volt 1965-ben az Országos Egységes Műtrágyázási Tartam Kísérletek (OMTK) beállítása, melyek az ország több pontján még ma is fennmaradtak.

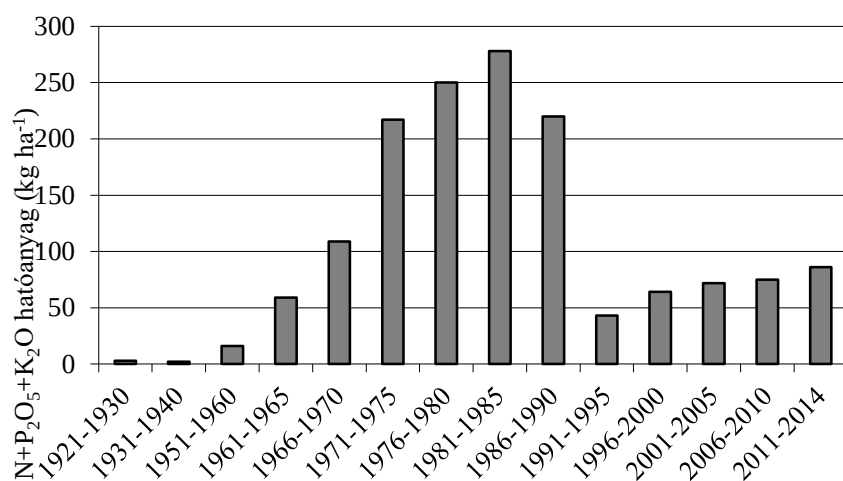
Loch (2004) szerint a hazai műtrágya-felhasználás alakulása öt szakaszra bontható: 1960 előtt kevesebb, mint 30 kg ha⁻¹ NPK műtrágya hatóanyagot használtunk országosan (1); 1960-75 között erőteljes növekedés figyelhető meg, az időszak végére 270 kg ha⁻¹ a műtrágya-felhasználás (2); 1975-85 között stagnál (3); 1985-90 között mérsékelten csökken (230 kg ha⁻¹) (4); 1990 után erőteljesen csökkent (30-40 kg ha⁻¹) a felhasznált NPK hatóanyag mennyisége (5). Az azóta eltelt 25 év folyamatos, de kisebb mértékű növekedést mutat.

A növekvő műtrágya-felhasználás hatására az országos tápanyag-mérleg az 1970-es években pozitívvá vált. Ennek, és a növénynevelés területén elért eredményeknek köszönhetően a búza és kukorica termésátlagok ugrásszerűen nőttek (1.

ábra). A műtrágya-felhasználás (2. ábra) és a terméseredmények (1. ábra) alakulását összevetve megállapítható, hogy a műtrágya felhasználás mélypontja egybe esik a termésátlagok csökkenésének időszakával.



1. ábra: A búza és kukorica termésátlagai (t ha⁻¹) 1921-2010 (KSH-adatok alapján)



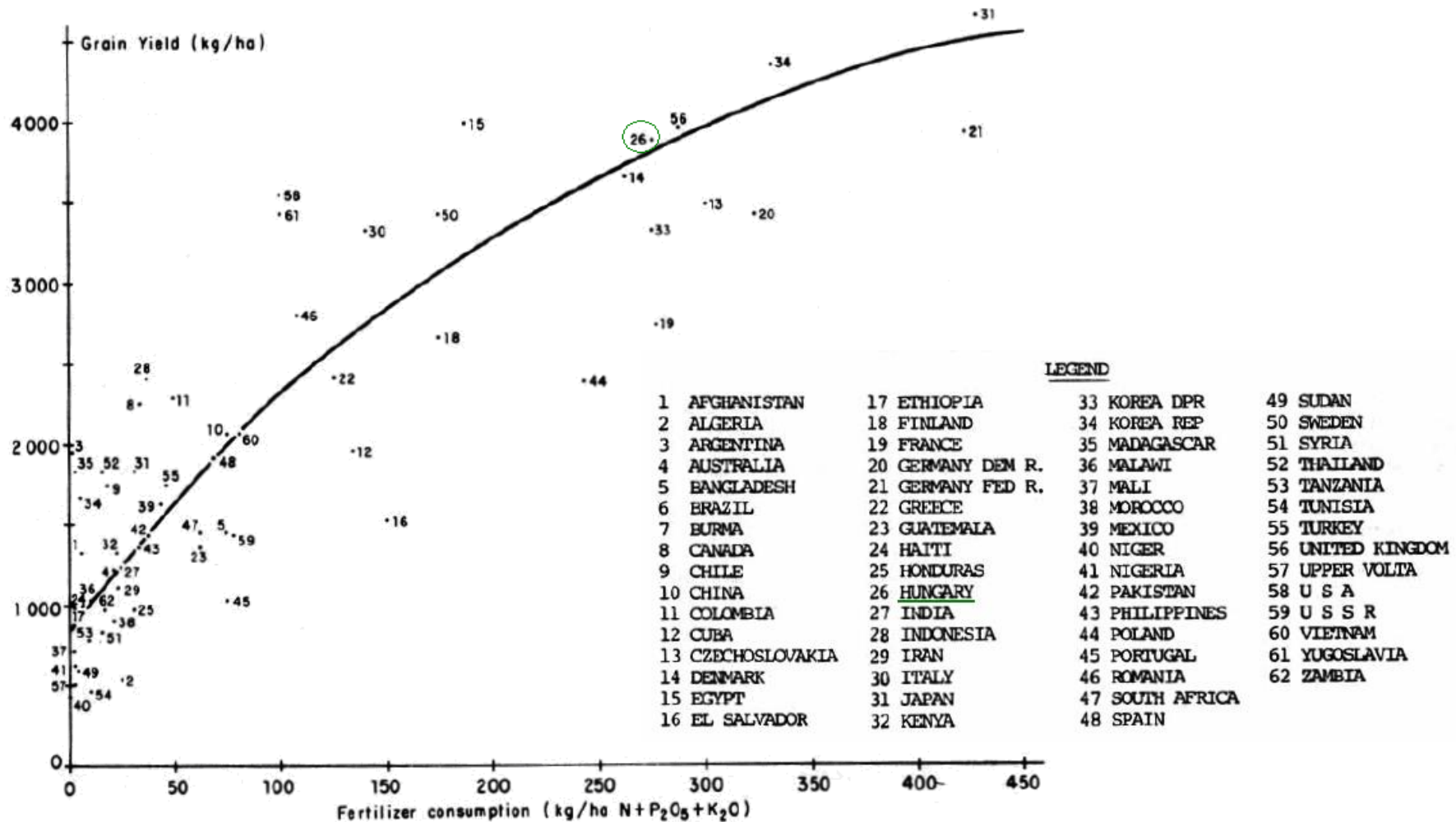
2. ábra: Műtrágya-felhasználás 1921-2010 között (KSH-adatok alapján)

A műtrágya-felhasználás és a gabona termésátlagok közötti összefüggést nemzetközi tapasztalatok is igazolták. A FAO (1981) által közölt vizsgálatok eredménye a 3. ábrán látható. Az ábrán 62 ország gabona termésátlagait az 1978-as évi NPK műtrágya-felhasználás függvényében ábrázolták. A nagyobb műtrágya-felhasználással rendelkező országok jellemzően nagyobb termésátlagokat értek el. Az adott évben hazánkat a jelentősebb gabonatermelő országok között öt előzi meg a termésátlagok tekintetében. Kijelenthető, hogy ekkorra Magyarország elérte, esetenként meghaladta a nyugat-európai termésátlagokat.

A talajt gazdagító trágyázás két évtized után, a 90-es évek elején megszakadt és a főbb tápelemek országos mérlege ismét hiánnyal zárult (Kádár, 1997). A trágyázás hatása a talajok könnyen oldható tápanyagkészletének változásában is észlelhető. Pálmai és Horváth (1998) Fejér megyei gazdaságokban vizsgálták a műtrágyázás hatását a talajok könnyen oldható tápelem-tartalmára. A talajok foszfor- és káliumellátottsága a növekvő felhasználás időszakában javult, a csökkenés időszakában pedig átlagosan egy ellátottsági kategóriával romlott.

A hazai műtrágya-felhasználás alakulását a nemzetközi tendenciákkal összevetve megállapítható, hogy 1990-95 között világméretű recesszió volt jellemző. Ez a volt kommunista országok gazdasági krízisével, míg Nyugat-Európában környezetvédelmi megfontolásokkal magyarázható.

Magyarországon az alacsony műtrágyázási szint 1995 óta mutat javuló tendenciát. Az utóbbi években megközelítette a 100 kg ha^{-1} NPK hatóanyag felhasználást. Ezen belül mind a foszfor-, mind a kálium-felhasználás nőtt, javultak a tápelemarányok. Csathó és Radimszky (2005) 2000-ig számította az ország környezetvédelmi- és agronómiai szemléletű NPK mérlegeit. A 90-es évek elején tapasztalt visszaesést követően a mérlegek javuló tendenciát mutatnak, de 2000-re egyedül az éves nitrogénmérlegek váltak pozitívvá, míg a foszfor- és káliummérleg a több input tényezőt is figyelembe vevő környezetvédelmi szemléletű számítás esetén is negatív.



3. ábra: Gabonatermések és műtrágya hatóanyag-felhasználás 62 jelentős gabonatermelő országban (FAO, 1978)

2.2. A műtrágyázási szaktanácsadás agrokémiai alapjai

A talaj tápanyag-ellátottságának meghatározására használt módszerek értékeléséhez szükséges megismerni a talajban jelenlévő tápelemformákat, a tápelemek körforgását. Emellett a korábban alkalmazott talajvizsgálati módszerek, és az azokkal nyert tapasztalatok ismerete is szükséges.

2.2.1. Nitrogénformák a talajban

A művelt réteg összes nitrogéntartalma ásványi talajokon 0,02-0,4% közötti érték (Mengel és Kirkby, 2001). Ennek 95%-a szerves formában található, és a talaj szerves anyaga átlagosan 5%-os N tartalommal rendelkezik. A szerves nitrogénformák között a növény számára felvehető nitrát-N és ammónium-N, valamint a nitrifikáció során képződő köztes forma, a nitrit-N van jelen. Utóbbi mennyisége jól szellőző talajokon elhanyagolható.

A N eloszlása a talajszelvényben szorosan összefügg a szerves anyag eloszlásával (Brady és Weil, 2004). A szerves kötésű nitrogén a talaj tápanyagtőkéje, potenciálisan mobilizálódó nitrogén-tartalma (Tisdale et al., 1993).

A talaj szerves nitrogéntartalma növényi, állati és mikrobiális eredetű szerves anyagokból származik. A részlegesen lebomlott, azonosítható kémiai szerkezetű szerves anyagokat nem-humusz anyagoknak nevezzük. A nem humuszhoz kötött szerves N az elhalt növényi részek és mikroszervezetek N tartalma. A humusz anyagok pontos kémiai szerkezete nem ismert, funkciós csoportokban gazdag makromolekulás anyagok, a biológiai bontásnak ellenálló, stabil vegyületek alkotják (Filep et al. 1997.). A humusz anyagok N tartalma Schulten és Schnitzer (1998) szerint nagyrészt fehérjékből, peptidekből és aminosavakból (~40%), valamint N tartalmú heterociklikus vegyületekből (~35%) áll.

A talaj szerves anyagait csoportosíthatjuk felezési idejük, a mineralizációval szembeni rezisztenciájuk alapján, amely a szerves anyag modellek alapját is képi (Parton et al., 1987; Jenkinson és Rayner, 1977). Megkülönböztethetünk aktív (labilis) és passzív (stabil) szerves anyagokat (Brady and Weil, 2004). Gyakran egy harmadik, lassan mineralizálódó csoportot is elkülönítenek, amely stabilitása az előző kettő közötti (Wander, 2004).

Az „aktív” szerves anyag felezési ideje napokban, esetleg pár évben mérhető, és ide sorolhatjuk a még azonosítható kémiai szerkezettel rendelkező növényi maradványokat, vagy a mikrobiális biomasszát, de akár egyes humusz anyagokat is. Az ezek mineralizációja során képződő N mennyiségét legpontosabban inkubációs vizsgálatokkal becsülhetjük (Curtin és Campbell, 2006), bár a kevésbé költséges és időigényes kémiai módszerek kifejlesztése évtizedek óta foglalkoztatja a kutatókat. A labilis, könnyen bontható szerves anyagok egyik frakciója a talajoldat szerves anyag tartalma (Dissolved Organic Matter, DOM). Ez a frakció, bár a talaj összes szerves anyagának csupán 0,04–0,2%-át adja (Zsolnay, 1996), fontos szerepet játszik a tápanyagok, nehézfémek talajszelvényben való mozgásában (Murphy et al. 2000, Zsolnay 1996), és befolyásolja a talaj mikrobiális aktivitását (Chantigny, 2003). Haynes (2005) szerint ezt a frakciót a részben lebomlott növényi maradványokból, a mikrobák és gyökerek által kiválasztott, valamint az oldhatatlan szerves N hidrolíziséből származó szerves anyagok alkotják. A talajoldat szerves N tartalma (Dissolved Organic Nitrogen, DON) a talaj összes szerves N tartalmának csupán 0,1-3%-a (Haynes, 2005).

A lassan mineralizálódó szerves anyagok felezési ideje pár évtől évtizedekig terjedhet, és különböző, részlegesen lebontott szerves anyagok, és a humusz egy része is ide sorolható.

A stabil szerves anyagok, mint a lebontó folyamatoknak ellenálló makromolekulák (lignin) és a humin felezési ideje évtizedes, évszázados nagyságrendű.

2.2.2. Nitrogén körforgalom

A talaj N tartalmát a N körforgalom talajt gazdagító folyamatai, mint a műtrágyázás, szerves trágyázás, növényi maradványok talajba jutása, biológiai nitrogénkötés, és a veszteségforrások, mint a növényi nitrogénfelvétel, a denitrifikáció, a nitrogénkimosódás, és lúgos talajokon az ammóniagáz távozása, határozzák meg (Curtin és Campbell, 2006; Kádár 1997).

A légköri nitrogént a növények nitrogénellátása szempontjából tartalékforrásnak tekinthetjük. A légköri nitrogén megkötésére alkalmas mikroszervezetek között vannak szimbióta és szabadon élő aerob, vagy anaerob fajok. A szabadon élő fajok nitrogénkötése nagymértékben függ a környezeti feltételektől (a talaj pH-ja, oxigéntartalma, szerves N tartalma). Hazai viszonyok között a szabadon élő mikroszervezetek által megkötött N mindössze 2-40 kg/ha (Loch és Nosticzius, 2004).

Mezőgazdasági szempontból legfontosabbak a pillangósok (Fabaceae) gyökérgümőiben élő szimbióta *Rhizobium* és *Bradyrhizobium* fajok. Ezek évente 100-200 kg/ha nitrogént kötnek meg. A pillangós növény fejlődésének kezdeti szakaszában még nitrogén-táplálásra szorul, később azonban a talaj szervesetlen nitrogéntartalma gátolja a nitrogénkötést (Mengel és Kirkby, 2001).

A talaj nitrogénkészletét elsősorban a növény tápelem-felvétele csökkenti, de jelentős veszteséget idézhet elő anaerob viszonyok között a nitrát redukciója molekuláris nitrogénné (denitrifikáció), ami még jól szellőző talajokon is a kiadott műtrágyaadag 15 %-a, tömődött talajokon pedig akár 30 %-a is lehet (Loch és Nosticzius, 2004). Osztatlan, nagy adagú karbamid trágya kijuttatása, vagy lúgos talajokon az ammónium iont tartalmazó műtrágyák alkalmazása során az ammóniagáz távozása is veszteséget okozhat. A veszteségforrások között szerepel a nitrát lemosódása, amelynek csökkentése környezetvédelmi szempontból is fontos. A nitrát kimosódás mértékét meghatározza az alkalmazott N adagok nagysága, a talaj nitrát-tartalma, az átszivárgó csapadék mennyisége, valamint a talaj kötöttsége. Évente akár 50 kg ha⁻¹-os veszteséget is okozhat, ezért szükséges a nitrogénadagok megosztása, valamint tavaszi növények esetén az őszi nitrogéntrágyázás lehetőség szerinti elhagyása (Loch, 2006). Nitrifikációs inhibitorok (nitrapyrin, diciándiamid) alkalmazásával is csökkenthető a lemosódás mértéke.

Az ammóniumionok fixálása során a N a talajban marad, azonban a növények számára hozzáférhetetlen, így ez sem elhanyagolható a tápanyag-gazdálkodás szempontjából. Az ammóniumionok nagyobb része a 2:1 típusú agyagásványok rétegei között fixált állapotban van (Guo et al., 1983), míg kisebb része a talajkolloidokon, kicserélhető formában található. A két forma arányát befolyásolja a talaj agyagásvány-összetétele, adszorpciós komplexuma és annak telítettsége is. A kicserélhető formában lévő ammóniumionok és a talajoldat ammóniumion tartalma egyensúlyban van.

A szerves nitrogéntartalom 1-2 %-a mobilizálódik évente (Mengel és Kirkby, 2001). A mineralizáció során először a nagy molekulák hidrolízise játszódik le aminosavakra és amino-cukrokra, majd ezek oxidációja és dezaminálása során ammónia keletkezik, mely a talajoldatban elnyelődik. Ezt nevezzük ammonifikációnak. A folyamatot heterotróf baktériumok katalizálják, melyeknek szükségük van szerves, kis molekulatömegű szénvegyületekre is. Az ammonifikációt a vízhiány és az alacsony hőmérséklet gátolja.

Az ammóniumionok oxidációja két lépésben megy végbe, előbb nitrit, majd nitrát képződik. A nitrifikáció lépéseit külön autotróf baktériumcsoportok végzik. Az ammóniumiont a *Nitrosomonas*, *Nitrosolobus* és *Nitrospira* nemzetségek fajtái oxidálják nitritté, míg a nitrit-nitrát átalakulást *Nitrobakter* fajok katalizálják. A nitrit felhalmozódását az akadályozza meg, hogy a két folyamatot a baktériumcsoportok egymással szoros kapcsolatban, párhuzamosan végzik. Levegőtlen körülmények között, és savanyú talajokon a nitrifikáció gátolt, az ammóniumionok halmozódnak fel. Scheffer és Schachtschabel (2010) szerint az optimális pH-intervallum 5,5 és 8 közötti. Beck (1983) szerint a nitrifikáció optimális hőmérséklete 26 °C. A nedves közeg és a meleg időjárás elősegíti a nitrifikációt, így a mi éghajlatunkon tavaszi és őszi maximuma figyelhető meg, míg a nyári szárazság idején a növények nitrogénellátása veszélybe kerülhet.

A mineralizáció sebessége függ a talaj C/N arányától. Ha ez az érték 30 fölötti, a mikroorganizmusok a monomereket saját szervezetük felépítésére használják, és a lebontás során nem nő a talaj ásványi nitrogéntartalma (Mengel, 1996). A gyakorlatban ez a folyamat a kukoricaszár vagy a szalma alászántása után okozhat nitrogénhiányt a talajban, ilyenkor ugyanis a C/N arány akár 50-100 is lehet (Loch, 2006). Ezt hívjuk pentozán hatásnak. A mineralizáció sebessége ezen kívül függ még a növényi maradványok szerves-anyag összetételétől, és a talajtulajdonságoktól (Cabrera et al., 2005). A talajtulajdonságok közt kiemelhetjük a talaj agyagkolloid tartalmát. Jenkinson és Rayner (1977) szerint a kolloidok adszorbeálják a szerves N-t, így megvédik azt a mikrobiális bontástól. Ezzel szemben Guggenberger és Kaiser (2003) úgy véli, hogy az oldott szerves anyag adszorpciója a talaj szerves-ásványi komplexeinek felületén elősegíti annak mineralizációját.

2.2.3. Foszfor a talajban

A foszfor a talajban szerves és szervesetlen formában, túlnyomórészt oldhatatlan és kötött formában van jelen. A szerves frakció aránya ásványi talajokon 20-80 % között változhat (Mengel és Kirkby, 2001), és nagyrészt inozit-hexafoszfát észterekből áll. A szerves foszfor mineralizációja lassú, csak magas hőmérsékleten intenzív.

A szervesetlen foszfortartalom a növénytáplálás szempontjából két részre bontható. A natív eredetű hidroxipapatit, fluorapatit és klórapatit alkotják a lassan mobilizálódó tartalékokat, míg az apatitok mállástermékei és a műtrágyák

átalakulásával kialakult új képződmények foszfortartalma gyorsabban válik hozzáférhetővé.

Az erősen savanyú talajokon oldhatatlan alumínium- és vas-foszfátok képződnek, míg pH 7 felett és nagy kalcium túlsúly esetén oldhatatlan kalcium-foszfátok keletkeznek. A kalcium arányának növekedésével a vízdíszítható monokalcium-foszfátból oldhatatlan kalciumfoszfátok, majd apatitok képződnek. Ez a folyamat a foszfátreverzió, mely a gyengén lúgos, meszes talajokon kedvezőtlenül befolyásolja a műtrágyák hasznosulását.

A talajoldat foszfortartalmát csökkenti az anionadszorpció, melynek Parfitt (1979) szerint két formája van:

- nem specifikus adszorpció: a foszfátionok protonált hidroxil- és karboxilcsoportokhoz kötődnek elektrosztatikusan
- specifikus adszorpció: a foszfátionok a változó töltésű ásványi kolloidok (Fe-, Al- és Mn-oxidok/hidroxidok) felületén lévő ligandumokhoz kapcsolódnak, s beépülnek a felületbe.

Mindkét folyamat pH függő, savanyú talajokon jellemző.

A foszfátionok a humuszkolloidok felületén is megkötődhetnek, Fe és Al hidakon keresztül. Gerke és Hermann (1992), valamint Gerke (1993) bizonyították, hogy a Fe-, Al-humusz komplexek foszfát adszorpciója jelentősebb, mint az amorf Fe-, Al-oxid/hidroxidoké.

Míg a natív P tartalom, a fixált P és a humusz P tartalma gyakorlatilag nem hozzáférhető, a frissen kicsapódó vegyületek, továbbá az adszorpciós komplexumon kötött P egyensúlyban van a talajoldat foszfátionjaival. A foszfor vegyületek oldhatósága nagymértékben függ a pH-tól. A kalcium-foszfátok oldhatósága savanyú, a vas- és alumínium-foszfátok oldhatósága pedig lúgos közegben nagyobb. A foszforvegyületek oldhatóságát figyelembe véve az 5,5 és 7,0 közötti pH a legkedvezőbb. Anaerob körülmények között a Fe(III) redukciója is foszfátionok felszabadulásához vezet a talajban (Scheffer és Schachtschabel, 2010).

A talajoldat P tartalma 2-3 nagyságrenddel kisebb, mint az adszorbeált P mennyisége (Mengel és Kirkby, 2001). A növények a foszfort a talajoldatból H_2PO_4^- és HPO_4^{2-} formájában veszi fel, de a szerves foszfátokat: glicerín-foszfát, cukor-foszfátok, inozit-foszfát, nukleinsavak is képesek hasznosítani, miután foszfát ionokat hasítanak le belőlük a gyökérfelületen.

Az aktuálisan felvehető formában lévő P, melyet intenzitási paraméternek tekinthetünk (Mengel és Kirkby, 2001), töredéke a növény által a tenyészidőszak folyamán igényelt P mennyiségének, így a talajoldat foszfortartalmának többször meg kell újulni (Tisdale et al., 1993; Buzás, 1987; Mengel és Kirkby, 2001). A talaj azon tulajdonságát, hogy a talajoldat P koncentrációját egy adott értéken képes tartani a növényi P-felvétel ellenére, P puffer kapacitásnak nevezzük (Mengel és Kirkby, 2001; Scheffer és Schachtschabel, 2010). Mivel a talaj P pufferoló képessége összefügg a könnyen hozzáférhető tartalékok mennyiségével, ennek meghatározása is hozzásegít a talaj foszforszolgáltató képességének megítéléséhez.

Megállapíthatjuk, hogy a talaj P-szolgáltatását főként a pH, a karbonát tartalom, az agyagfrakció, valamint a szerves kolloidok mennyisége és minősége befolyásolja.

2.2.4. Kálium a talajban

A talajok összes K tartalma 0,2-3,3 % között változik. Ez függ az alapkőzettől, és a talajképződés körülményeitől, mint például a mállás és kimosódás mértékétől. A kálium döntően szervesetlen formában van jelen a talajban. A nagy kvarc tartalmú homoktalajok és a szerves talajok káliumban szegények, mivel a K legfőbb tartalékai a primer és szekunder szilikátok. A talajban négy K-formát különböztetünk meg (Römhöld és Kirkby 2010):

- ásványok kristályrácsaiban (strukturális K)
- a 2 : 1 típusú agyagásványok rétegrácsai között fixált K
- kicserélhető, az agyag és humuszkolloidokhoz gyengén kötött K
- K^+ -ion a talajoldatban

Ezek a növények számára különböző mértékben hozzáférhetőek. Az összes K 80-98 százalékát kitevő strukturális káliumot gyakorlati szempontból nem hozzáférhetőnek is tekinthetjük, mivel nagyon lassan válik felvehetővé. A káliumtartalékok legnagyobb részét képező primer szilikátok közül legfontosabbak a földpátok (káliföldpát) és csillámok (muszkovit, biotit). A primer szilikátok kémiai és fizikai átalakulása során szekunder szilikátok (agyagásványok) keletkeznek. Példa erre a csillámok vermikulittá alakulása, melynek során a káliumot kicserélő hidratált magnéziumionok fellazítják a rácsszerkezetet, és a csillámok rétegrácsai közötti távolság megnő (Mengel és Kirkby, 2001).

A folyamat során Farmer és Wilson szerint a következő átalakulások mennek végbe: csillámok (mintegy 10 % K) → hidrocillám (6-8 % K) → illit (4-6 % K) → átmeneti ásványok (3 % K) → vermikulit vagy szmektit (< 2 % K).

Az agyagkolloidok mennyisége, az agyagásvány-összetétel és a jellemző agyagásvány-társulások nagymértékben befolyásolják a talaj oldható K tartalmát, K-pufferoló képességét és az összes K mennyiségét. Talajaink domináló agyagásványai az illit, vermikulit, szmektit, klorit és kaolinit. Kémiai összetételük és a talaj K-háztartásában betöltött szerepük eltérő.

A klorit és kaolinit K-tartalma kicsi, 0-8 g kg⁻¹, a K-raktározó képességük és a K-fixálásuk sem jelentős. K-szolgáltató agyagásvány az illit, melynek az agyagásványok között a legnagyobb a káliumtartalma (32-56 g kg⁻¹) míg K-kötők a vermikulit (0-16 g kg⁻¹) és szmektit (0-4 g kg⁻¹) (Scheffer és Schachtschabel, 2010). Magyarország agyagásvány-társulásainak térképét Stefanovits és Dombóváriné (1985) készítették el. A talaj agyagásvány-összetételének ismeretében meghatározható a K-kötési értékszám és a K-szolgáltatási hányados, melyek segítségével megítélhetjük a talaj K-szolgáltató képességét (Stefanovits, 1993). A talajok ásványtani vizsgálata azonban túl időigényes és költséges ahhoz, hogy a szaktanácsadási gyakorlatban is elterjedhetne.

A kálium az agyagkolloidokhoz kétféle módon kötődhet:

- kationadszorpcióval a kolloidok felületén és a törésvonalak mentén,
- a rétegrácsok között, fixáltan.

A kationadszorpció a negatív töltésű felületeken történik. Az agyagásványok állandó töltései izomorf helyettesítés következtében jönnek létre, a változó töltések pedig a törésfelületeken elhelyezkedő szilícium-OH és alumínium-OH csoportok disszociációjával keletkeznek, és kialakulásuk pH-függő. A kolloidok felületén és a törésvonalak mentén adszorbeált K kicserélhető, a növények számára könnyen hozzáférhető. Az összes K 1-2 %-a.

A 2:1 típusú agyagásványok által fixált K specifikusan kötődik a rétegrácsok között, az ásványok elvesztik duzzadókéességüket, és a K csak mállással válik újra hozzáférhetővé. A K-fixálás főként a nagy agyagtartalmú, szmektites talajokon jellemző. A fixált K a talaj összes K-tartalmának 1-10 %-a, és bár lassan válik felvehetővé, egyes talajokon fontos szerepe van a növények tápanyagellátásában (Römheld és Kirkby, 2010).

A talaj szerves kolloidjain és a szerves-szervetlen komplexeken is találhatók változó töltésű felületek, amelyek szerepe nagy szerves anyag tartalmú talajokon nem elhanyagolható.

A talajoldat az a közeg, amelyből a növények közvetlenül jutnak a tápelemekhez. A talajoldat K tartalma a kicserélhető kálium mindössze 1-2 százaléka. A kicserélhető kálium és a talajoldat káliumtartalma között dinamikus egyensúly áll fenn, ez azonban másként alakul laza és kötött talajokon. Homoktalajon a kicserélhető K tartalom növekedésével nagyobb mértékben növekszik az egyensúlyi talajoldat káliumion koncentrációja, mint agyagtalajon. Ennek oka a K^+ -ionok kötődése az agyagkolloidok felületén, törésfelületein és a rétegrácsok között. Tehát azonos mennyiségű kicserélhető kálium egy homoktalajon nagyobb K^+ -ion koncentrációt eredményez a talajoldatban (Loch és Nosticzius, 2004).

A növények számára a tenyészidőszak során az oldott és lazán kötött K hozzáférhető. Ha elegendő K van könnyen kicserélhető formában, az egyensúly gyorsan beáll a két forma között.

A növény megfelelő K-ellátása szempontjából elengedhetetlen, hogy a mobilizálható tartalékok (A), és a talaj felvehető tápelem tartalma (B) együttesen fedezze a növény tápanyagigényét (C):

$$[A] + [B] \geq [C]$$

Ha az előbbi kritérium teljesül, az még nem jelenti, hogy a talaj K-szolgáltatása megfelelő. A növény K-ellátása csak akkor biztosított, ha a tartalékok mobilizálódása folyamatos. A talaj K-szolgáltató képessége az átalakulás sebességétől függ, ezért az aktuálisan felvehető tápelem-tartalom mellett a tartalékok mobilizálódásának sebességét is figyelembe kellene vennünk. A gyakorlatban ez nem megvalósítható, a talaj K-szolgáltató képességére a különböző mértékben oldható, kicserélhető K készletek mennyisége alapján következtethetünk.

2.3. A talaj tápelem-tartalmának vizsgálati módszerei

Agrokémiai szempontból a talaj tápanyag-vizsgálati módszerek a talaj összes és könnyen oldható makro- és mikroelem tartalmának meghatározásával foglalkoznak (Debreczeni, 1979). A talaj tápelem-tartalmának meghatározásával a talaj tápanyag-szolgáltatásának jellemzése a célunk, így a gyakorlati tápanyag-utánpótlás számára a tápanyagtőke keveset mond, mert nem tudni, hogy ebből mennyi és mikor válik a növény számára felvehetővé.

A talajvizsgálatok fejlődésének kezdeti időszakában még lehetségesnek látszott olyan módszer kifejlesztése, mely alapján a javasolt műtrágyaadag mennyisége pontosan megadható. Később nyilvánvalóvá vált, hogy a talajban lejátszódó folyamatok jellemzésére önmagában alkalmas kivonószer nem létezik, a tápelem-szükséglet csak becsülhető (Sarkadi, 1975).

A talajvizsgálattal kapott eredménynek összefüggésben kell lennie a növény számára felvehető tápanyagok mennyiségével. 'Sigmond (1904) ezt a frakciót úgy említi, mint „könnyebben oldható részek, melyeket a növényzet könnyen felvehet”, és azt írja, hogy a szakirodalomban a könnyen felvehető tápelem-tartalom meghatározására már akkor különféle kivonószereket ajánlottak, de a módszerek gyakorlati értékét egybehangzó kísérleti eredményekkel nem igazolták.

Azóta számtalan módszert dolgoztak ki és használnak a könnyen hozzáférhető tápelem-tartalom meghatározására, de a 20. század második felétől a gyakorlati laboratóriumok az egész világon szinte kizárólag kémiai vagy fizikokémiai módszerekkel becsülik a talaj tápelem-tartalmát (Sarkadi, 1975).

A kivonószerek lehetnek savanyú vagy lúgos oldatok, semleges sóoldatok, illetve pufferoldatok. A növények a tápanyagok oldott és kicserélhető formáit képesek felvenni, így az egyes szaktanácsadási rendszerekben alkalmazott kivonószerek is ezek meghatározására törekszenek. Az erélyesebb (savanyú, nagy só-koncentrációjú) extraháló szerek azonban több tápanyagot vonnak ki és a tartalékok egy részét is oldják (Novozamsky és Houba, 1987).

Loch (2006) szerint a kivonószerek egyike legyen alkalmas a könnyen oldható és kicserélhető készletek, a másik, erélyesebb oldat, pedig a könnyen mobilizálódó tartalékok kivonására, míg Buzás (1987) rámutat arra, hogy az aktuális készletek meghatározásán kívül a tartalékkészletek átalakulási sebességét is figyelembe kell vennünk az ellátottság jellemzésére.

2.3.1. A hazai szaktanácsadásban alkalmazott N-vizsgálati módszerek

A nitrogénellátottság vizsgálatára biológiai és kémiai módszereket használhatunk. A szaktanácsadás szempontjából napjainkban csak a kémiai talajvizsgálatoknak van jelentősége. A talaj összes N tartalmát meghatározhatjuk kénsavas roncsolással (Kjeldahl-nitrogén) vagy az égetéses Dumas eljárással. Elterjedt a hidrolizálható szerves N tartalom meghatározására a 6 M sósavas hidrolízis (Bremner, 1965), míg az ásványi N formák mennyiségét híg sóoldatokban vizsgálhatjuk.

A hazai szaktanácsadás évtizedek óta a talaj összes nitrogéntartalma vagy a humusztartalma és a talajtulajdonságok alapján határozza meg a talaj nitrogénellátottságát.

Ugyan 'Sigmund (1904) a talaj nitrogénigényének meghatározására a trágyázási kísérleteket javasolja, a „Talaj elemzése” című fejezetben a nitrogénszolgáltatás jellemzéséhez a humusztartalom meghatározását ajánlja. Emellett közli a nitrifikáló és denitrifikáló baktériumok viszonylagos mennyiségének és aktivitásának mérési módszerét és rámutat a nitrogéntartalékok bomlása valamint a mikrobák mennyisége közötti összefüggésre.

Prettenhoffer (1944) (in: Ballenegger és Mados, 1944: Talajvizsgálati módszerkönyv) szerint „természetes viszonyok között a talaj nitrogénállapota attól függ, hogy a talajban mennyi mineralizálható, szerves-kötésű nitrogén van, és hogy a talaj biológiai állapota a talaj szerves kötésű nitrogénkészletének feltáródását milyen mértékben tudja biztosítani”. A nitrogénellátottság megállapítására a nitrogéntartalommal összefüggő összes szervesanyag és humifikált szervesanyag, az összes Kjeldahl-nitrogén, a Várallyay-féle érleléses eljárást, valamint az ammónium- és nitrát-nitrogén KCl-os kivonatból történő meghatározását közli.

A későbbi módszerkönyvek (Ballenegger, 1953; Ballenegger és Di Gléria, 1962) is kiemelik, hogy a talaj nitrogénszolgáltató képességét a mikrobiológiai folyamatok intenzitása és iránya befolyásolja, és mivel ezekre több környezeti tényező, mint a talaj nedvességtartalma, hőmérsékleti viszonyok, levegő ellátottság, kémhatás, C/N arány is hat, a talaj nitrogénszolgáltatását egy mintavétellel nem jellemezhetjük. Prettenhoffer, Krámer és Debreczeniné (1962) (in: Ballenegger és Di Gléria, 1962: Talaj- és trágyavizsgálati módszerek) szerint a nitrogén-szolgáltató képesség meghatározásához folyamatosan vett talajminta-sorozat vizsgálatára, vagy érleléses eljárásra van szükség. Az ásványi nitrogénformák kivonására az 1 %-os KCl oldatot ajánlják, valamint közlik

a talaj könnyen felvehető nitrogéntartalmának meghatározását híg kénsavval, Tyurin szerint, mely módszerrel a könnyen bontható szerves nitrogénformákat is meghatározhatjuk.

Sarkadi (1975) szerint, mivel a talaj ásványi nitrogéntartalma gyorsan változik, a 3-4 évente végzett talajvizsgálatok során nincs értelme a közvetlenül felvehető formák vizsgálatának, ezért a tenyészidőszak során képződő NO_3^- mennyiségét az összes nitrogéntartalom alapján, a következőképpen becsli:

$$\text{Nitrogénszolgáltató képesség} = N * f * 300 \text{ (kg/ha)}$$

A talajok kötöttségétől és képződési viszonyaitól függő f szorzófaktorral veszi figyelembe a nitrifikációs viszonyokat.

A jelenlegi szaktanácsadási gyakorlat a már korábban említett elvek szerint a nitrogénellátottságot a humusztartalom alapján, a termőhelyi kategóriák, és a kötöttség figyelembe vételével határozza meg (Buzás et al., 1979). Ismert tény, hogy a talaj humusztartalma viszonylag állandó, az egyes talajtípusokra jellemző érték. Ebből a tenyészidőszak során mineralizálható nitrogén mennyisége csak a mineralizációt befolyásoló talajtulajdonságok ismeretében becsülhető. A humusztartalom alapján történő szaktanácsadást nehezíti, hogy a humusz mennyiségét a műtrágyázás rövidtávon nem befolyásolja. Zsigrai és Szabó (2008) szerint a karcagi OMTK kísérlet B17-es változatában a tartam-trágyázás hatása a humusztartalomra csak 40 év elteltével volt kimutatható.

A nitrogénszolgáltató képességet jellemezhetjük mikrobiológiai, érleléses (inkubációs) eljárásokkal is. Ezek az érlelés során ásványosodó nitrogén mennyiségét mérik meg közvetlenül vagy közvetve. Az érlelés módjától, időtartamától, hőfokától, a talaj nedvességtartalmától és egyéb tényezőktől függően több érleléses módszer létezik. Hazánkban legismertebb az id. Várallyay György által kidolgozott eljárás (Várallyay, 1940).

Az érleléses módszerek időigényességük miatt nem alkalmasak sorozatvizsgálatokra, így ezeket napjainkban nem használják a gyakorlatban.

Az ősszel és tavasszal vett mintákban meghatározott ásványi nitrogénformák mennyisége alapján tesz ajánlást a fejtrágyázásra az $N_{\min}$ módszer (Wehrmann és Scharpf, 1979). A talajvizsgálatnak időben közel kell esnie a trágyázás idejéhez, mivel ezen N-frakciók mennyisége a tenyészidő folyamán nem állandó. Az ásványi nitrogén mennyiségét külföldön leggyakrabban 0,01 M CaCl_2 kivonatban mérik. A módszert hazai talajokra Pálmai és munkatársai (1998) adaptálták.

A nitrát tartalom meghatározása hazánkban 1 M KCl-os szűrletből történik (MSZ 20135). Az ásványi nitrogénformák (NH_4^+ , NO_3^-), azaz a talaj aktuális tápelem-tartalmának meghatározását csak olyan kultúrák esetében végzik el, melyeknél fontos minőségi paramétereket befolyásol a túlzott N trágyázás, ezért a vizsgálatok költsége megtérül (cukorrépa, zöldségfélék). Ezen kívül a nitrát lemosódás vizsgálatához is KCl-os kivonószerezrel határozzák meg a talajszelvény nitrát tartalmát (Ruzsányi, 1992; Izsáki és Iványi, 2002; Kádár és Németh, 2004).

A tápanyag-gazdálkodás szempontjából nagy jelentősége van a rövid időn belül mineralizálódó szerves N-tartalomnak, amely mennyiségét az aktív, labilis szerves anyag egyes frakcióinak meghatározásával becsülhetjük meg.

A tápanyagtartalom frakcionálását teszi lehetővé a Németh K. (1979) által kidolgozott EUF-módszer (elektro-ultra-filtrációs eljárás). Az ásványi formák frakcionálása mellett az oldható és könnyen oxidálható szerves N-frakció (N_{org}) meghatározására is alkalmas. Mengel (1990) szerint kísérletekkel bizonyított tény, hogy az EUF- N_{org} frakció a könnyen mineralizálódó készleteket jellemzi. Jól becsülhető vele a tenyészidőszak során felszabaduló nitrogén mennyisége, de a frakcionáláshoz költséges műszerekre van szükség, melyek nem alkalmasak sorozatvizsgálatokra, ezért hazánkban csak a cukorrépa termesztésénél alkalmazták.

A talaj különböző N-frakcióinak mérésére a 0,01 M CaCl_2 talajkivonószerez (Houba et al., 1990) is alkalmas. Az EUF- N_{org} és CaCl_2 - N_{org} frakció közötti összefüggést több kutató is vizsgálta. Az eredményeiket részletesen ismertetem a 2.4.1.1. fejezetben.

2.3.2. A talaj P- és K-ellátottságának hazai megítélése

Az egyszerűség és gazdaságosság kedvéért arra törekszünk, hogy egy-egy kivonatból több tápelemet is meghatározhassunk, ezért a P-meghatározásra választott eljárással a K-meghatározás módját is eldöntjük (Sarkadi, 1975).

Hazánkban elsőként a 'Sigmond Elek (1901) által ajánlott salétromsavas extrakciót használták a P és K meghatározásra, egyben ez volt itthon az első műtrágyázási szaktanácsadás elősegítésére rendszeresen használt kémiai eljárás is. Hátránya, hogy a talaj karbonátosságát előzőleg külön meg kellett határozni a kivonáshoz szükséges salétromsav töménységének megállapításához.

Később a savas extrakció hátrányát pufferoldatok alkalmazásával küszöbölték ki világszerte. Az állandó pH megakadályozza a foszforvegyületek másodlagos kicsapódását.

Prettenhoffer (1944) a Talajvizsgáló módszerek könyvében (Ballenegger és Mados, 1944) az itthon elterjedt 'Sigmond- és a Neubauer-féle eljárások mellett közli az Egnér és munkatársai (1938) által a könnyen oldható foszfortartalom meghatározására javasolt 3,7-es pH-ra pufferolt kivonószert (0,02 n Ca.laktát és 0,01 n HCl).

A hazai szaktanácsadásban a pufferolt kivonószerek közül elsőként a Riehm (1943) által javasolt dupla töménységű Ca-laktát pufferoldat (DL) használata terjedt el, melyben mind a P, mind a K egyszerűen és gyorsan meghatározható (Sarkadi, 1975). Id. Várallyay (1950) 125 szabadföldi kísérlet feldolgozása alapján javaslatot is tett a DL-P határértékekre. Karbonátos talajokon azonban a DL nem bizonyult megfelelőnek.

Később Egnér és munkatársai (1960) a Ca-laktát helyett a 3,75 pH-ra pufferolt ammónium-laktát-ecetsav (AL) alkalmazását javasolták. A 70-es években hazánkban is bevezették az AL módszert, mert a kivonószert erősebb és jobban pufferolt, mint a DL. A MÉM-NAK laboratóriumok szaktanácsadása is az AL-oldható P-, K tartalomra épült (Buzás et al., 1979). Az AL-P és AL-K értékek értelmezéséhez elengedhetetlen a fontosabb talajtulajdonságok ismerete. Sarkadi és munkatársai (1987) szerint a talaj P-szolgáltatása pontosabban értékelhető az AL-P értékek alapján, ha ismerjük a P trágyázási múltat, a P-mérleget, valamint a talajtulajdonságokat.

A talaj könnyen hozzáférhető P és K tartalmát jellemző módszerek (Houba et al., 1990; Sissingh, 1971; Schofield, 1955; Schachtschabel, 1954) alkalmazása hazánkban nem terjedt el. Sarkadi (1975) szerint ennek a kis mennyiségű P-t tartalmazó kivonatok, és a talajvizsgáló eredmények időszakos ingadozása az oka. Az intenzív műtrágyázás és a környezetvédelmi szempontok azonban indokolják a tápelem-intenzitás, azaz a közvetlenül hozzáférhető tápelem tartalom (Mengel és Kirkby, 2001) jellemzésére alkalmas módszerek használatát. Ezért a Houba és munkatársai (1990) által ajánlott, a makro- és mikro-tápelemek meghatározására is alkalmas 0,01 M CaCl_2 -os módszer tesztelése hazai talajokon már a 90-es években megkezdődött a DATE Mezőgazdasági Kémiai tanszékén (Houba et al., 1991).

A könnyen hozzáférhető tápelem tartalom meghatározására alkalmas a Fülek és Czinkota (1998) által kifejlesztett forró vizes extrakció is, melynek előnye az egyszerű vizes extrakcióval szemben, hogy gyors, valamint a makro- és mikroelemek is vizsgálhatók a kivonatban. Annak ellenére, hogy a módszer egy nagyságrenddel kisebb

foszfor mennyiséget old ki a talajból, mint az AL, a kétféle foszfor közepes-szoros összefüggésben volt egymással. Ugyanez az összefüggés a kálium esetében még szorosabb volt, és a kötöttség befolyásolta a szorosságát (Füleky és Benedek, 2009).

Az EUF módszer (Németh K., 1972) a talaj P- és K-tartalmának frakcionálását is lehetővé teszi, de a cukorrépa talajok N-ellátottságának vizsgálatán kívül sehol nem terjedt el, mivel költséges és sorozatvizsgálatokra nem alkalmas.

A P-, K, Mg-lekötődés vizsgálatára alkalmas a Baker-Amacher talajteszt (Baker és Amacher, 1981; Jászberényi et al., 2000), amely egy több-tápelemes kivonószer. A szerzők célkitűzése túlmutat a könnyen oldható, kicserélhető tápelem-tartalom meghatározásán. A CaCl_2 -os kivonószerhez adott kis mennyiségű P, K, Mg lehetővé teszi az adszorpciós viszonyok jellemzését és ezzel a műtrágya szükséglet pontosabb becslését.

2.4. A 0,01 M CaCl_2 kivonószerrel kapcsolatos hazai és nemzetközi tapasztalatok

A Houba és munkatársai (1990) által javasolt 0,01 M CaCl_2 oldat egy több tápelem vizsgálatára alkalmas kivonószer. A CaCl_2 sóoldat használata már korábban is Európa-szerte elterjedt volt a növények számára hozzáférhető Mg meghatározásában (Schachtschabel, 1954), 0,0125 M CaCl_2 kivonatban. A könnyen hozzáférhető P, K frakciók meghatározására is használták (Blackmore, 1966).

A módszer előnyeit Houba és munkatársai (1991) foglalták össze:

- a híg sóoldat enyhe oldó és ionkicserélő hatással rendelkezik
- a kivonószer Ca koncentrációja a talajoldathoz hasonló
- a kivonatok könnyen szűrhetők
- több tápelem (makro és egyes mikroelemek) vizsgálhatók a kivonatban
- az ásványi tápelemformák mellett a könnyen oldható és oxidálható szerves N, P, S frakciók is meghatározhatók.

Több tanulmány is megállapítja, hogy a 0,01 M CaCl_2 -ban mért tápelem mennyiség egy a tápelem-intenzitást jellemző paraméter, a talaj könnyen hozzáférhető tápelem-tartalmával függ össze (Diest et al., 1993; Fotyma et al., 1996; Baier és Baierova, 1997). Ezzel szemben a savanyú kémhatású sóoldatokkal való extrakció, mint a hazánkban is használt AL, vagy a DL a tartalékkészletek egy részét is oldják, így ezekkel a módszerekkel úgynevezett kapacitási paramétert kapunk (Houba et al., 1991, Fotyma, 2010).

A 0,01 M CaCl_2 kivonószert egységes európai bevezetését Houba és munkatársai kezdeményezték a 90-es években. Ennek hatására a DATE Mezőgazdasági Kémiai Tanszékén is megindultak a 0,01 M CaCl_2 -ot és a hagyományos módszereket összehasonlító vizsgálatok.

A nemzetközi szabványosítási szervezet (ISO TC 190 "Soil Quality") támogatásával 1995-ben indult meg a 0,01 M CaCl_2 univerzális kivonószerről szóló párbeszéd és nemzetközi együttműködésben végzett kutatás. Ebben Hollandia, Lengyelország, Csehország mellett a Magyarországról a DATE Mezőgazdasági Kémiai tanszéke is részt vett. A projekt elsődleges célja a 0,01 M CaCl_2 kalibrálása volt az egyes országokban hagyományosan alkalmazott módszerekkel (Houba, 1998).

A nemzetközi és hazai összehasonlító vizsgálatok eredményeit és a hazai tartamkísérletekben kapott összefüggéseket az egyes makro elemek tekintetében külön tárgyalom.

2.4.1. Nitrogén

2.4.1.1. Az N_{org} frakció jelentősége

Az ásványi N formák mellett a tápanyag gazdálkodás szempontjából nagy jelentősége van a talaj könnyen ásványosodó szerves N tartalmának. Bár a mineralizálódó N mennyisége legpontosabban inkubációs kísérletekben, vagy a növényi N felvétel vizsgálatával mérhető, ezek a szaktanácsadás számára túl időigényes módszerek. Ezért világszerte különböző extrakciós módszereket használnak az aktív szerves N frakció mérésére, melynek mennyisége az összes N kevesebb, mint 5%-a híg sóoldatok alkalmazása esetén, míg savas hidrolízisnél több mint 50% (Stevenson, 1994; Matsumoto and Ae, 2004).

A kivonható szerves N (extractable organic nitrogen – EON) egy olyan N frakció, amely nagyrészt amino-csoportokat tartalmazó nitrogénvegyületeket – fehérjék és peptidek – tartalmaz (Matsumoto és Ae, 2004; Paul és Williams, 2005) és fontos szerepet játszik a talaj fizikai-, kémiai- és biológiai folyamataiban. Ezt a frakciót leggyakrabban vizes vagy híg sóoldatos kivonatokban vizsgálják (Jones et al., 2004). A különböző módszerekkel kivont EON frakciók mind a kivont szerves N mennyiségében, mind minőségében különböznek (Ros et al., 2009; Zsolnay, 2003). Bár az EON frakció mennyisége az összes N maximálisan 5%-át adja, jelentősége abban rejlik, hogy a

legdinamikusabban változó és hozzáférhetővé váló szerves N-frakció (Haynes, 2005; Wander, 2008).

Egyes tanulmányok szerint az EON felhasználható a talaj N-szolgáltató képességének becslésére (Ros et al., 2011a; Groot és Houba, 1995). A különböző EON frakciók és a N mineralizáció közötti kapcsolatot többen igazolták (Appel és Mengel, 1998; Mulvaney et al., 2001; Sharifi et al., 2007). A növény N-felvétele, és a $\text{CaCl}_2\text{-N}_{\text{org}}$ frakció közötti szoros összefüggést tenyészedény kísérletek (Appel and Mengel 1990, 1993) és szabadföldi kísérletek (Appel and Mengel 1992; Groot and Houba 1995) eredményei is bizonyították. Nunan és munkatársai (2001) szerint szignifikáns kapcsolat igazolható a talaj potenciális N-szolgáltató képessége és a $\text{CaCl}_2\text{-N}_{\text{org}}$ mennyisége között. Bregliani és munkatársai (2006) különböző talajokon, tenyészedényes és érleléses kísérletekben vizsgálták a $\text{CaCl}_2\text{-N}$ frakciók, a mineralizálódó N és a növényi N felvétel kapcsolatát. Az ásványi N mennyisége és a növény N-felvétele között csak közepesen szoros összefüggést tapasztaltak, míg többváltozós regresszió analízissel, az ásványi és EON frakciók együttes figyelembevételével a N-felvétel varianciájának 96%-át tudták magyarázni. Az EON és az inkubációs kísérletben mobilizálódó N mennyisége között is szoros korreláció volt. Hazai tanulmányok (Kulcsár et al., 1997; Lazányi et al., 2002) is szignifikáns összefüggést találtak az EON frakció és a mineralizáció között.

Mengel és munkatársai (1999) megállapították, hogy a $\text{CaCl}_2\text{-N}_{\text{org}}$ frakció főként az évente képződő növényi maradványokból és szerves trágyákból származó, könnyen mobilizálódó N készleteket jellemzi.

Több kísérletben is szignifikáns összefüggést találtak a $\text{CaCl}_2\text{-N}_{\text{org}}$ és a mikrobiális biomassa között (Olf & Werner, 1989; Madsen et al., 1994; Černý et al., 2003), ami arra utal, hogy a nagyobb mikrobiológiai aktivitás megnöveli az N_{org} mennyiségét.

Bár a mineralizálódó N és a $\text{CaCl}_2\text{-N}_{\text{org}}$ közötti kapcsolat bizonyított, Ros et al., (2011a, b) megvizsgálta a mineralizálható N és a talajvizsgálati módszerek közötti kapcsolatot, és azt tapasztalta, hogy az EON frakciók (köztük a $\text{CaCl}_2\text{-N}_{\text{org}}$ is) – a szoros, szignifikáns a kapcsolat ($R^2=0,47$) ellenére – előrejelző képessége nem jobb, mint a talaj összes N tartalmán alapuló becslésnek.

Az EON frakciót elsősorban olyan abiotikus és biotikus folyamatok alakítják, mint a mineralizáció, immobilizáció, adszorpció, deaszorpció, precipitáció és oldódás, ezért a környezeti tényezők, vagy az agrotechnika megváltozása hatással van a

mennyiségére. A leggyakrabban vizsgált faktorok között ki kell emelni a talajtextúra, a kémhatás, a szezonon belüli változékonyság és az agrotechnikai tényezők (művelés, trágyázás, öntözés) hatását.

Az EON frakció mennyisége és összetétele is függ a talajtípustól (Paul és Williams, 2005). Ros és munkatársai (2009) azt tapasztalták, hogy a vályog és agyag talajokon az EON mennyisége 40-50%-al nagyobb, mint a homoktalajokon. A növekvő pH érték és karbonát tartalom hatására csökken az EON mennyisége (Filep és Rékási, 2011; Ros et al., 2009). Az EON szezonon belüli és évenkénti változékonysága a lemosódásra, mikrobiológiai aktivitásra, növényállományra és agronómiai beavatkozásokra vezethető vissza. Az agrotechnikai tényezők között a műtrágyázás (Haynes, 2005), a művelés, szerves trágyázás és szármaradványgazdálkodás igazoltan befolyásolja az EON mennyiségét (Ros et al., 2009; Chen et al., 2005).

2.4.1.2. Összehasonlító vizsgálatok eredményei

Hazánkban az ásványi nitrogénformák meghatározására az 1 M KCl kivonószeres extrakció terjedt el, míg a könnyen oldható és oxidálható szerves N mérése, EUF módszerrel, kizárólag a cukorrépa termesztésben volt jellemző.

Az 1 M KCl-os és 0,01 M CaCl_2 -os kivonószerekben mért ásványi nitrogénformák közti összefüggést több kutató is vizsgálta.

Houba, Jászberényi és Loch (1991) meghatározták 157 változatos talajtulajdonságú talajminta 1 M KCl-ban és a 0,01 M CaCl_2 -ban mért ásványi nitrogénformáinak mennyiségét. A különböző kivonószerekben mért értékek között szignifikáns, de gyenge ($r=0,34-0,44$) korreláció volt. A talaj karbonát tartalma befolyásolta az összefüggést, karbonátos talajokon gyengébb a kapcsolat.

Loch és Jászberényi (1997) később nagyobb, országos (TIM) mintaanyagon ($n=633$) végzett összehasonlító vizsgálatot, mely szerint a talaj 1 M KCl-ban és a 0,01 M CaCl_2 -ban oldható $\text{NO}_3\text{-N}$ tartalma között szoros ($r=0,95$), szignifikáns kapcsolat van.

A külföldi vizsgálatok (Houba et al., 1986) is azt igazolták, hogy a két kivonószerben mért $\text{NO}_3\text{-N}$ frakció mennyisége szorosan összefügg ($r=0,93$). A korreláció szorosságát a talajtípus és az adott talajon termesztett növényfaj befolyásolta.

A hagyományos és a CaCl_2 -os ásványi nitrogénformák közötti szoros összefüggés ellenére a Copernicus Project keretében nem került sor a 0,01 M CaCl_2 kalibrálására (Houba, 1998).

Az oldható és könnyen oxidálható szerves N (N_{org}) tartalom tekintetében is több összehasonlító vizsgálatot végeztek hazánkban és külföldön.

Houba és munkatársai (1986) 21 mintaterületen vizsgálták az EUF, 0,01 M CaCl_2 és a holland szabvány szerinti módszerekkel meghatározott N_{org} frakciók mennyiségét. Eredményeik szerint a két frakció közötti szoros korreláció alapján az EUF- és a 0,01 M CaCl_2 - N_{org} frakciók átszámíthatók.

Appel és Mengel (1990, 1992, 1993) tenyészedenyes és szabadföldi kísérletekben megállapították, hogy a kivonható szerves N mennyisége csaknem azonos a 0,01 M CaCl_2 és EUF módszerekkel.

Diez és Vallejo (2004) vizsgálták a különböző EUF- és 0,01 M CaCl_2 -N frakciók közötti összefüggést 19 talajon, és az ásványi N formák esetében szoros, míg az N_{org} frakció tekintetében közepes korrelációt tapasztaltak. Megállapították, hogy a költséges EUF módszer helyettesíthető a CaCl_2 -os extrakcióval, és hasonló fizikokémiai tulajdonságokkal rendelkező talajokon biztonsággal becsülhető a CaCl_2 - N_{org} értékéből az EUF- N_{org} .

A 0,01 M CaCl_2 - N_{org} és EUF- N_{org} közötti szignifikáns összefüggést hazánkban Kulcsár és Jászberényi (1999) is igazolták.

2.4.1.3. Tartamkísérletek eredményei

Jászberényi és szerzőtársai (1994) a martonvásári tartamkísérletben, mészlepedékes csernozjom talajon vizsgálták a szerves- és műtrágyázás hatását a 0,01 M CaCl_2 -os N frakciók mennyiségére, kukorica-búza bikultúrában. A CaCl_2 -os kivonatban mért N frakciók jól jelezték a trágyázás tartamhatását. Az N_{org} mennyiségét kimutathatóan főleg a szerves trágyázás befolyásolta.

Loch (2006), valamint Lazányi és munkatársai (2002) a Westsik-féle vetésforgó kísérletben meghatározták a különböző műtrágya, zöldtrágya, és szerves trágya kezelések talajainak CaCl_2 -N frakcióit. Mind a műtrágyázás, mind a szerves trágyázás szignifikáns hatással volt a N-frakciókra. Szoros korrelációt találtak a NO_3 -N és N_{org} frakciók valamint a terméseredmények között. Az N_{org} aránya az összes N-hez képest

25-40 % volt, ami bizonyítja, hogy tápanyagszegény homoktalajokon sem elhanyagolható a mennyisége.

Nagy és munkatársai (2002) a Nyírlugosi tartamkísérletben, kovárványos barna erdőtalajon végzett vizsgálataik során megállapították, hogy a 0,01 M CaCl_2 -ban mért $\text{N}_{\text{össz}}$ mennyisége jól tükrözi a N trágyázás hatását. A Nyírlugosi kísérlet talajain a nagy mennyiségű nitrogéntrágyával kezelt talajok kivételével az N_{org} részaránya a talaj felső rétegében 45-65% között mozgott.

Berényi és munkatársai (2009) a látóképi vetésforgó-, öntözési- és műtrágyázási tartamkísérletben, mészlepedékes csernozjom talajon megállapították, hogy a műtrágyázás leginkább a $\text{NO}_3\text{-N}$ frakció mennyiségét növeli meg, míg az $\text{NH}_4\text{-N}$ és N_{org} csak a legnagyobb kezelésben nőtt szignifikánsan. Eredményeik szerint a $\text{CaCl}_2\text{-NO}_3\text{-N}$ frakció alkalmas a túltrágyázás kimutatására, valamint a CaCl_2 -os módszerrel a nitrát lemosódás is nyomon követhető. Az N_{org} frakció mennyisége nagyobb volt az öntözött talajokon, amit a kedvező mineralizációs körülményekkel magyarázhatunk. Aránya a trágyázatlan talajon 40% volt.

2.4.2. Foszfor

2.4.2.1. Összehasonlító vizsgálatok eredményei

A 0,01 M CaCl_2 -ban oldható foszfor mennyisége nagyságrendekkel kisebb a hazánkban szabványos AL-P értékénél. Ennek oka, hogy a talajoldathoz hasonló koncentrációjú kivonószerben a talajoldathoz hasonlóan egyensúlyi állapotban kevés P oldódik. Az AL viszont a tartalékok egy részét, különösen lúgos talajokon a növények számára hozzáférhetetlen Ca-foszfátokat, oldja. Az előző megállapítások alapján érthető, hogy az összehasonlító vizsgálatok általában gyenge korrelációt tapasztaltak a két kivonószer P tartalma között.

Houba, Jászberényi és Loch (1991) heterogén talajmintabázison ($n=157$) gyenge ($r=0,04\text{-}0,38$) összefüggést találtak a 0,01 M CaCl_2 - és AL-P mennyisége között. A karbonátos talajokon nem volt szignifikáns korreláció. Loch és Jászberényi, (1997) nagyobb mintaanyagon ($n=633$) végzett vizsgálataiban is gyengének bizonyult a kapcsolat a két kivonószer foszfortartalma között.

Kücke és munkatársai (1995) hazai tartamkísérletek, valamint a Braunschweig-i tartamkísérlet talajain vizsgáltak négy, a P-ellátottság megítélésére használt kivonószert.

Az AL és 0,01 M CaCl₂ közti összefüggés-vizsgálatok eredményeit az 1. táblázat tartalmazza. A magyarországi talajokat pH és karbonátosság szerinti, a Braunschweig-i tartamkísérlet talajait pedig a trágyázás módja szerinti felosztásban vizsgálták.

1. táblázat: Az AL és 0,01 M CaCl₂ kivonószerekben mért P-tartalom közötti korreláció tartamkísérletek talajain (Kücke et al., 1995)

Magyarországi tartamkísérletek	
Talajtulajdonságok	r
Karbonátos	0,74
Savanyú	0,61
Braunschweig-i tartamkísérlet	
Kezelések	r
Ásványi P trágyázás	0,91
Hígrágya	0,72
Komposzt	0,96

A két kivonószer közti korreláció minden esetben legalább közepes, és szignifikáns volt. A közepes és szoros korrelációt a mintacsoportokon belül a talajtulajdonságok szempontjából homogén mintahalmazzal magyarázhatjuk.

Több nyugat-európai országban is vizsgálták a 0,01 M CaCl₂-P frakció mennyiségét, valamint összefüggését az egyéb talajvizsgálati módszerekkel és a növény P-felvételével

Houba és munkatársai (1986) szoros ($r=0,89-0,96$) korrelációt találtak a Hollandiában használt 20 °C-os vízben mért P és a 0,01 M CaCl₂-P között. A szoros összefüggés annak köszönhető, hogy mindkét kivonószer a könnyen hozzáférhető P-t jellemzi.

A Lengyelországban szabványos DL-P a Magyarországon használt AL-hoz hasonlóan többszöröse a 0,01 M CaCl₂-P mennyiségének. A lengyel vizsgálatok azt mutatták, hogy a CaCl₂-P, a viszonylag alacsony foszforkoncentráció miatt, gyengén ($r<0,5$) jellemzi a növény által felvehető P mennyiségét. A Fe-hidroxiddal impregnált szűrőpapíros P_i módszerrel (Mennon et al., 1990) kombinálva azonban, amely többszörösére növeli a kivonható P mennyiségét, a módszer használhatóvá tehető a P tekintetében is (Fotyma et al., 1999).

Indiati és Rossi (1999) olaszországi, évtizedek óta intenzíven szerves trágyázott barna erdőtalajokon határozták meg az ismertebb extrakciós módszerekkel és szekvens extrakcióval kioldható P mennyiségét, valamint a talaj ammónium-oxaláttal

meghatározott P-telítettségét. A 12 módszer közül a legnagyobb az AL-P, a legkisebb pedig a $\text{CaCl}_2\text{-P}$ értéke volt, a $\text{CaCl}_2\text{-P}$ kevesebb, mint fél százaléka az AL-P-nak. A P_w értéknél, azaz a vizes extrakcióval kivont értéknél (Sissingh, 1971) is egy nagyságrenddel kisebb $\text{CaCl}_2\text{-P}$ -t mértek. A nagy különbséget a talaj:kivonószer aránnyal magyarázhatjuk, ami a 0,01 M CaCl_2 módszerénél 1:10, míg a P_w esetében 1:60. Szoros szignifikáns kapcsolatot találtak a $\text{CaCl}_2\text{-P}$ és a szekvens extrakcióval meghatározott potenciálisan mobilizálódó P, valamint a $\text{CaCl}_2\text{-P}$ és a talaj P-telítettsége között. A P-telítettséggel kapott szoros kapcsolat alapján meghatározták a 25%-os P-telítettségéhez tartozó $\text{CaCl}_2\text{-P}$ értékét ($2,7 \text{ mg P kg}^{-1}$), amely egy környezetvédelmi szempontból kritikus határérték (Van der Zee et al., 1990).

2.4.2.2. Hazai tartamkísérletek eredményei

Jászberényi és társai (1994) kimutatták, hogy a martonvásári szerves- és műtrágyázási tartamkísérletben a kezelések szignifikáns hatással vannak a $\text{CaCl}_2\text{-P}$ értékére. A $\text{CaCl}_2\text{-P}$ és a számított P-mérleg között szoros, szignifikáns ($r=0,97$) kapcsolatot igazoltak.

A Westsik tartamkísérletben szignifikáns különbség mutatható ki a különböző vetésforgók talajainak $\text{CaCl}_2\text{-P}$ tartalmában (Lazányi, 2003).

Loch és Jászberényi (1995) az OMTK különböző kezeléseinek talajait vizsgálták AL és 0,01 M CaCl_2 kivonószerekkel. Eredményeik alapján a 0,01 M $\text{CaCl}_2\text{-P}$ összhangban volt a számított P-mérleggel. Az AL-P és $\text{CaCl}_2\text{-P}$ közötti gyenge, de szignifikáns kapcsolatot találtak.

Jászberényi és Loch (2001) az OMTK 9 helyszínéről, 12 NPK kezelésből származó talajmintákon határozták meg a $\text{CaCl}_2\text{-P}$ és a leköötődést/tápanyagszolgáltatást jellemző módosított Baker-Amacher módszer (Baker és Amacher, 1981; Jászberényi et al., 2000) dP értékeit. A $\text{CaCl}_2\text{-P}$ és a dP között minden kísérleti helyszínen szoros, szignifikáns kapcsolat volt.

Meghatározták a terméskülönbségek ($Y_{\max} - Y$) és a $\text{CaCl}_2\text{-P}$ közötti összefüggést, és a maximális termés 90%-ához tartozó $\text{CaCl}_2\text{-P}$ értéket választották kritikus P határértéknek:

$$Y_{\max} - Y = a + b \cdot \ln \text{CaCl}_2 - \text{P}$$

Vizsgálataik szerint a P-határértéket a pH és a kötöttség befolyásolta leginkább, ezért a 2. táblázatban látható, pH-tól és talajtextúrától függő határértékeket állapították meg.

2. táblázat: Előzetes $\text{CaCl}_2\text{-P}$ határértékek (mg P kg^{-1})

Textúra	pH		
	<6,0	6,0-7,0	>7,0
homok	3,0-5,0	2,0-3,0	3,0-5,0
vályog	2,0-3,0	1,0-2,0	2,0-3,0
agyag	1,0-2,0	0,5-1,0	1,0-2,0

2.4.2.3. Kálium

A 0,01 M $\text{CaCl}_2\text{-K}$ és AL-K közötti kapcsolatot vizsgáló munkájukban Houba, Jászberényi és Loch (1991) 157 különböző talajtulajdonságú talajmintán azt tapasztalták, hogy karbonátos talajokon nincs ($r=0,11$), nem karbonátos talajokon pedig közepes az összefüggés ($r=0,54$) a két módszerrel kivont K között. Loch és Jászberényi (1997) nagyobb mintaanyagon karbonátos talajokon közepes ($r=0,67$), nem karbonátos talajokon szoros ($r=0,78$) összefüggést találtak.

Loch (1996) meghatározta az AL-K és $\text{CaCl}_2\text{-K}$ mennyiségi összefüggését leíró regressziós egyenleteket homok, vályog és agyag talajokon, és kiszámította a 100, 200, 300 és 400 mg kg^{-1} AL-K mennyiségével ekvivalens $\text{CaCl}_2\text{-K}$ értékeket (3. táblázat). Jól látható, hogy azonos AL-K értéknek eltérő $\text{CaCl}_2\text{-K}$ felel meg a különböző kötöttségi kategóriákban. Az eredmények alapján megállapította, hogy a két kivonószerezrel meghatározott K átszámítására általános összefüggést megadni nem lehet.

3. táblázat: A talaj AL és 0,01 M CaCl_2 kivonószerekben meghatározott K tartalmának ekvivalens értékei kötöttségi kategóriánként (Loch, 1996)

Kötöttség	AL-K mg kg^{-1}			
	100	200	300	400
	CaCl ₂ -K mg kg^{-1}			
Homok	51	77	124	130
Vályog	24	55	87	118
Agyag	2	38	74	110

A Copernicus Project Holland, Lengyel, Cseh és Magyar résztvevői megvizsgálták a hagyományos K-vizsgálati módszerekkel kapott eredmények és a 0,01 M CaCl₂-K közötti kapcsolatot. Eredményeiket a 4. táblázatban foglaltam össze, Houba (1998) nyomán.

4. táblázat: A hagyományos módszerek és a 0,01 M CaCl₂-ban oldható K tartalom közti korreláció (Houba, 1998)

Ország /összehasonlító módszer/	Talaj textúra / szervesanyagtartalom	Mintaszám	Korrelációs koefficiens
Cseh /Mechlich-2 (Mechlich, 1978)/	homok	100	0,77
	vályog	39	0,83
	agyag	111	0,93
	összes	250	0,86
Magyar /AL (Egner et al., 1960)/	homok	206	0,68
	vályog	295	0,84
	agyag	131	0,73
	összes	632	0,79
Holland /HCl/	összes	41	0,92
Lengyel /DL (Riehm 1943)/	homok	181	0,98
	vályog	122	0,98
	agyag	109	0,94
	alacsony szerves anyag tartalom	206	0,98
	közepes szerves anyag tartalom	122	0,97
	magas szerves anyag tartalom	74	0,95
	összes	412	0,97

A lengyel vizsgálatok alapján a DL-K és a CaCl₂-K mennyisége között az összefüggés szoros ($r=0,97$). Ennek az lehet az oka, hogy a DL az AL kivonószernél kevésbé erélyes. A talajokat pH és textúra szerint osztályozva a korrelációs koefficiens értéke nem változik számottevően ($r=0,94-0,98$).

A projekt keretében végzett vizsgálatokat értékelve Baier és Baierova (1998) megállapította, hogy a 0,01 M CaCl₂-K az összes összehasonlító módszernél kevesebb K-ot von ki a talajból. A CaCl₂-K értéke a nagy agyagtartalmú, és a nagy szerves anyag tartalmú talajokon alacsonyabb volt.

Jászberényi (2000) a Wageningeni Egyetem Nemzetközi Talajcsere Programjának (ISE) 41 talajmintáját vizsgálta meg 0,01 M CaCl₂, majd a talaj P-, K- és Mg-adszorpcióját jellemző pufferolt (pH=7,3) és nem pufferolt Baker-Amacher módszerekkel. A pufferolt és nem pufferolt Baker-Amacher kivonószernben mért dK mennyiségek szoros összefüggést ($r=0,92; 0,96$) mutatnak a CaCl₂-K mennyiségével.

A martonvásári tápanyag-gazdálkodási tartamkísérletben Jászberényi és munkatársai (1994) úgy találták, hogy a műtrágya és szerves trágyakezelésekkel összhangban álló szignifikáns különbségek mutathatók ki a különböző kezelések talajainak $\text{CaCl}_2\text{-K}$ tartalmában. A számított K-mérleg valamint a 0,01 M $\text{CaCl}_2\text{-K}$ frakció között szoros szignifikáns összefüggés volt igazolható ($r=0,91$).

Jászberényi és társai (1999) hazai tartamkísérletekben végzett vizsgálataik alapján meghatározták a maximális termés 90 százalékához tartozó, kötöttségtől függő $\text{CaCl}_2\text{-K}$ határértékeket.

Simonis és Setatou (1996) szignifikáns ($r=0,7$) összefüggést talált a $\text{CaCl}_2\text{-K}$ és az angolperje K-felvétele között. Schindler és munkatársai (2002) amerikai csernozjom talajokon több módszerrel, köztük a 0,01 M CaCl_2 -al vizsgálták a talaj K tartalmát. Meghatározták a kukorica növény K-tartalmát, valamint a talaj agyagásvány összetételét is, ami túlnyomórészt szmektitet tartalmazott. A lépésenkénti regressziós analízis során úgy találták, hogy a $\text{CaCl}_2\text{-K}$ önmagában 73 %-ban magyarázza a növény K-tartalmának varianciáját, míg ha a talaj Ca, Mg tartalmát is figyelembe vették a modellben, ez az érték 85 %-ra nőtt.

Hosseinpur és Sinigani (2007) egy tenyészedenyes kísérlet talajain vizsgálták a K-felszabadulás alakulását 2000 órás, 0,01 M CaCl_2 -al végzett szekvens extrakció alatt, valamint meghatározták a talajok könnyen hozzáférhető K-tartalmát több kivonószerezrel, köztük a 0,01 M CaCl_2 -al. A deszorbeált K és a $\text{CaCl}_2\text{-K}$ mennyisége közötti kapcsolatot is megvizsgálták. A 168 és 2000 órás extrakció kumulált értékei és a $\text{CaCl}_2\text{-K}$ között szignifikáns kapcsolatot ($r=0,74$ és $r=0,76$) találtak. Ez azt jelenti, hogy a $\text{CaCl}_2\text{-K}$ értéke a talaj közvetlenül hozzáférhető K-tartalma, tehát a tápelem-intenzitás (Mengel és Kirkby, 2001) mellett a K-szolgáltatással, a tartalékok mobilizálódási sebességével is összefügg.

2.5. A hazai és nemzetközi szakirodalom összefoglalása

A szakirodalmi összefoglalásból kitűnik, hogy az újabb kivonószerek felhasználása egy intenzíven kutatót, folyamatosan fejlődő terület. Az új módszerek között az enyhe kivonószerek létjogosultságát a változó termesztési körülmények és a környezetvédelmi szempontok (Füleky és Benedek, 2009) is indokolják.

Az új kivonószerek kalibrálása azonban a hazai talajokon nem történt meg, a hagyományos módszerekkel való összehasonlítása pedig nem teszi egyértelműen

lehetővé az új és hagyományos módszerek egymásba történő átszámítását (Houba, 1998; Houba et al., 1991; Loch, 1996). Az eddigi tapasztalatok alapján az enyhe kivonószerek és az erélyesebb, hagyományos módszerek közötti összefüggés függ a talajtulajdonságoktól (Füleký és Benedek, 2009; Houba, 1998; Houba et al., 1991). A módszerek közötti átszámítást az is nehezíti, hogy a kivont tápelemtartalmak között akár több nagyságrendnyi különbség is lehet, ami abból adódik, hogy hagyományosan a talajok potenciálisan hozzáférhető tápelemtartalmát határoztuk meg, míg az új módszerek, köztük a 0,01 M CaCl_2 is, elsősorban a pillanatnyilag hozzáférhető tápelemtartalmat jellemzi (Diest et al., 1993; Fotyma et al., 1996; Baier és Baierova, 1997).

Az eddigi összehasonlító vizsgálatok eredményei alapján a 0,01 M $\text{CaCl}_2\text{-NO}_3\text{-N}$ és KCl-N közötti összefüggés szoros (Houba et al., 1986; Loch és Jászberényi, 1997). Az AL-P és 0,01 M $\text{CaCl}_2\text{-P}$ között nagyobb mintaszám mellett gyenge (Houba et al., 1991), kisebb mintaszámnál és homogén mintabázison belül közepes-szoros összefüggés volt tapasztalható (Kücke et al., 1995). Az AL és 0,01 M CaCl_2 által kivont kálium közötti összefüggés általában közepes (Houba, 1998; Houba et al., 1986; Loch, 1996). A korábbi tapasztalatok alapján a kivont tápelemtartalom megbízható átszámítása csak a talajtulajdonságok figyelembevételével lenne lehetséges, ennek eldöntésére azonban a 0,01 M CaCl_2 esetében nem áll rendelkezésre elegendő vizsgálati eredmény.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1. Talajvédelmi Információs és Monitoring Rendszer

A Talajvédelmi Információs és Monitoring Rendszer (TIM) koncepcióját és rendszerét a MTA TAKI irányításával szakértői bizottság dolgozta ki 1991-ben. A tényleges mérések 1992-ben kezdődtek. Céljuk a talajok állapotának felmérése, majd folyamatos ellenőrzése. A mintavételi helyek jól reprezentálják a hazai talajok fizikai és kémiai tulajdonságait, a talajtípusokat. A tápelem-vizsgálatokhoz háromévenként vesznek mintát, melyeket egységesen a hazánkban szabványosított módszerekkel elemeznek. Az időben alig változó mutatókat csak hatévenként határozzák meg, míg a talajszelvény morfológiai leírása, kötöttsége, mechanikai összetétele csak egy alkalommal, az induláskor lett meghatározva. Az országos mérőhálózat 1236 pontjából 865 található mezőgazdasági területen, melyek talajtípus szerinti megoszlása jól jellemzi az országos viszonyokat.

Munkám során, a mezőgazdasági területen található mérőhelyekről (n=629) származó, 2004. évi talajmintákat vizsgáltam. Az értékeléshez rendelkezésemre álltak a talajok TIM adatbázisból származó fizikai-kémiai tulajdonságai, AL-P, -K tartalma és talajtípusa.

3.2. Tartamkísérletek

A tartamkísérletek jó lehetőséget nyújtanak a trágyázás tartamhatásának tanulmányozására, a hagyományos és új kivonószerek összehasonlítására, tesztelésére azonos talajtulajdonságok mellett.

Az általam vizsgált két tartamkísérlet az Alföldön, Karcagon, illetve Hajdúböszörményben helyezkedik el. A karcagi termőhely réti csernozjom, a hajdúböszörményi pedig réti talaj. Az alapkőzet infúziós lösz.

3.2.1. Karcag

A karcagi műtrágyázási és vetésforgó tartamkísérlet a Debreceni Egyetem AGTC Karcagi Kutató Intézetének kísérleti telepén található. A kísérletet az Országos Műtrágyázási Tartamkísérletek (OMTK) keretében 1965-ben állították be, split-plot elrendezésben, négy ismétlésben, egységes irányelvek szerint.

A kísérletek közül a B17 jelű, őszi búza-kukorica-kukorica-őszi búza bikultúra NPK műtrágyázási tartamkísérletet választottuk. A kezelések az 5. táblázatban láthatók.

5. táblázat: A B17 karcagi tartamkísérlet NPK kezelései (kg hatóanyag ha⁻¹) (1971-)

Kezelések	1971-1987			1987-		
	N	P	K	N	P	K*
N ₀ P ₀ K ₀	-	–	–	-	–	–
N ₁ P ₀ K ₀	50	–	–	100	–	–
N ₁ P ₁ K ₀	50	22	–	100	26	–
N ₁ P ₂ K ₀	50	44	–	100	52	–
N ₂ P ₀ K ₀	100	–	–	150	–	–
N ₂ P ₁ K ₀	100	22	–	150	26	–
N ₂ P ₂ K ₀	100	44	–	150	52	–
N ₃ P ₀ K ₀	150	–	–	200	–	–
N ₃ P ₁ K ₀	150	22	–	200	26	–
N ₃ P ₂ K ₀	150	44	–	200	52	–
N ₁ P ₀ K ₁	50	–	83	100	–	83/166
N ₁ P ₁ K ₁	50	22	83	100	26	83/166
N ₁ P ₂ K ₁	50	44	83	100	52	83/166
N ₂ P ₀ K ₁	100	–	83	150	–	83/166
N ₂ P ₁ K ₁	100	22	83	150	26	83/166
N ₂ P ₂ K ₁	100	44	83	150	52	83/166
N ₃ P ₀ K ₁	150	–	83	200	–	83/166
N ₃ P ₁ K ₁	150	22	83	200	26	83/166
N ₃ P ₂ K ₁	150	44	83	200	52	83/166
N ₄ P ₃ K ₂	200	65	83	250	79	83/207

* Megjegyzés: 83 kg K/ha őszi búzában 166 illetve 207 kg K/ha kukoricában

A kezelések három N, három P és két K dózis kombinációi, kiegészítve egy kontroll és egy megemelt dózisé NPK kezeléssel.

A nitrogénműtrágya ammónium-nitrát, őszi-tavaszi (50-50 %) megosztásban. A P és K adagokat őszi juttatják ki. Az I. és III. ismétlések a kísérlet 20. évében 14,5 t ha⁻¹ valamint a 32. évében 11 t ha⁻¹ meszezésben részesültek. A kísérletben az alapművelés őszi szántás.

A talajmintavétel mindhárom évben (2007-2009) a betakarítás után történt. A felső 20 cm lett megmintázva, parcellánként 20 részminta alkot egy reprezentatív talajmintát. A kísérletben a kicserélhető kationtartalom értékeit a 2007. évre vonatkozóan és az AL-K valamint AL-P értékeit a 2007. és 2008. évre vonatkozóan a Karcagi Kutató Intézet kollégái a rendelkezésemre bocsátották.

A kísérletben 2007-ben és 2008-ban őszi búza, 2009-ben és 2010-ben pedig kukorica volt vetve.

3.2.1.1. A kísérleti terület agroökológiai jellemzői

Karcag a Közép-Tiszavidék középtáján, azon belül is a Szolnok-Túri-sík kistáján helyezkedik el (Marosi és Somogyi, 1990.). A kistáj tengerszint feletti magassága 80 és 105 m közötti.

A meleg-száraz éghajlati körzetbe tartozik. A kísérleti telepen 1968-1987 között mért adatok alapján a csapadék éves összege átlagosan 476 mm, a búza tenyészideje alatt lehulló csapadék mennyisége 350 mm, kukorica esetében 300 mm. Az évi középhőmérséklet 10,4 °C.

A kísérlet talaja réti csernozjom (FAO osztályozás: Luvic Phaeosem), a mélyebb rétegekben szolonyeces. A humuszos réteg vastagsága 90 cm. A humusztartalom 2,5-2,9 %, ennek alapján a talaj közepes N-ellátottságú. Az AL-P és -K tartalom alapján igen gyenge P és jó K ellátottsági kategóriába tartozik (Buzás et al., 1979). A KCl-os pH 5-5,5. A talaj fizikai félesége agyagos vályog, az Arany-féle kötöttség értéke 47.

3.2.2. Hajdúböszörmény

A Dr. Sárvári Mihály által beállított NPK trágyázási, tőszámsűrítési kísérlet Hajdúböszörményben található.

A háromtényezős kísérletet három ismétlésben, sávos elrendezésben állították be. A kísérletben vizsgált 8 kukorica hibrid közül a PR38A79 (FAO 300) és a PR37Y12 (FAO 390) parcelláinak talajait vizsgáltam meg. Az alkalmazott NPK műtrágyakezelések a 6. táblázatban szerepelnek.

6. táblázat: A hajdúböszörményi trágyázási, tőszámsűrítési tartamkísérlet NPK kezelései (kg hatóanyag ha⁻¹) (1989-)

Kezelések	N	P	K
N ₀ P ₀ K ₀	0	0	0
N ₄₀ P ₁₁ K ₂₅	40	10,9	24,9
N ₈₀ P ₂₂ K ₅₀	80	21,8	49,8
N ₁₂₀ P ₃₃ K ₇₅	120	32,7	74,7
N ₁₆₀ P ₄₄ K ₁₀₀	160	43,6	99,6
N ₂₀₀ P ₅₅ K ₁₂₅	200	54,5	124,5

A műtrágyák kijuttatása tavasszal történik, a kukoricaszárat pedig a talajba forgatják. Az alapművelés őszi szántás.

A talajmintavétel 2010 tavaszán történt, a műtrágyázást és a vetést megelőzően. A talaj felső 20 cm-ét mintáztuk, parcellánként 20 rész minta alkotott egy összetett mintát.

3.2.2.1. A kísérleti terület agroökológiai jellemzői

Hajdúböszörmény a Hajdúságban, a Hajdúhát kistájon található. A kistáj tengerszint feletti magassága 93 és 162 m közötti (Marosi és Somogyi, 1990.).

A mérsékelten meleg, száraz éghajlati körzetbe tartozik. Az 50 éves átlag alapján a csapadék éves összege 585 mm, a kukorica tenyészideje alatt ebből 343 mm esik. Az évi középhőmérséklet 9,8 °C.

A kísérlet réti talajon található (FAO osztályozás: Luvic Phaeosem). A humuszos réteg vastagsága 50 cm. A humusztartalom (3,5 %) alapján a talaj jó N-ellátottságú. Az AL-P és -K tartalom alapján gyenge P és igen gyenge K ellátottsági kategóriába tartozik (BUZÁS et al., 1979). A KCl-os pH átlagosan 6,1. Agyagos vályog fizikai talajféleségű, az Arany-féle kötöttség értéke 54. Átlagos csapadéku években az altalajvíz szintje 2,0-2,5 méter körüli mélységben van.

3.3. A kísérletekben alkalmazott vizsgálati módszerek

A vizsgálatokat a DE AGTC Agrokémiai és Talajtani Intézetének kémia laboratóriumában végeztem.

Talajminta előkészítés: A talajmintákat a mintavétel után műanyag zacskókban szállítjuk, majd légszáraz állapotúra szárítjuk. Szitálást követően (<2mm) a vizsgálatokig papírzacskókban tároljuk.

0,01 M CaCl₂ módszer: A 0,01 M CaCl₂ talajextrakciós eljárást Houba et al. (2000) módszerével végezzük, mely szerint 5 g előkészített talajmintát 50 ml kivonószerrrel 2 órán keresztül körforgó rázógéppel rázatunk.

A N- és P-tartalom meghatározásához 10 perces (2500 rpm) centrifugálás (MLW T54 centrifuga, Német Demokratikus Köztársaság) után a felülúszót folyamatos elem analizátorral vizsgáljuk (Continuous Flow Analyzer, Scalar SAN^{PLUS}SYSTEM, Scalar, Breda, the Netherlands). A talajkivonat összes N tartalmának meghatározása a készülékben UV-roncsolással történik. Az összes N (N_{össz}) frakciót a szerves (NO₃-N + NH₄-N) és a könnyen oldható szerves N (N_{org}) frakciók alkotják. Az N_{org} frakciót az N_{össz} és a szerves N frakciók különbségéből kapjuk.

Az extraktumok K-tartalmát szűrés és a Ca oxálsavas lecsapása után határoztuk meg, UNICAM-SP95B (Pye Unicam Ltd., Cambridge, England) spektrofotometerrel, láng-emissziós eljárással.

A kísérletekből és a TIM mintahalmazból származó kötöttségi értékeket Stefanovits (1956) szerint értékeltem és soroltam kötöttségi kategóriákba.

3.4. Mérlegszámítás és relatív termések meghatározása

A tartamkísérletek esetében számítottam a kezelések tápelem-mérlegét. A dolgozatban használt egyszerűsített agronómiai tápelem-mérleg kifejezés a növény által kivont tápelemek, és a felhasznált műtrágya mennyiségének különbségét jelenti, amely a bevételi és kiadási oldal több tételével nem számol, csak arról ad információt, hogy a műtrágyázás fedezte-e a növény tápelem-szükségletét.

Mivel a karcagi tartamkísérletben a melléktermék is betakarításra került, ott az egyszerű számítást alkalmaztam, míg a hajdúböszörményi kísérletben a

szármaradványokat beszántották, így itt annak tápelem tartalmát is figyelembe vettem a mérlegben.

A talaj tápelem tartalmának feltáródását, és a tápanyagkészletek egyéb forrásokból történő gazdagodását (vetőmag tápelem tartalma, légköri ülepedés, mikroszervezetek N-kötése) a nettó tápelem-mérlegek (Németh, 1995) kiszámításánál, a kontrollkezelés növényi tápelem felvételével vettem figyelembe. A nettó tápelem-mérleg így a növényi tápelemfelvétel és műtrágyázás mellett az egyéb, természetes forrásokból származó inputokat is magába foglalja.

A tápelemek kilúgozódását, és a nitrát-lemosódást nem vizsgáltam, így nem vettem figyelembe a mérlegszámításnál, bár Németh (1993, 1994) OMTK kísérletekben végzett kutatásai igazolták, hogy a Karcagi tartamkísérletben a 150 kg ha⁻¹-os N dózist meghaladó műtrágyaadagok hatására szignifikánsan megnőtt a 3 méteres talajszelvény nitrát tartalma, és a felhalmozódás maximuma 120 cm mélységben található. A hajdúböszörményi réti talaj esetében 2 m mélységben már nem volt kimutatható a nitrát lemosódás.

A relatív termések számítása során az adott évi legnagyobb terméseredménnyel rendelkező parcella termését vettem 100%-nak, és ehhez viszonyítva számítottam ki a többi parcella relatív terméseredményét.

3.5. Statisztikai értékelés

A statisztikai értékeléshez az SPSS 13. statisztikai programot használtam. Az alapadatok normalitás vizsgálatát Kolmogorov Smirnov tesztel és grafikus módszerekkel végeztem. A kiugró adatokat box-plot grafikon segítségével szűrtem ki, az extrém kiugró értékeket minden esetben kizártam a további statisztikai elemzésből.

A különböző kivonószerekben meghatározott elemtartalmak közötti összefüggéseket korrelációs és regressziós analízissel vizsgáltam. A regressziós egyenletek, a determinációs együttható (R^2) és a korrelációs koefficiens (r) mellett a becslés standard hibáját (δ), azaz a hiba szórását is feltüntettem. A standard hiba jellemzi a becslés pontosságát, minél nagyobb az értéke, annál nagyobb az eltérés a becsült értékek és a valós értékek között.

A tartamkísérletekben a kezelések hatását varianciaanalízissel (One-Way ANOVA, General Linear Model) értékeltem, a páronkénti összehasonlítást pedig Duncan post hoc teszt segítségével végeztem.

A TIM adatbázis feldolgozása során az N_{org} (függő változó) és a fontosabb talajfizikai, -kémiai paraméterek (magyarázó változók) közötti összefüggéseket parciális legkisebb négyzetek (PLS) regresszióval vizsgáltam (Esposito Vinzi et al., 2010). Ezzel a módszerrel látens változókat (komponensek) konstruáltunk, melyek kapcsolatban vannak a magyarázó változókkal. A modellbe azon komponensek kerültek be, melyek legalább 1%-át magyarázzák az N_{org} variációjának.

4. EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

4.1. Talajvédelmi Információs és Monitoring Rendszer

Munkám során a Talajvédelmi Információs és Monitoring Rendszer mezőgazdasági területekről származó 633 talajmintáján végeztem összehasonlító NPK vizsgálatokat a hagyományos és a 0,01 M CaCl_2 módszerekkel. A mintahalmaz változatossága lehetővé teszi a talajtulajdonságok és a tápelem-vizsgálatok közötti összefüggések feltárását is.

A mennyiségi összefüggéseket a teljes mintahalmazon, valamint különböző mintacsoportokon is megvizsgáltam. Elemenként meghatároztam a módosító tényezők szerepét.

Az általam vizsgált talajok kémiai és fizikai talajtulajdonságainak, valamint 0,01 M CaCl_2 módszerrel meghatározott NPK-tartalmának átlagos értékei termőhelyi kategóriánként a 9. táblázatban szerepelnek.

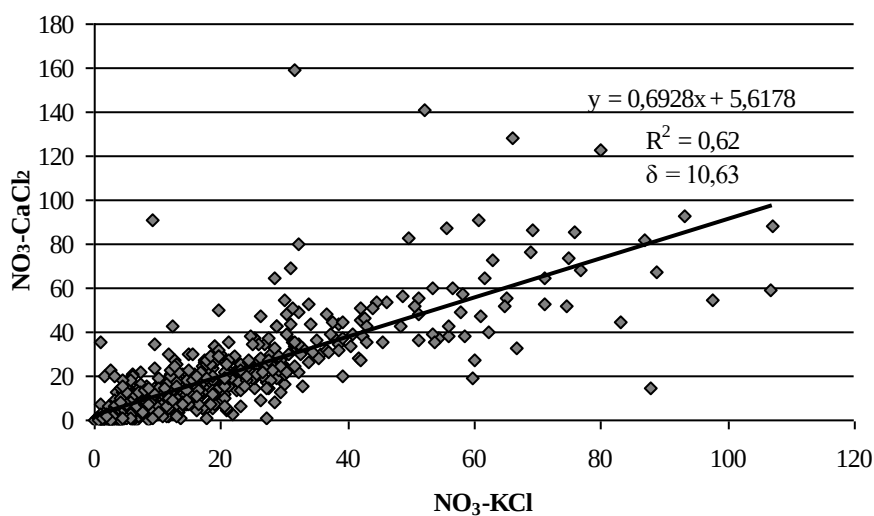
9. táblázat: A talajok kémiai és fizikai paramétereit és CaCl₂-NPK formák átlagértéke a különböző termőhelyi kategóriákban

Termőhelyi kategóriák	pH _{H2O}	pH _{CaCl2}	KA	Humusz	Karbonát	Agyag	Iszap	Homok	N _{org}	NO ₃ -N	NH ₄ -N	N _{össz}	P	K
				m/m %					CaCl ₂ -al kivonható (mg kg ⁻¹)					
I. Csernozjom (n=161)	7,57	7,12	42	2,68	6,01	23,3	45,6	31	9,4	26,6	6,46	43	1,68	94,5
II. Barna erdőtalajok (n=184)	6,48	6,07	39	1,69	0,76	24,2	41,6	34,2	9	13,7	5,18	27,8	1,85	71,8
III. Réti és egyéb kötött (n=97)	7,28	6,77	52	3,13	5,81	34,8	41,5	23,6	12	17,4	6,53	35,4	1,28	71,8
IV. Homok (n=50)	6,94	6,44	26	0,96	2,62	6,1	9,3	84,6	5,9	15,4	6,22	27,9	2,86	78,4
V. Szikes (n=53)	7,77	7,08	49	2,6	4,51	34,8	42,6	22,6	11,6	15	8,24	33,3	1,69	136,0
VI. Sekély termőrétegű (n=87)	7,01	6,51	43	2,21	5,52	23,6	43,8	32,6	10,3	19,1	5,41	34,6	1,32	70,3
Összes (n=632)	7,1	6,62	42	2,25	3,99	25	40,4	34,6	9,7	18,5	6,08	34,3	1,71	83,2

4.1.1. Nitrogén

4.1.1.1. 0,01 M CaCl₂-al kivont NO₃-N

A 0,01 M CaCl₂-al és 1 M KCl-al kivont NO₃-N tartalom közötti regresszióanalízis eredménye a 4. ábrán látható. A teljes mintahalmazon szoros összefüggést kaptam ($r=0,79$). Bár mindkét módszer semleges, sóoldatos extrakció, a módszertani különbségek rontják az összefüggést.



4. ábra: A CaCl₂-NO₃-N és KCl-NO₃-N mennyisége (mg kg⁻¹) közötti összefüggés (n=632)

Megjegyzés: A korreláció $P \leq 0,001$ valószínűségi szinten szignifikáns
 δ – A becslés standard hibája

A módszertani különbségek között megemlíthetjük a kivonószerek koncentrációja közötti két nagyságrendnyi eltérést, az eltérő talaj:kivonószer arányt, ami a CaCl₂ esetében 1:10, míg a KCl-os módszernél 1:2,5, valamint a rázatási idő hosszát (CaCl₂: 2 óra; KCl: 1 óra). A felsoroltak ellenére a kivont NO₃-N mennyisége azonos nagyságrendű.

A talajmintabázist karbonát tartalom, pH_{KCl} és kötöttség szerint csoportosítottam, amely talajtulajdonságok a szakirodalmi adatok szerint módosíthatják a két módszer közötti összefüggést. A karbonát tartalom, pH_{KCl} és kötöttség alapján elkülönített csoportokon belül is elvégeztem a lineáris regresszió analízist (10., 11., 12. táblázatok).

A regressziós egyenletek által leírt egyenesek meredeksége, az y tengellyel való metszéspontja, valamint a determinációs együttható értékei eltérően alakulnak az egyes mintacsoportokon. Karbonátmentes talajokon szorosabb az összefüggés, és a standard hiba is kisebb, mint a karbonátos talajokon. A KCl-os pH szerint semleges talajokon csak közepesen szoros összefüggést kaptam, míg a szélsőséges kémhatású erősen savanyú és lúgos talajokon szoros az összefüggés. A szélsőséges kémhatású talajok valószínűleg a talajtípus tekintetében homogénebb mintacsoport, mint a semleges talajok, ezért alakult így az összefüggés. Ez arra utal, hogy nem közvetlenül a kémhatás felelős a különbségekért. Az is megállapítható az egyenletek alapján, hogy a CaCl_2 a kilúgzott, savanyú talajokon a KCl-hoz viszonyítva kevesebb $\text{NO}_3\text{-N}$ -t von ki.

10. táblázat: $\text{CaCl}_2\text{-NO}_3$ és KCl-NO_3 értékek közötti regresszió analízis eredménye karbonátos és nem karbonátos talajokon

Karbonát tartalom	Regressziós egyenlet	R^2	δ^*
Karbonátmentes (n=305)	$Y (\text{CaCl}_2\text{-NO}_3) = 0,862 \text{ KCl-NO}_3 - 0,629$	0,79	6,8
Karbonátos (n=327)	$Y (\text{CaCl}_2\text{-NO}_3) = 0,928 \text{ KCl-NO}_3 + 4,111$	0,65	15

*A becslés standard hibája

11. táblázat: $\text{CaCl}_2\text{-NO}_3$ és KCl-NO_3 értékek közötti regresszió analízis eredménye különböző kémhatású talajokon

pH _{KCl} kategória	Regressziós egyenlet	R^2	δ
Erősen savanyú (n=69)	$Y (\text{CaCl}_2\text{-NO}_3) = 0,831 \text{ KCl-NO}_3 - 1,839$	0,88	5,9
Savanyú (n=100)	$Y (\text{CaCl}_2\text{-NO}_3) = 0,889 \text{ KCl-NO}_3 - 1,994$	0,72	7,9
Gyengén savanyú (n=148)	$Y (\text{CaCl}_2\text{-NO}_3) = 0,954 \text{ KCl-NO}_3 - 0,34$	0,66	10,1
Semleges (n=109)	$Y (\text{CaCl}_2\text{-NO}_3) = 0,722 \text{ KCl-NO}_3 + 6,929$	0,52	10,2
Gyengén lúgos (n=193)	$Y (\text{CaCl}_2\text{-NO}_3) = 0,939 \text{ KCl-NO}_3 + 4,512$	0,68	16,3
Lúgos (n=13)	$Y (\text{CaCl}_2\text{-NO}_3) = 0,992 \text{ KCl-NO}_3 + 1,196$	0,96	4,2

12. táblázat: $\text{CaCl}_2\text{-NO}_3$ és KCl-NO_3 értékek közötti regresszió analízis eredménye különböző kötöttségű talajokon

Kötöttségi kategória*	Regressziós egyenlet	R^2	δ
Durva homok (n=48)	$Y (\text{CaCl}_2\text{-NO}_3) = 0,796 \text{ KCl-NO}_3 + 1,551$	0,85	5,0
Homok (n=51)	$Y (\text{CaCl}_2\text{-NO}_3) = 0,912 \text{ KCl-NO}_3 + 0,208$	0,80	7,3
Homokos vályog (n=107)	$Y (\text{CaCl}_2\text{-NO}_3) = 0,641 \text{ KCl-NO}_3 + 4,948$	0,44	12,8
Vályog (n=146)	$Y (\text{CaCl}_2\text{-NO}_3) = 1,016 \text{ KCl-NO}_3 - 0,734$	0,79	13,9
Agyagos vályog (n=149)	$Y (\text{CaCl}_2\text{-NO}_3) = 0,902 \text{ KCl-NO}_3 + 2,589$	0,68	10
Agyag (n=86)	$Y (\text{CaCl}_2\text{-NO}_3) = 0,893 \text{ KCl-NO}_3 + 2,694$	0,72	8,8
Nehéz agyag (n=45)	$Y (\text{CaCl}_2\text{-NO}_3) = 1,27 \text{ KCl-NO}_3 - 0,565$	0,51	19,7

* Stefanovits (1956) szerint

A kötöttség szerint kialakított mintacsoportokban gyenge (homokos vályog), közepes (agyagos vályog, agyag, nehéz agyag) és szoros (durva homok, homok, vályog) korrelációt kaptam, egyértelmű tendencia nem mutatható ki a kötöttség függvényében.

A teljes mintahalmazon végzett regressziós analízis alapján a kivonószerekkel meghatározott $\text{NO}_3\text{-N}$ tartalom azonos nagyságrendű és arányos egymással. A karbonát tartalom, pH_{KCl} és kötöttség figyelembe vételével nagy mintaszám mellett általában szorosabb összefüggést kaptam.

4.1.1.2. 0,01 M CaCl_2 -al kivont $\text{NH}_4\text{-N}$

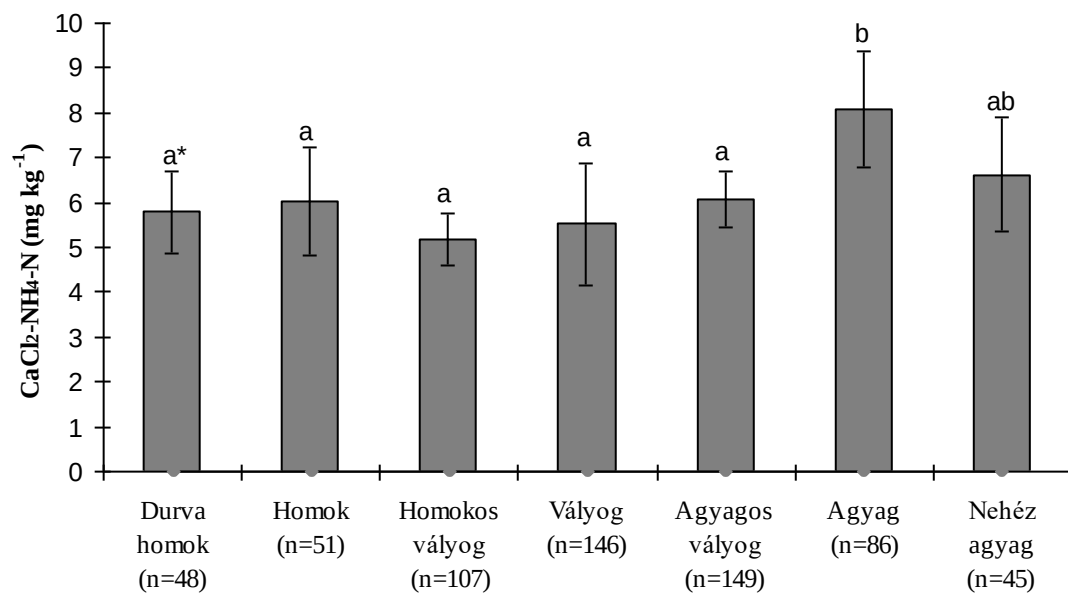
A $\text{CaCl}_2\text{-NH}_4\text{-N}$ alakulását befolyásoló talajfizikai és -kémiai tulajdonságokat varianciaanalízis segítségével határoztam meg (13. táblázat). Megállapítható, hogy $p \leq 5\%$ -os valószínűségi szinten egyedül a kötöttségnek van szignifikáns hatása, míg a pH_{KCl} csak $p \leq 10\%$ -os valószínűséggel módosítja a $\text{CaCl}_2\text{-NH}_4\text{-N}$ értékét.

13. táblázat: Talajtulajdonságok hatása a $\text{CaCl}_2\text{-NH}_4\text{-N}$ mennyiségére
(a variancia táblázat kivonata)

Faktor	SQ	DF	MQ	F	Szignifikancia szint
pH_{KCl} kategória	327	5	65,4	2,2	0,053
Kötöttségi kategória	487	6	81,2	2,8	0,012
Karbonát tartalom	159	3	52,9	1,8	0,152

A kötöttségi kategóriák talajainak átlagos $\text{CaCl}_2\text{-NH}_4\text{-N}$ tartalma az 5. ábrán látható. Az agyag talajok szignifikánsan több $\text{NH}_4\text{-N}$ -t tartalmaznak a kevésbé kötött talajoknál. Ez az összefüggés független a humusztartalomtól, mert a humusz% és a $\text{CaCl}_2\text{-NH}_4\text{-N}$ között szignifikáns korreláció nem mutatható ki a vizsgált talajokon.

A kötöttség a talaj levegő és vízgazdálkodásán keresztül a nitrifikációs viszonyokat is befolyásolja. Általában azt mondhatjuk, hogy kötött talajokon, levegőtlen körülmények között NH_4^+ ionok halmozódnak fel, ennek eredménye tendenciaszerűen kimutatható az általam vizsgált mintabázison is. A kötött talajoknak nagyobb az adszorpciós kapacitása, ennek következtében több NH_4^+ -ion adszorbeálódhat.



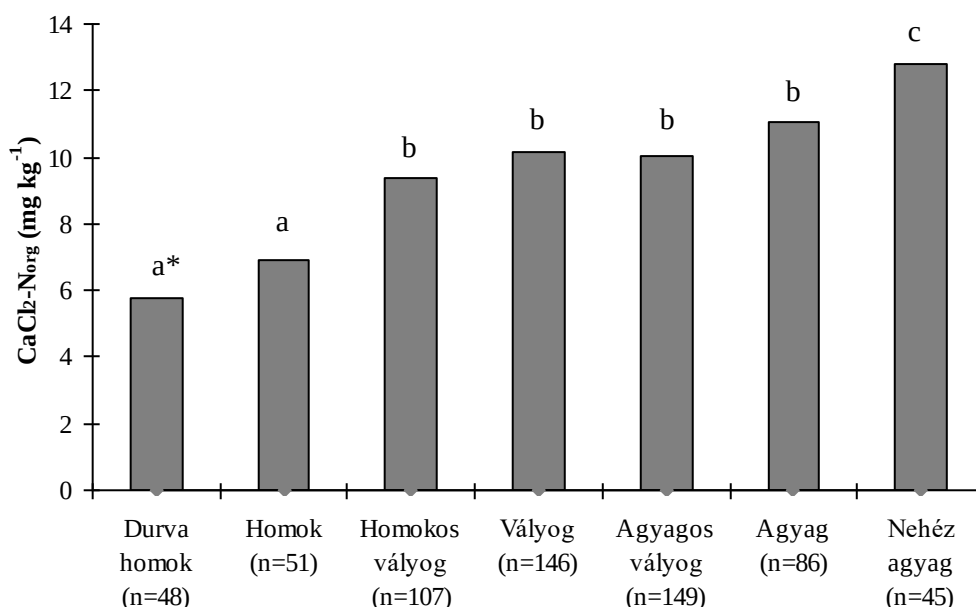
5. ábra: Különböző kötöttségi kategóriákba (Stefanovits, 1956 szerint) sorolt talajok átlagos CaCl₂-NH₄-N tartalma (a hibasávok az 5%-os konfidencia intervallumot jelölik)
 *Szignifikáns differencia: Az azonos betűvel jelölt átlagok p≤5%-os valószínűségi szinten nem különböznek egymástól

4.1.1.3. 0,01 M CaCl₂-al kivont N_{org}

A 0,01 M CaCl₂-al kivonható szerves nitrogén növény táplálásban betöltött szerepének megítéléséhez elengedhetetlen a CaCl₂-N_{org} frakció mennyiségét kialakító tényezők vizsgálata. A szakirodalomban tárgyalt tényezők közül a vizsgált mintabázison a talajtényezők hatásának vizsgálatára volt lehetőségem.

A CaCl₂-N_{org} mennyisége szorosan összefügg a humusz% ($r = 0,59$), és közepesen az Arany-féle kötöttség ($r = 0,49$), valamint a homok-, vályog-, agyagtartalom ($0,26 < r < 0,40$) alakulásával.

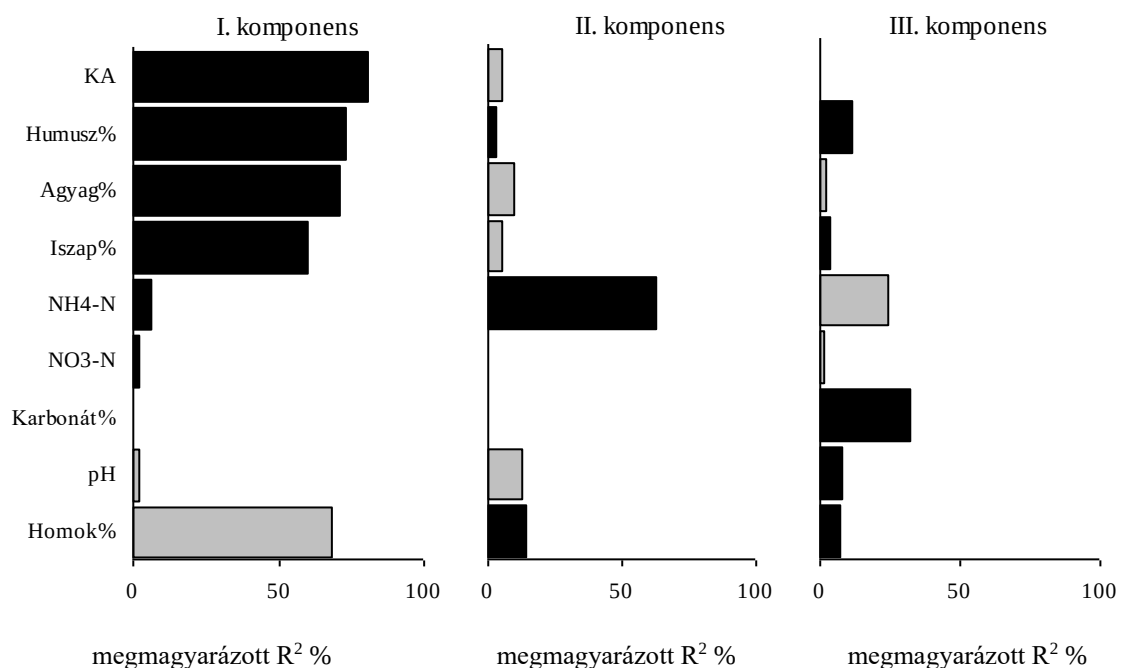
A különböző kötöttségi kategóriák talajainak átlagos N_{org} tartalma a 6. ábrán szerepel. Látható, hogy a kötöttséggel nő az N_{org} értéke. A kötöttség levegő- és vízgazdálkodási tulajdonságokra gyakorolt komplex hatása eredményezheti a különbségeket, egyre lassabb a szervesanyag bomlása.



6. ábra: Különböző kötöttségi kategóriákba (Stefanovits (1956) szerint) sorolt talajok átlagos CaCl₂-N_{org} tartalma

*Szignifikáns differencia: Az azonos betűvel jelölt átlagok $p \leq 5\%$ -os valószínűségi szinten nem különböznek egymástól

A magyarázó változók (talajtulajdonságok) közötti szignifikáns összefüggések (Függelék, 1. táblázat) zavaró hatását ki kell küszöbölnünk. Erre ad lehetőséget a PLS regresszió. A regressziós analízis alapján a CaCl₂-N_{org} változékonyságának 47%-a megmagyarázható a vizsgálatba bevont változókkal. A talajtulajdonságok, és a PLS regresszióval meghatározott komponensek kapcsolatát a 7. ábra szemlélteti.



7. ábra: A PLS regresszió segítségével meghatározott komponensek (az I. komponens a $\text{CaCl}_2\text{-N}_{\text{org}}$ varianciájának 31%-át, a II. és III. komponens 16%-át magyarázza), és a talajtulajdonságok kapcsolata (a fekete oszlopok pozitív, a szürke oszlopok negatív korrelációt jelentenek)

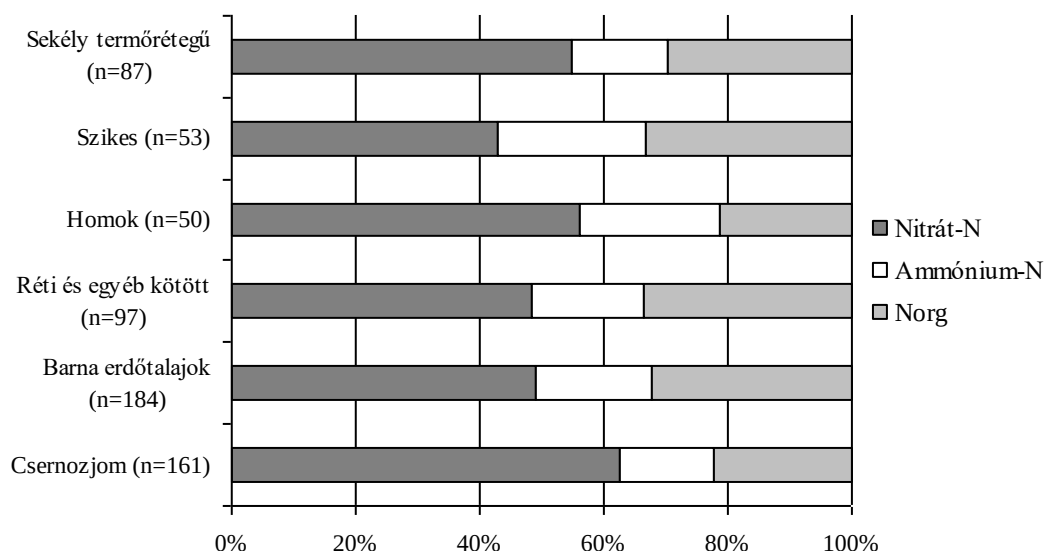
Az első komponens ($R^2=0,31$), amely a $\text{CaCl}_2\text{-N}_{\text{org}}$ talajparamétert leginkább befolyásoló, de egymással összefüggő tényezőket kombinálja, a talaj textúrával (kötöttség, iszap-, agyag- és homok tartalom), és a humusz tartalommal függ össze. A második ($R^2=0,13$) és harmadik komponens ($R^2=0,03$) leginkább a talaj $\text{NH}_4\text{-N}$ - és karbonát-tartalmával valamint a talaj pH-val korrelál. Az $\text{NH}_4\text{-N}$ és $\text{CaCl}_2\text{-N}_{\text{org}}$ közötti ($r=0,127$; $P \leq 0,001$) kapcsolat utalhat mérési hibára, mert a könnyen oxidálható szerves N egy származtatott érték, az ásványi- és az összes N különbségéből adódik, másrészt $\text{NH}_4\text{-N}$ képződhet a $\text{CaCl}_2\text{-N}_{\text{org}}$ szerves molekuláinak ásványosodása során a mintázást megelőzően, vagy azt követően is.

A $\text{CaCl}_2\text{-N}_{\text{org}}$ frakciót befolyásoló talajtulajdonságok a PLS regresszió analízis alapján elsősorban a talajtextúra (szemcseösszetétel és kötöttség), valamint a humusz tartalom. Ezek között is a homok tartalom negatív, míg a vályog-, agyag-, humusz tartalom, és kötöttség pozitív összefüggésben van a $\text{CaCl}_2\text{-N}_{\text{org}}$ paraméterrel. Ez arra utal, hogy elsősorban a mineralizációs viszonyok határozzák meg a mennyiségét.

4.1.1.4. N frakciók aránya a különböző termőhelyi kategóriák talajain

A N-formák aránya talajtípusonként a 8. ábrán szerepel. A $\text{CaCl}_2\text{-N}_{\text{össz}}$ legnagyobb részét a talaj $\text{NO}_3\text{-N}$ tartalma adja. Az arányok azt bizonyítják, hogy a CaCl_2 -al kivonható, könnyen mobilizálható szerves N szerepe a növény táplálásban nem elhanyagolható, hiszen a $\text{CaCl}_2\text{-N}_{\text{össz}}$ 20-33%-át adja. Mennyisége alapján az $\text{NH}_4\text{-N}$ és $\text{NO}_3\text{-N}$ között helyezkedik el több típus mintáiban, míg a réti talajokon átlagosan a $\text{CaCl}_2\text{-N}_{\text{össz}}$ egyharmadát teszi ki.

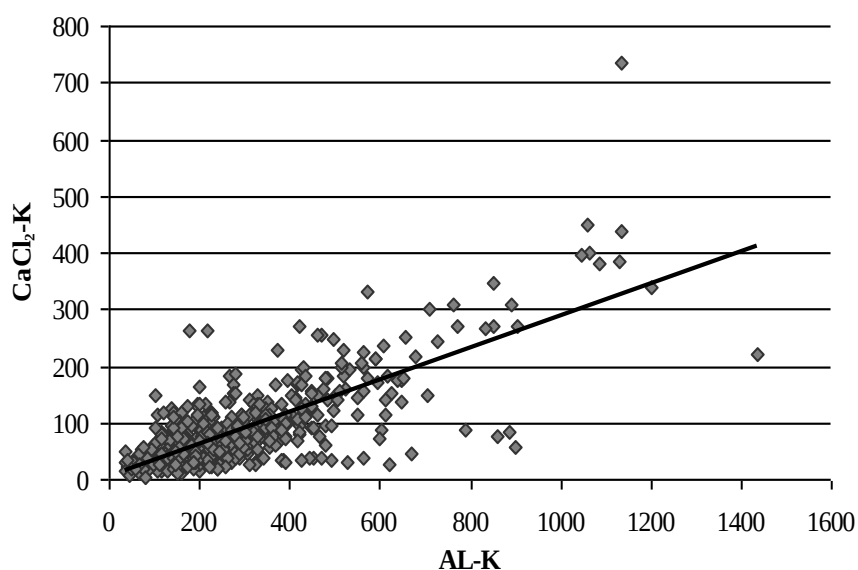
Az egyes frakciók arányát talajtípusonként is megvizsgálva az látható, hogy az N_{org} aránya a homoktalajokon a legkisebb, míg réti talajokon a legnagyobb, ami összhangban van a korábban a talajtextúra esetében tapasztalt eltérésekkel és feltehetőleg a talajok levegő- és vízgazdálkodási tulajdonságaival függ össze.



8. ábra: A CaCl_2 -os N formák aránya termőhelyi kategóriák szerint

4.1.2. Kálium

A hagyományos, AL és a 0,01 M CaCl_2 módszerekkel kivonható K-tartalom közötti összefüggést a vizsgált mintahalmazon a 9. ábra szemlélteti. Az ábrából kitűnik, hogy az erélyesebb oldó és kicserélő hatású AL kivonószert a többszörösét vonja ki a talaj K-tartalmának, a 0,01 M CaCl_2 -hoz viszonyítva. A teljes mintaanyagban az AL-K átlagosan háromszorosa a CaCl_2 -K mennyiségének.



9. ábra: AL-K és CaCl_2 -K (mg kg^{-1}) közötti összefüggés ($n = 629$)

A két kivonószerral meghatározott K-tartalom közötti mennyiségi összefüggést leíró regressziós egyenlet a következő:

$$Y (\text{CaCl}_2\text{-K}) = 0,282 \text{ AL-K} + 5,42 \qquad R^2 = 0,58 \qquad \delta = 51,2$$

A két kivonószerral nyert adatok között szoros ($r = 0,76$), szignifikáns az összefüggés, azonban az eltérő talajtulajdonságok és trágyázási múlt következtében nagy a szórás. Nagy mintaszám mellett a determinációs együttható értéke 58%, ami nem teszi lehetővé az AL-K és CaCl_2 -K értékek megbízható átszámítását a regressziós egyenlet alapján.

A talaj fizikai és kémiai jellemzői eltérő mértékben hatnak az egyes kivonószerekben mért K mennyiségére. Szakirodalmi adatok alapján a K esetében a

fizikai talajféleség, pH, karbonátosság és humusztartalom alapján kialakított csoportokon belül célszerű vizsgálni az összefüggést.

A talajokat az Arany-féle kötöttségi szám alapján kötöttségi kategóriákba soroltam. Az egyes kategóriákban kapott átlagos értékek és a két kivonószerben mért K-tartalom aránya a 14. táblázatban látható. Az AL-K a kötöttség függvényében mintegy kétszeresére növekszik. A 0,01 M CaCl₂ esetében a kötöttségtől való függés nem mutatható ki. Az előbbi megállapításokat varianciaanalízissel is igazoltam (Függelék, 2. táblázat).

14. táblázat: Az AL és 0,01 M CaCl₂ kivonószerben mért káliumtartalom mennyisége (mg kg⁻¹) és aránya a talaj kötöttsége függvényében

Kötöttségi kategóriák*	Mintaszám	CaCl ₂ -K (mg kg ⁻¹)			AL-K (mg kg ⁻¹)			AL-K/CaCl ₂ -K
		átlag	min.	max.	átlag	min.	max.	
Durva homok	48	83,1	24	187	151	37	527	1,8
Homok	51	74,3	12	230	162	36	439	2,2
Homokos vályog	107	78,4	9	440	238	41	1136	3,0
Vályog	146	87,8	11	400	291	50	1200	3,3
Agyagos vályog	149	87	15	450	313	65	1438	3,6
Agyag	86	88,1	15	736	332	58	1135	3,8
Nehéz agyag	45	72,6	5	270	340	78	860	4,7
Összes minta	629	83,2	-	-	276	-	-	3,3

* Stefanovits (1956) szerint

Az AL-K/CaCl₂-K aránya a kötöttség függvényében nő. A kötöttség szerint meghatározott mintahalmazokon kapott regressziós egyenletek (15. táblázat) meredeksége is ezt bizonyítja. A kötöttebb talajokon a regressziós becslés hibája is nagyobb.

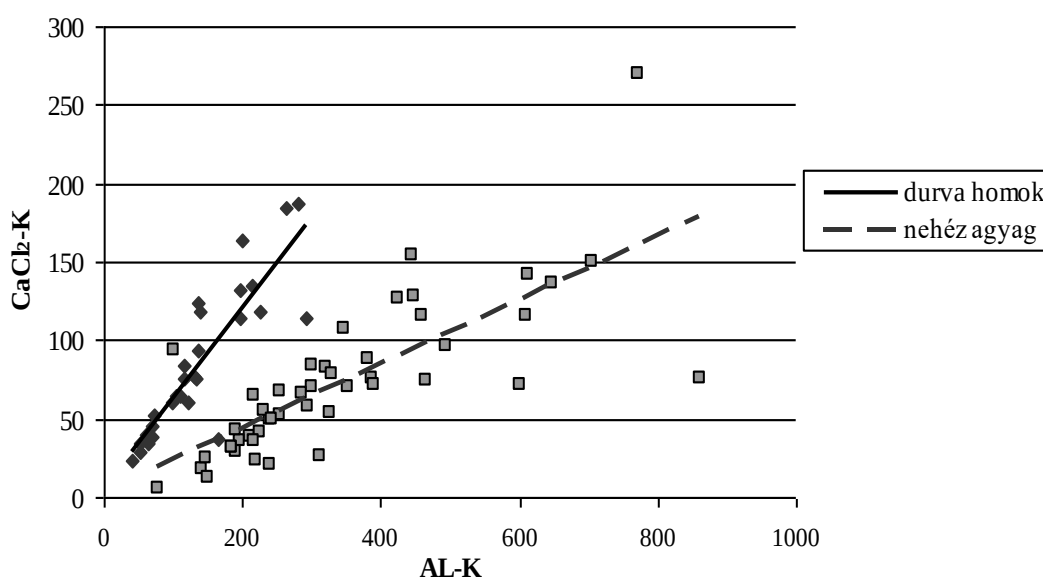
Ismert, hogy azonos mennyiségű kicserélhető kálium esetén, a homoktalajokon mindig több K⁺-ion van jelen a talajoldatban, mint az agyagtalajokon. A növekvő kötöttség függvényében vizsgálva a talajokat, a kicserélhető K-tartalmuk általában növekszik, a talajoldat K⁺-ion koncentrációja viszont ennél kisebb mértékben nő. Ennek az oka, hogy kötöttebb talajokon erőteljesebb a K kötődése, nagyobb agyagkolloid-tartalmuk következtében.

15. táblázat: AL-K és CaCl₂-K értékek közötti regresszió analízis eredménye különböző kötöttségű talajokon

Kötöttségi kategória*	Regressziós egyenlet	R ²	δ
Durva homok (n=47)	$Y (\text{CaCl}_2\text{-K}) = 0,428 \text{ AL-K} + 21,127$	0,61	28,4
Homok (n=51)	$Y (\text{CaCl}_2\text{-K}) = 0,377 \text{ AL-K} + 6,817$	0,59	29,6
Homokos vályog (n=107)	$Y (\text{CaCl}_2\text{-K}) = 0,277 \text{ AL-K} + 12,814$	0,55	39,4
Vályog (n=146)	$Y (\text{CaCl}_2\text{-K}) = 0,337 \text{ AL-K} - 10,016$	0,72	40,9
Agyagos vályog (n=149)	$Y (\text{CaCl}_2\text{-K}) = 0,294 \text{ AL-K} - 4,925$	0,69	41,0
Agyag (n=84)	$Y (\text{CaCl}_2\text{-K}) = 0,235 \text{ AL-K} + 4,16$	0,53	61,6
Nehéz agyag (n=43)	$Y (\text{CaCl}_2\text{-K}) = 0,198 \text{ AL-K} + 4,232$	0,54	85,5

* Stefanovits (1956) szerint

A durva homok és nehéz agyag talajok regressziós egyeneseinek lefutása jól szemlélteti a különbségeket (10. ábra). Látható, hogy azonos CaCl₂-K értékhez jóval nagyobb AL-K érték tartozik a kötöttebb talajokon, ami alapján feltételezhető, hogy a CaCl₂ által kivont kálium mennyisége inkább a talajoldat K-koncentrációját, míg az AL a tartalékokat is jellemzi.



10. ábra: AL-K és CaCl₂-K (mg kg⁻¹) közötti összefüggés agyag- és homoktalajokon

A pH és a talajvizsgálati eredmények közötti összefüggést szemlélteti a 16. táblázat. A 0,01 M CaCl₂-ban mért K értéke kismértékben változott a pH függvényében, ezzel szemben az AL-K a gyengén lúgos pH-ig kétszeresére nőtt. A pH hatása az AL-K esetében varianciaanalízissel is igazolható volt (Függelék, 3. táblázat). A karbonát tartalom hatása azonban nem volt statisztikailag igazolható (Függelék, 4. táblázat).

16. táblázat: Az AL és 0,01 M CaCl₂ kivonószerekben mért K mennyisége (mg kg⁻¹) és aránya a pH függvényében

pH _{KCl} kategória	Mintaszám	CaCl ₂ -K (mg kg ⁻¹)			AL-K (mg kg ⁻¹)			AL-K/ CaCl ₂ -K
		átlag	min.	max.	átlag	min.	max.	
Erősen savanyú	69	83,1	24	255	151,2	40	518	1,8
Savanyú	109	74,3	18	398	161,7	70	1046	2,2
Gyengén savanyú	147	78,4	5	385	238	37	1200	3
Semleges	123	87,8	14	345	290,6	36	1438	3,3
Gyengén lúgos	181	87	9	736	312,9	37	1136	3,6
Összes minta	629	83,2	-	-	275,9	-	-	3,3

A pH szerint kialakított csoportok regressziós egyenleteit is meghatároztam (17. táblázat). Bár a kategóriákon belül szorosabb az összefüggés, mint a teljes mintahalmazon, a determinációs együttható értéke alapján az egyenletek nem alkalmasak a K-tartalom statisztikailag megbízható átszámítására.

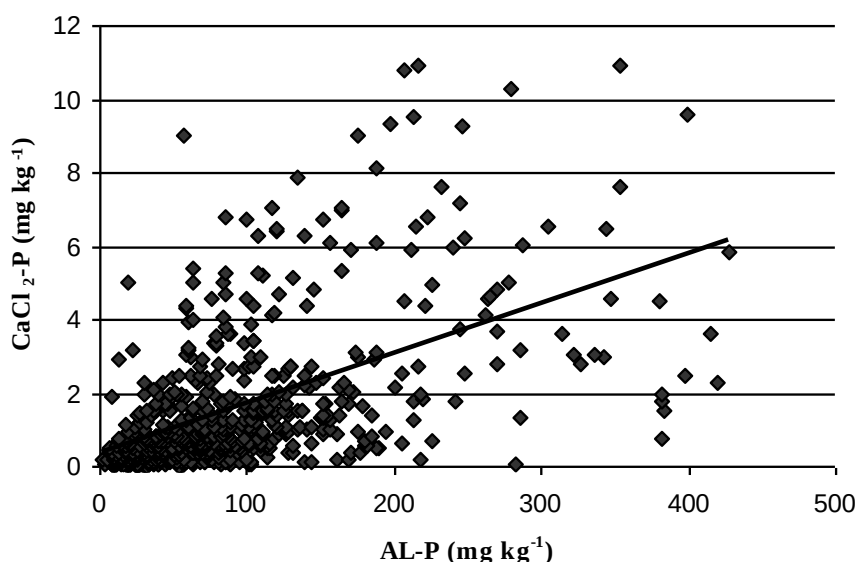
17. táblázat: AL-K és CaCl₂-K értékek közötti regresszióanalízis eredménye különböző kémhatású talajokon

pH _{KCl} kategória	Regressziós egyenlet	Determinációs együttható (R ²)
Erősen savanyú (n=69)	Y (CaCl ₂ -K) = 0,357 AL-K + 9,817	0,61
Savanyú (n=109)	Y (CaCl ₂ -K) = 0,286 AL-K + 7,082	0,60
Gyengén savanyú (n=147)	Y (CaCl ₂ -K) = 0,256 AL-K + 4,056	0,64
Semleges (n=123)	Y (CaCl ₂ -K) = 0,253 AL-K + 0,628	0,59
Gyengén lúgos (n=181)	Y (CaCl ₂ -K) = 0,368 AL-K – 8,37	0,63

A CaCl₂-K a vizsgált heterogén mintahalmazon átlagosan harmada az AL-K értékének. A két paraméter összefüggését a kötöttség számottevően befolyásolta, mert az AL-K értéke nő a kötöttség növekedésével, míg a CaCl₂-K nem függ a kötöttségtől. A teljes mintahalmazon fennálló (R²= 0,58) és a kötöttségi kategóriákban kapott (R²=0,53-0,72) összefüggés alapján a talajvizsgálati értékek nem átszámíthatóak.

4.1.3. Foszfor

Az irodalmi adatokból is kitűnik, hogy a legnagyobb eltérés a hagyományos módszerek és a CaCl_2 -os kivonószerekben mért tápelem-tartalom között a foszfor esetében tapasztalható. Ezt a vizsgált talajmintabázison kapott összefüggés is megerősíti (11. ábra).



11. ábra: Az AL-P és CaCl_2 -P közötti korreláció a teljes mintahalmazon ($n = 622$)

A CaCl_2 -P átlagosan kevesebb mint 2%-a az AL-P mennyiségének. Az összefüggést leíró regressziós egyenlet a következő:

$$Y (\text{CaCl}_2\text{-P}) = 0,0137 \text{ AL-P} + 0,3478 \quad R^2 = 0,31 \quad \delta = 1,71$$

Az egyenes meredeksége is mutatja, hogy az AL egy erőlyes kivonószerek, amely két nagyságrenddel több P-t von ki a talajból, mint a 0,01 M CaCl_2 . A korrelációs koefficiens értéke szerint az összefüggés közepes erősségű ($r=0,55$).

A talajokat karbonátosság, pH és kötöttség függvényében csoportosítottam. A karbonát tartalom alapján kialakított csoportok átlagos CaCl_2 - és AL-P értékei a 18. táblázatban szerepelnek. A karbonát tartalom hatása mindkét kivonószerek esetében statisztikailag igazolható volt (Függelék, 4. táblázat). A CaCl_2 -P értéke a növekvő karbonát tartalommal csökken, ami összhangban van a foszforvegyületek oldhatóságának alakulásával. Ezzel szemben az AL-P értéke a közepesen és erősen karbonátos talajokon nagyobb, mint a nem karbonátos talajokon. Az arányokból is

kitűnik, hogy az AL a karbonát tartalom növekedésével a CaCl_2 -hoz viszonyítva egyre több foszfort von ki. Ez az AL savas kémhatásával magyarázható, mely lehetővé teszi, hogy oldja a talaj P tartalékainak egy részét képző, könnyen mobilizálható Ca-foszfátokat is.

18. táblázat: Az eltérő karbonát-tartalmú talajok átlagos CaCl_2 -P és AL-P értékei

Karbonát tartalom	Mintaszám	CaCl_2 -P (mg kg^{-1})			AL-P (mg kg^{-1})			AL/ CaCl_2
		átlag	min.	max.	átlag	min.	max.	
Nem karbonátos	302	1,86 ^{a*}	0,01	18,5	68 ^a	1,3	510	37
Gyengén karbonátos	148	1,69 ^a	0,05	11,0	110 ^{bc}	8,7	470	65
Közepesen karbonátos	142	1,31 ^a	0,01	6,8	130 ^c	7,4	420	99
Erősen karbonátos	30	0,69 ^b	0,05	6,8	96 ^b	19,2	227	141
Összes	622	1,64			94			57

*Szignifikáns differencia: Az azonos betűvel jelölt átlagok $p \leq 5\%$ -os valószínűségi szinten nem különböznek egymástól

A nem karbonátos talajokat kémhatásuk alapján csoportosítottam (19. táblázat), és megvizsgáltam, hogy milyen hatással van a pH a kivonásokban mért P-tartalomra. A varianciaanalízis alapján (Függelék, 5. táblázat) az erősen savanyú és a semleges-gyengén savanyú talajok AL-P értékei szignifikánsan különböznek, míg a CaCl_2 -P esetében a különbségek nem szignifikánsak (19. táblázat). A foszforvegyületek oldhatósága szempontjából a gyengén savanyú, semleges kémhatás a kedvező, amit az AL-P, valamint tendenciaszerűen a CaCl_2 -P alakulása is mutat.

19. táblázat: A kémhatás szerint csoportosított karbonátmentes talajok átlagos CaCl_2 -P és AL-P értékei

pH_{KCl}	Mintaszám	CaCl_2 -P (mg kg^{-1})			AL-P (mg kg^{-1})			AL/ CaCl_2
		átlag	min.	max.	átlag	min.	max.	
Erősen savanyú	69	1,51 ^{a*}	0,07	8,1	48 ^a	1,3	271	32
Savanyú	96	1,94 ^a	0,01	18,5	65 ^{ab}	3,9	510	33
Semleges, gyengén savanyú	123	1,99 ^a	0,01	10,9	81 ^b	5,2	354	41
Összes	302	1,86			68			37

*Szignifikáns differencia: Az azonos betűvel jelölt átlagok $p \leq 5\%$ -os valószínűségi szinten nem különböznek egymástól

A kötöttség is szignifikáns hatással volt a kivonható P mennyiségére (Függelék, 6. táblázat). A vizsgált mintabázison a CaCl_2 -al kivonható P mennyisége a kötöttség növekedésével következetesen csökken, míg az AL-P vályog talajokon a legnagyobb, kötött talajokon a legkisebb (20. táblázat).

A kötöttség hatása azzal magyarázható, hogy a növekvő agyagtartalommal nő a foszfát-ionok adszorpciójának mértéke, ami leginkább a talajoldat foszfor-tartalmának csökkenésében mutatkozik meg.

20. táblázat: Az eltérő kötöttségű talajok átlagos $\text{CaCl}_2\text{-P}$ és AL-P értékei

Kötöttségi kategóriák*	Mintaszám	$\text{CaCl}_2\text{-P}$ (mg kg^{-1})			AL-P (mg kg^{-1})			$\text{AL-P/CaCl}_2\text{-P}$
		átlag	min.	max.	átlag	min.	max.	
Durva homok	48	3,15 ^{a**}	0,16	10,95	80 ^a	7,4	347	25
Homok	51	2,57 ^a	0,05	10,80	86 ^a	12,2	354	34
Homokos vályog	104	1,76 ^b	0,10	9,50	91 ^{ab}	8,3	470	52
Vályog	143	1,82 ^b	0,04	18,50	117 ^b	1,3	510	64
Agyagos vályog	145	1,21 ^{bc}	0,01	10,30	96 ^{ab}	5,2	428	80
Agyag	86	0,97 ^c	0,01	9,00	79 ^a	7,0	380	81
Nehéz agyag	45	0,80 ^c	0,02	6,20	70 ^a	11,4	285	87
Összes minta	622	1,64	-	-	94	-	-	57

* Stefanovits (1956) szerint

**Szigifikáns differencia: Az azonos betűvel jelölt átlagok $p \leq 5\%$ -os valószínűségi szinten nem különböznek egymástól

4.2. Karcagi tartamkísérlet

A Karcagi B17 jelzésű tartamkísérlet talajainak fontosabb kémiai tulajdonságai kezelésenként a 21. táblázatban szerepelnek. Az adatokból kitűnik, hogy a hosszútávú, nagyadagú műtrágyázás hatására jelentősen megnőtt a hidrolitos aciditás értéke, míg a pH esetében csak tendenciaszerű változás tapasztalható, ami a talaj nagy kolloidtartalmával magyarázható. A tartam K-trágyázás hatására a talaj kicserélhető K-tartalma a többi bázikus kationhoz viszonyítva növekedett. A talaj N-ellátottsága a MÉM-NAK 1979-es határértékei szerint közepes.

A kísérlet két ismétlését a vizsgálat előtt 4 évvel meszezték. Ennek hatására a KCl-os pH 4,4 (nem meszezett) helyett 6,1 volt a 2007. évi talajvizsgálatok szerint.

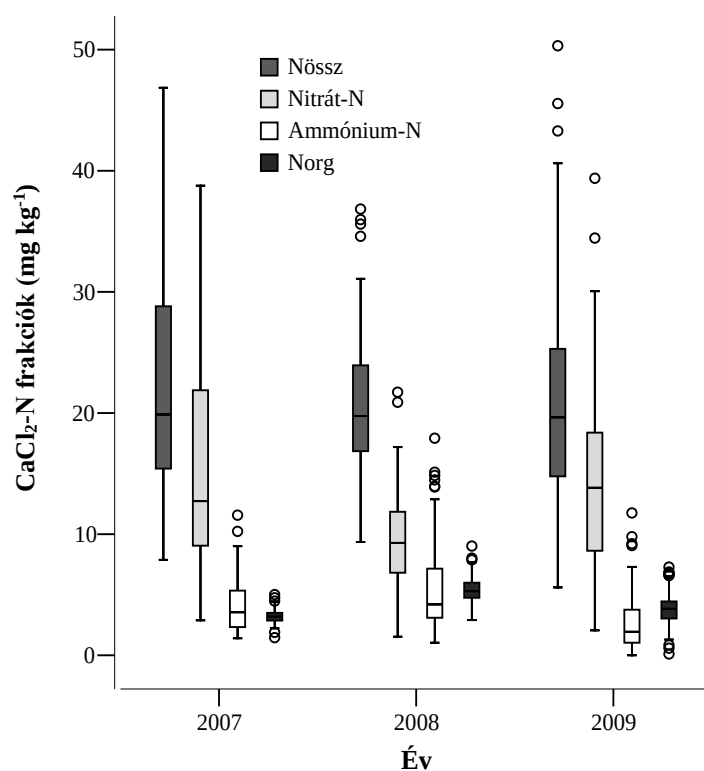
21. táblázat: A Karcagi tartamkísérlet kezelései és fontosabb fizikai, kémiai talajtulajdonságai (2007.)

Kezelés	N (kg ha ⁻¹)	P	K	pH _{CaCl2}	pH _{H2O}	pH _{KCl}	y ₁	Humusz %	S-érték %-ában			
									Ca	Mg	K	Na
1	0	0	0	6,32	6,80	5,61	10,0	2,51	83,8	13,9	2,1	0,20
2	100	0	0	6,16	6,66	5,51	11,0	2,65	85,7	12,0	2,0	0,19
3	100	22	0	6,08	6,55	5,43	12,3	2,63	85,9	11,9	2,0	0,26
4	100	44	0	6,05	6,47	5,42	12,8	2,75	86,4	11,3	2,0	0,22
5	150	0	0	5,84	6,34	5,16	15,0	2,64	84,8	12,7	2,3	0,22
6	150	22	0	6,03	6,54	5,46	12,6	2,69	86,2	11,5	2,1	0,24
7	150	44	0	5,87	6,43	5,45	13,0	2,63	86,6	10,9	2,3	0,24
8	200	0	0	5,73	6,20	5,08	16,3	2,73	85,3	12,1	2,3	0,22
9	200	22	0	5,76	6,23	4,38	15,5	2,64	86,0	11,6	2,2	0,24
10	200	44	0	5,82	6,24	5,24	14,9	2,74	86,0	11,3	2,5	0,25
11	100	0	83	5,91	6,52	5,41	12,4	2,62	84,1	11,4	4,4	0,21
12	100	22	83	5,99	6,52	5,47	12,0	2,69	84,6	10,7	4,5	0,19
13	100	44	83	5,94	6,39	5,42	12,8	2,66	85,0	10,7	4,1	0,17
14	150	0	83	5,88	6,37	5,30	13,4	2,70	83,6	11,4	4,9	0,22
15	150	22	83	5,78	6,30	5,25	14,1	2,64	84,1	11,0	4,7	0,21
16	150	44	83	5,79	6,18	5,21	14,3	2,72	85,3	11,0	3,5	0,20
17	200	0	83	5,78	6,24	5,22	13,6	2,60	83,8	11,1	4,8	0,19
18	200	22	83	5,73	6,10	5,14	15,3	2,71	85,0	10,5	4,3	0,23
19	200	44	83	6,10	6,03	5,11	16,9	2,68	85,9	9,7	4,2	0,21
20	250	66	83	5,49	5,72	4,88	19,7	2,76	87,0	7,8	4,9	0,28
Átlag	-	-	-	5,90	6,34	5,26	13,9	2,67	85,3	11,2	3,3	0,22

4.2.1. Nitrogén

4.2.1.1. A 0,01 M CaCl₂-al kivonható N frakciók

A 0,01 M CaCl₂ módszerrel meghatározott ásványi (NO₃-N, NH₄-N) és könnyen oxidálható szerves (N_{org}) N frakciók 2007-2009 között mért értékeinek eloszlását jellemző, valamint a kiugró értékek vizsgálatára alkalmas box-plot grafikonok a 12. ábrán szerepelnek. Az ásványi N-formák, különösen a NO₃-N, esetében az adatok terjedelme és az interkvartilis terjedelem alapján megállapítható, hogy az értékek széles határok között mozognak, szemben az N_{org} frakcióval, melynek kis változékonysága arra utal, hogy a műtrágyázás kevésbé módosítja a mennyiségét. Enyhén kiugró értékeket minden frakció esetében találtam, melyeket nem zártam ki a további vizsgálatokból.



12. ábra: A 0,01 M CaCl₂-al kivonható N frakciók alakulása (2007-2009)

4.2.1.2. A N-trágyázás hatása a 0,01 M CaCl₂-N frakciók mennyiségére

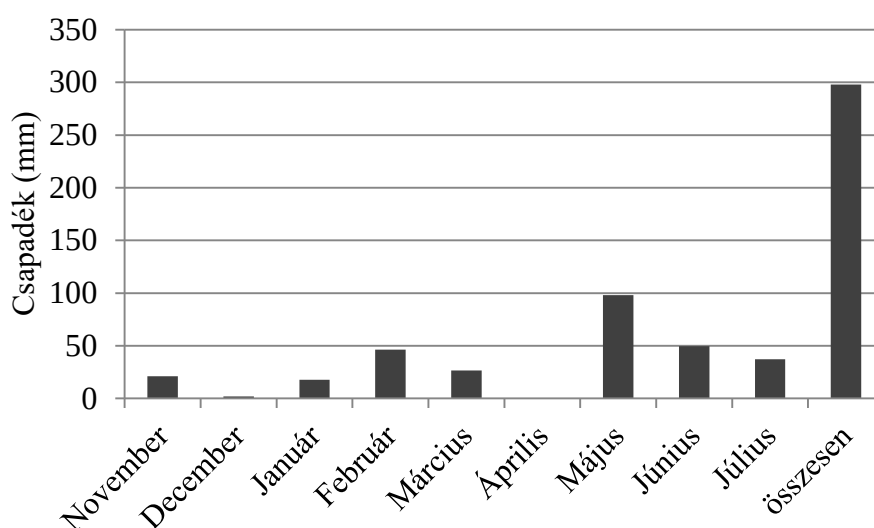
A tartamkísérlet 2007-ben, 2008-ban és 2009-ben vett talajmintáinak 0,01 M CaCl₂ módszerrel meghatározott NO₃-N, NH₄-N, N_{org} tartalma és a frakciók összege (N_{össz}) a 22. táblázatban szerepel, N kezelésenként.

22. táblázat: A tartam N-trágyázás hatása a 0,01 M CaCl₂ kivonószerezrel meghatározott N frakciók alakulására a Karcagi B17. tartamkísérletben (2007-2009)

Kezelések (kg N ha ⁻¹)	NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)	SzD*	NH ₄ -N (mg kg ⁻¹)	SzD*	N _{org} (mg kg ⁻¹)	SzD*	N _{össz} (mg kg ⁻¹)	SzD*
2007								
N ₀	4,5	a	2,16	a	2,82	a	9,5	a
N ₁₀₀	8,7	b	3,47	b	3,08	a	15,3	b
N ₁₅₀	13,6	c	4,56	b	3,06	a	21,3	c
N ₂₀₀	22,8	d	4,33	b	3,38	b	30,5	d
N ₂₅₀	34,7	e	6,08	ab	4,47	c	45,2	e
Átlag	15,5		4,12		3,22		22,8	
2008								
N ₀	4	a	3,16	a	4,62	a	11,8	a
N ₁₀₀	7,7	b	6,11	a	5,26	ab	19,1	b
N ₁₅₀	9,7	bc	5,23	a	5,22	ab	20,2	b
N ₂₀₀	11,7	c	6,22	a	5,78	b	23,7	bc
N ₂₅₀	13,1	c	6,43	a	7,27	c	26,8	c
Átlag	9,6		5,75		5,47		20,8	
2009								
N ₀	6,2	a	1,47	a	4,48	a	12,2	a
N ₁₀₀	11,2	ab	2,31	a	3,59	a	17,1	ab
N ₁₅₀	15	bc	2,18	a	3,98	a	21,2	ab
N ₂₀₀	19,6	cd	3,3	a	4	a	26,9	bc
N ₂₅₀	23	d	4,68	a	4,67	a	32,4	c
Átlag	15,2		2,65		3,93		21,8	
2007-2009 (átlag)								
N ₀	4,9	a	2,26	a	3,98	a	11,1	a
N ₁₀₀	9,2	b	3,96	a	3,97	a	17,1	b
N ₁₅₀	12,8	b	3,99	a	4,09	a	20,9	b
N ₂₀₀	18,0	c	4,62	a	4,39	a	27,0	c
N ₂₅₀	23,6	d	5,73	a	5,47	b	34,8	d
Átlag	13,4		4,17		4,21		21,8	

*Szignifikáns differencia: az azonos betűkkel jelölt átlagok nem különböznek egymástól P=0,05 valószínűségi szinten.

2007-ben az összes N dózis szignifikánsan növelte a $\text{NO}_3\text{-N}$ és $\text{N}_{\text{össz}}$ frakciók mennyiségét. 2008-ban és 2009-ben is szignifikánsan nőtt mindkét frakció mennyisége a N trágyázás hatására, azonban a kezelések között kisebb különbségek tapasztalhatóak. A három vizsgálati év közül 2007-ben volt a legnagyobb a talajok $\text{NO}_3\text{-N}$ tartalma. A talaj nitrát-tartalmának növekedését az aszályos áprilisi időjárással magyarázhatjuk (13. ábra), ugyanis a búza N-felvétele a bokrosodás-szárbaindulás idején a legintenzívebb, és az ebben az időszakban elszenvedett vízhiány hatására jelentősen csökken a N-felvétel.



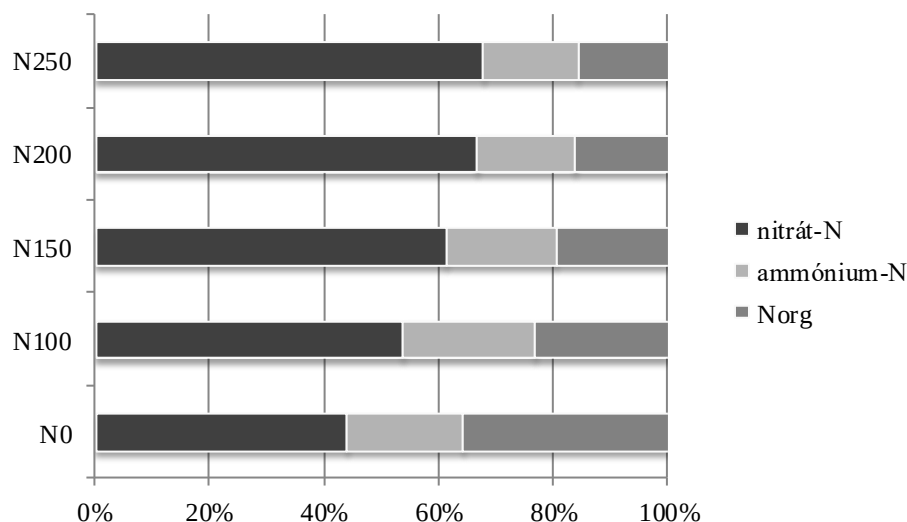
13. ábra: Az őszi búza tenyészideje során hullott csapadék mennyisége (Karcag, 2006-2007)

2008-ban a kezelések talajainak N_{org} tartalma a másik két évhez viszonyítva nagy volt, ami a kis $\text{NO}_3\text{-N}$ értékekkel együtt arra utal, hogy a 2007-2008 évi őszi búza N-felvétele nagyobb volt, és több szerves anyag maradt utána a talajban. Ezt a megállapítást a terméseredmények is alátámasztják (23. táblázat).

Az $\text{NH}_4\text{-N}$ mennyisége az első évben szignifikánsan kisebb volt a kontroll talajokon, míg a N kezelések talajainak $\text{NH}_4\text{-N}$ tartalma között nincs különbség. A többi évben statisztikailag nem igazolható, tendenciaszerű növekedés tapasztalható a N trágyázás hatására.

Az N_{org} frakció alakulására 2007-ben és 2008-ban – a búza betakarítását követően – szignifikáns hatással volt a N trágyázás, ami a műtrágyázás közvetett hatásaival magyarázható.

Az abszolút mennyisége mellett az N_{org} frakció ásványi N-formákhoz viszonyított arányát is megvizsgáltam (14. ábra). A három év átlagában a kontroll talajokon az $N_{össz}$ frakció több mint egyharmadát adta a könnyen oxidálható szerves N, míg a nagyadagú N-trágyázásban részesült kezelésekben mindössze 10-20%-át.

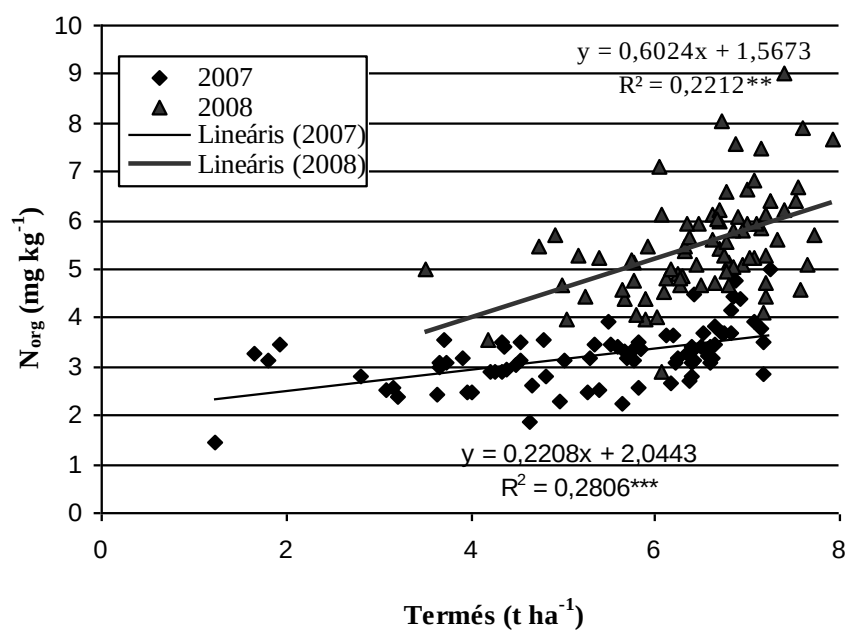


14. ábra: A különböző N-frakciók aránya kezelésenként (2007-2009)

4.2.1.3. A 0,01 M $CaCl_2$ - N_{org} frakció alakulását befolyásoló tényezők

A vizsgálati eredményeim és szakirodalmi adatok is azt mutatják, hogy a kivonható szerves N frakció mennyiségét befolyásolja a műtrágyázás. A trágyázási kezelések hatását egyrészt a nagyobb gyökértömeggel magyarázhatjuk, másrészt a talaj mikrobiológiai folyamatainak változásával, a sűrűbb gyökérzet hatására. A trágyázás közvetett hatását támasztja alá a búza terméseredmények és a betakarítást követően vett talajminták N_{org} tartalma közötti korreláció, ami 2007-ben közepes ($r=0,53$), 2008-ban gyenge ($r=0,47$) volt. A regressziós analízist (15. ábra) a terméseredmények és az N_{org} között végeztem el, mert a szemtermés mennyisége összefügg a biomassza produkcióval.

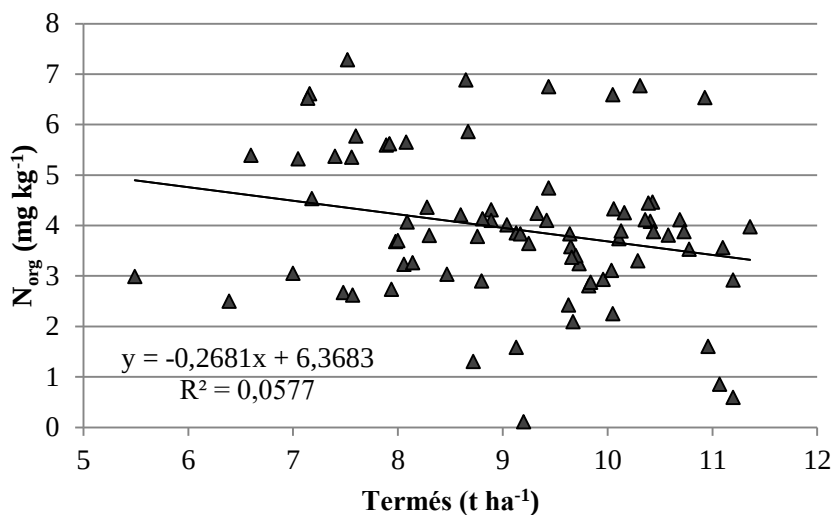
A 2009-ben betakarított kukorica terméseredményei és az N_{org} között azonban nem találtam szignifikáns összefüggést (16. ábra). Az eltérő eredményeket azzal magyarázhatjuk, hogy bár a kukorica összes szerves anyag produkciója nagyobb, a búza gyökérzete sűrűbben behálózza a felső talajréteget, így a gyökérmaradványok lebomlásakor a feltalaj könnyen ásványosodó szervesanyag készletét gyarapítja, amely réteget a mi mintázásunk is érintett.



15. ábra: Az őszi búza termése és a talaj betakarítás utáni N_{org} tartalma közötti kapcsolat ($n=160$) (2007, 2008)

** A korreláció $P=0,01$ szinten szignifikáns

*** A korreláció $P=0,001$ szinten szignifikáns



16. ábra: A kukorica termése és a talaj betakarítás utáni N_{org} tartalma közötti kapcsolat ($n=80$) (2009)

** A korreláció $P=0,01$ szinten szignifikáns

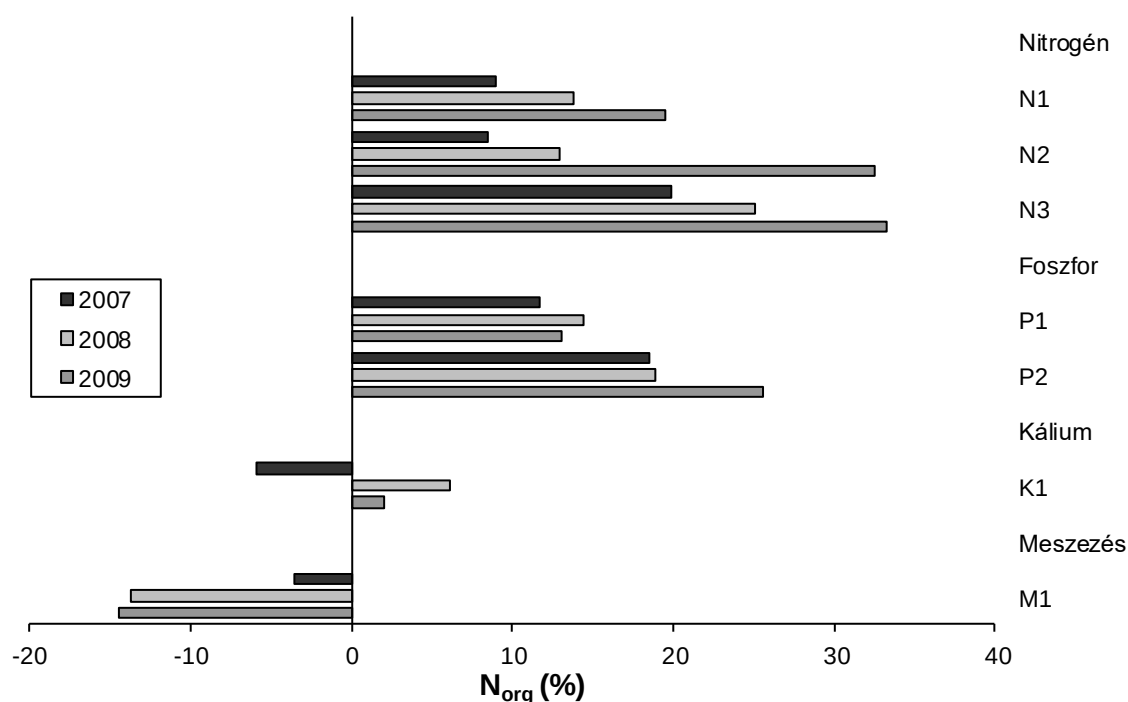
Az N_{org} frakció változékonyságát adott termőhelyen, adott évben az agronómiai tényezők hatásával magyarázhatjuk. Az N_{org} frakció alakulását a N trágyázás mellett a

P, K trágyázás és a meszezés is befolyásolhatja. Varianciaanalízis segítségével (General Linear Model) vizsgáltam az NPK kezelések és a meszezés hatását mindhárom évben a könnyen oxidálható szerves N mennyiségére (Függelék, 7., 8., 9. táblázat). Az N_{org} frakció változékonyságát 2007-ben 70, 2008-ban 75, 2009-ben 54%-ban magyarázhatjuk a tartamtrágyázás, a meszezés valamint ezek interakcióinak hatásával, ami szoros összefüggésre utal.

Megállapítható, hogy minden évben pozitív és szignifikáns (2007: $P=0,001$; 2008: $P=0,001$; 2009: $P=0,05$) hatása volt a P trágyázásnak (17. ábra). A tartamkísérlet talajainak eredeti P-ellátottsága a MÉM-NAK szerint igen gyenge, ezért a növények P trágyareakciója jó.

A N trágyázás hatása csak 2007-ben és 2008-ban ($P \leq 0,05$), volt szignifikáns. 2009-ben a varianciaanalízis alapján a N-trágyázásnak nem volt hatása.

A K trágyázás kedvező hatása az N_{org} mennyiségére az adott talajon nem volt igazolható, ahogy a terméseredmények esetében sem. 2007-ben még kismértékű csökkenés is kimutatható ($P \leq 0,05$).

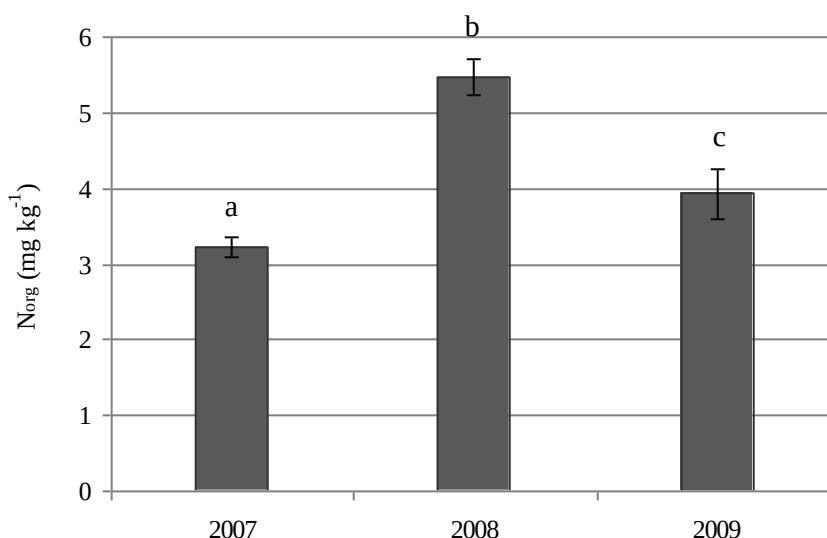


17. ábra: Az NPK trágyázás és meszezés hatása az N_{org} mennyiségére a Karcagi tartamkísérlet talajain

N_{org} %: a kezelt (műtrágyázott: 100 (N1), 150 (N2), 200 (N3) $kgN\ ha^{-1}$; 22 (P1), 44 (P2) $kgP\ ha^{-1}$; 83/166 (K1) $kgK\ ha^{-1}$; meszezett (M1)) és a kontroll (0 $kgN\ ha^{-1}$; 0 $kgP\ ha^{-1}$; 0 $kgK\ ha^{-1}$; nem meszezett) közötti különbség a kontroll értékek %-ában kifejezve

A korábbi vizsgálatok eredményei azt mutatták, hogy az N_{org} frakciót jelentős mértékben befolyásolja az évjárat hatása, amit a csapadék és hőmérsékleti viszonyoknak a növényi biomassa produkcióra és talajéletre gyakorolt hatásával magyarázhatunk (Függelék, 10. táblázat). Ezt szemlélteti a 18. ábra. Mindhárom év átlaga szignifikánsan különbözik, a legnagyobb különbség a két búza év között tapasztalható (70%-al nagyobb az N_{org} mennyisége 2008-ban).

Ha a kísérleti eredményeket összegezzük, megállapítható, hogy adott termőhelyen az N_{org} frakció alakulása szempontjából legnagyobb jelentősége az évjáratnak van. Az évjáráthatás érvényesülhet a mineralizáció és biomasszaprodukció egyensúlyán, az ezt meghatározó csapadék- és hőmérsékletviszonyokon valamint az adott évben termesztett növényfajon és agrotechnikán keresztül.



18. ábra: A Karcagi tartamkísérlet talajainak átlagos N_{org} tartalma a három vizsgálati évben

Az oszlopokon a $P=5\%$ konfidencia intervallum szerepel

*Szignifikáns differencia: az azonos betűkkel jelölt átlagok nem különböznek egymástól $P=5\%$ valószínűségi szinten.

4.2.1.4. A 0,01 M $CaCl_2$ -N frakciók és az agronómiai N-mérleg kapcsolata

A 23. táblázatban a N műtrágyaadagok és a termés által kivont N (a fajlagos N-tartalom és a termés szorzata) különbségéből számított agronómiai N mérleg mellett a nettó N mérleg is látható, mely a kezelések N mérlegének és a műtrágyázatlan talajok N-szolgáltatásának különbsége. Az agronómiai N mérleg alapján 2007-ben és 2008-ban a 150-200 kg ha⁻¹-os N dózis biztosította a talaj N-készletének fenntartását. A MÉM-NAK (Buzás et al., 1979) szerint a vizsgált talajon (I. szántóföldi termőhelycsoport,

közepes N-ellátottság) a kijuttatandó N hatóanyag megegyezik a növény N-igényével, tehát a kiegyenlített N-mérlegű kezelések számítanak optimálisnak.

23. táblázat: A tartam N-trágyázás hatása a termés alakulására; valamint az agronómiai N mérleg és a nettó N mérleg értéke a Karcagi B17. tartamkísérletben (0-20 cm) (2007-2009)

Kezelések (kg N ha ⁻¹)	Termés (t ha ⁻¹)	N mérleg* (kg ha ⁻¹)	Nettó N mérleg** (kg ha ⁻¹)
2007 (búza)			
N ₀	1,7	-45	0
N ₁₀₀	5,1	-38	7
N ₁₅₀	5,5	1	46
N ₂₀₀	5,7	47	92
N ₂₅₀	6,9	63	108
Átlag	5,3		
2008 (búza)			
N ₀	4,5	-122	0
N ₁₀₀	6,5	-76	46
N ₁₅₀	6,5	-27	95
N ₂₀₀	6,7	20	142
N ₂₅₀	6,7	68	190
Átlag	6,5		
2009 (kukorica)			
N ₀	7,8	-195	0
N ₁₀₀	9,3	-132	62
N ₁₅₀	9,2	-79	116
N ₂₀₀	9,4	-34	161
N ₂₅₀	8,2	44	239
Átlag	9,1		
2008-2010			
N ₀		-362	0
N ₁₀₀		-247	115
N ₁₅₀		-105	257
N ₂₀₀		32	394
N ₂₅₀		175	537

* Agronómiai N-mérleg: a N műtrágyaadagok és a termés által kivont N különbségéből számított érték

** Nettó N-mérleg: az agronómiai N-mérleg és a kontroll kezelés N-mérlegének összege

A talajvizsgálatok alapján (22. táblázat) azonban a talaj könnyen hozzáférhető N készlete azokban a kezelésekben is szignifikánsan megnőtt, ahol az agronómiai N mérleg negatív, vagy nullához közelít. Ezt a különbséget a talaj N-szolgáltatásának elhanyagolása, és a növényi N-felvétel becslésének hibája okozza. Az ásványosodás a

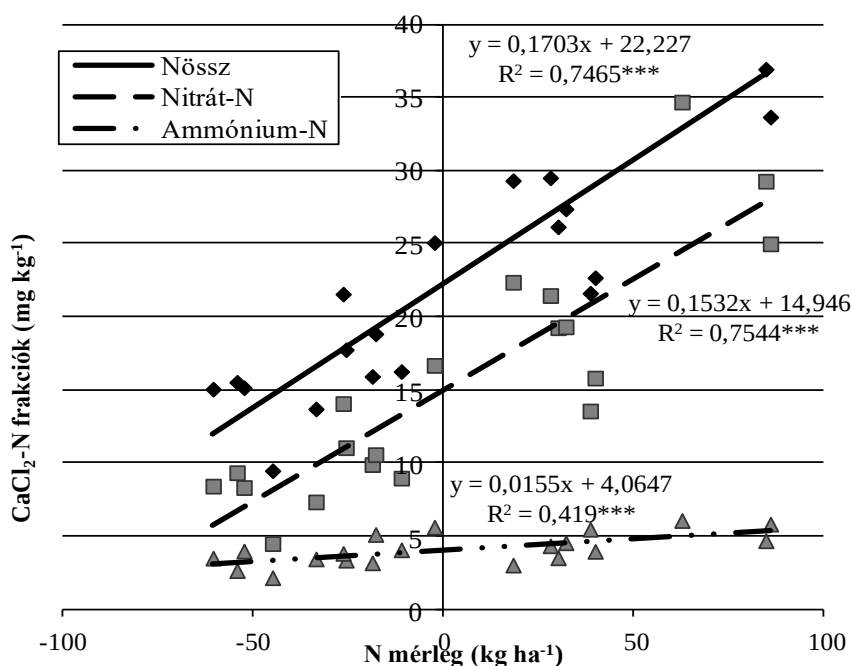
mineralizáció intenzitását meghatározó talajtulajdonságok, mint a humusz%, vagy a kötöttség figyelembe vételével sem jósolható meg, hiszen azt az évjáráthatás nagymértékben befolyásolja. Emellett a fajlagos N-tartalom is csak durva becslésre ad lehetőséget, hiszen a növények elemtartalma több tényezőtől – mint az időjárás, vagy a termés mennyisége – is függ.

A gyakorlatban az agronómiai N-mérleg, a becslés hibájának ellenére, jellemzi a N-készletben bekövetkező változásokat, ezért a további vizsgálatok során is az agronómiai N-mérleggel vettem össze a mérési eredményeimet.

A mérleg és a CaCl_2 -N frakciók közötti összefüggést lineáris regresszió analízissel vizsgáltam (19., 20., 21. ábra). 2007-ben az agronómiai N mérleg és a CaCl_2 - $\text{N}_{\text{össz}}$ valamint NO_3 -N között szoros ($r=0,86$; $r=0,87$), míg az agronómiai N mérleg és az NH_4 -N között közepesen szoros ($r=0,65$) korreláció igazolható.

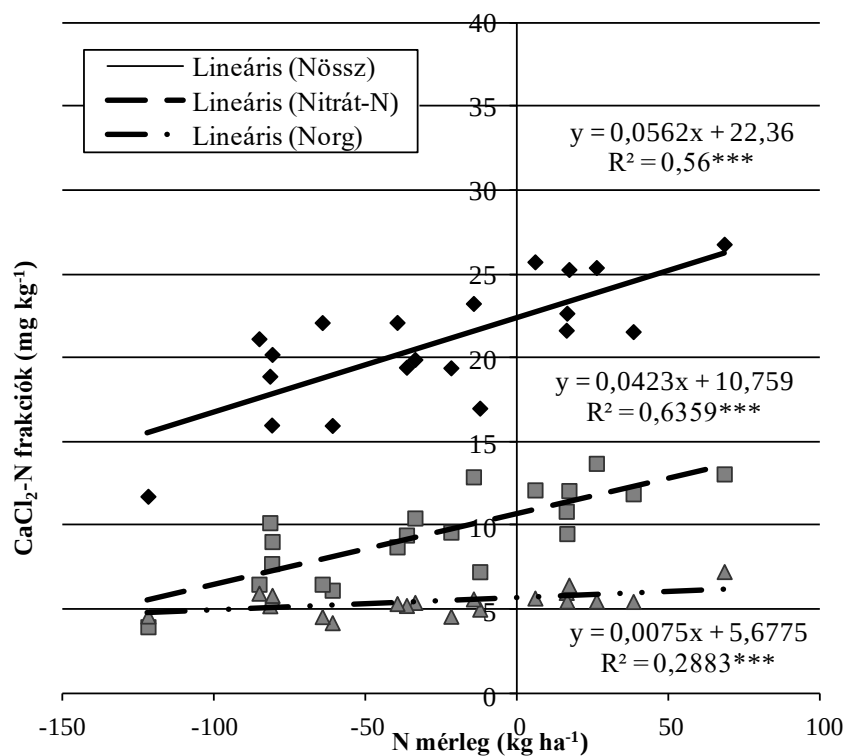
A CaCl_2 - $\text{N}_{\text{össz}}$ és NO_3 -N frakciók 2008-ban is szoros összefüggésben voltak a N mérleggel ($r=0,75$; $r=0,8$), de mennyiségük kisebb mértékben nőtt a pozitív mérlegek hatására. Ebben az évben az N_{org} és a N-mérleg kapcsolata is szignifikáns volt ($r=0,54$).

A N mérleg, a CaCl_2 - $\text{N}_{\text{össz}}$ valamint NO_3 -N közötti korreláció 2009-ben is szoros ($r=0,93$; $r=0,93$), szignifikáns volt.

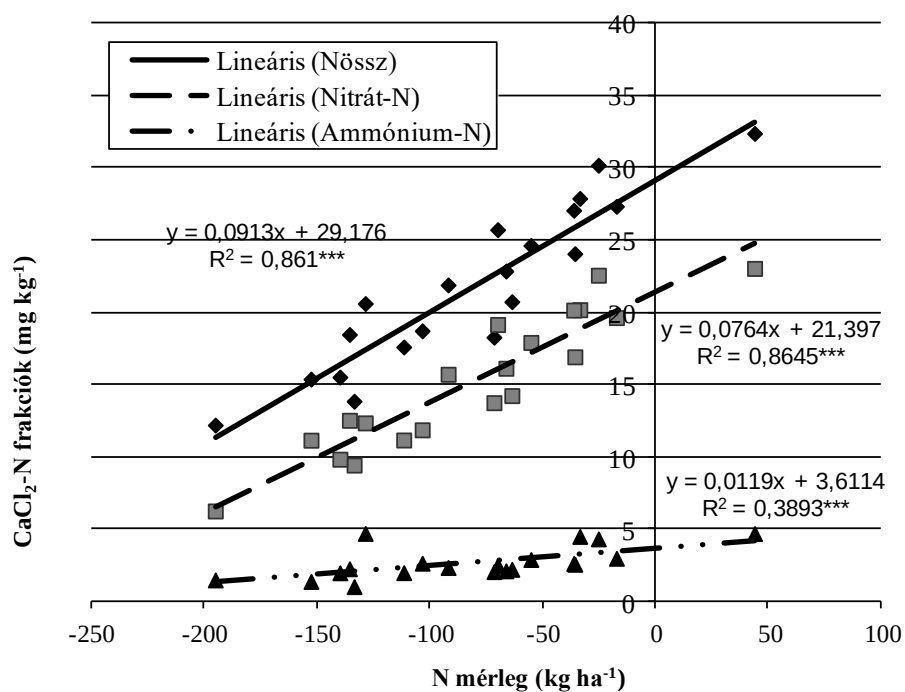


19. ábra: A CaCl_2 -N frakciók és az agronómiai N mérleg kapcsolata ($n=20$; 2007)

*** A korreláció $P=0,001$ valószínűségi szinten szignifikáns



20. ábra: A CaCl₂-N frakciók és az agronómiai N mérleg kapcsolata (n=20; 2008)
 *** A korreláció P=0,001 valószínűségi szinten szignifikáns



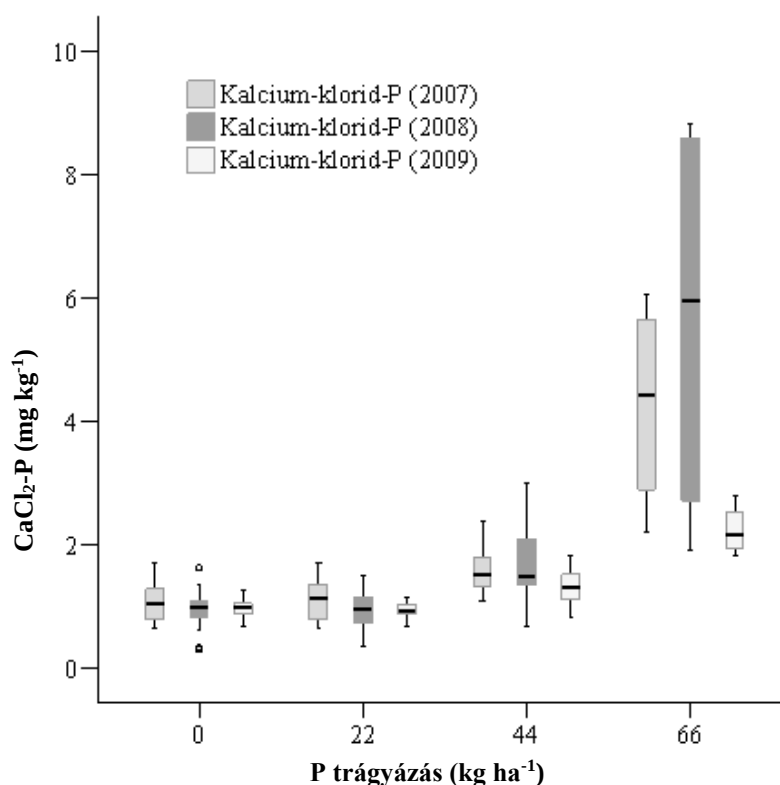
21. ábra: A CaCl₂-N frakciók és az agronómiai N mérleg kapcsolata (n=20; 2009)
 *** A korreláció P=0,001 valószínűségi szinten szignifikáns

Az ásványi N és a N mérleg közötti szoros összefüggés azt bizonyítja, hogy a talaj N-készletének növekedésével/csökkenésével nő/csökken az ásványi N mennyisége, azonban a regressziós egyenletek meredeksége mindhárom évben különbözik. Annak ellenére, hogy az ásványosodást befolyásoló talajtulajdonságok azonosak, az időjárási tényezők alakulása nagy eltérést okoz az évenként, azonos időpontban meghatározott könnyen mineralizálódó és felvehető N mennyiségében. Összefoglalva azt mondhatjuk, hogy a talaj ásványi N készletének évenkénti vizsgálata nélkül nem jellemezhetjük a talaj N-szolgáltatását.

4.2.2. Foszfor

4.2.2.1. A 0,01 M CaCl₂-al kivonható P frakció

Az alapadatok eloszlását jellemző box-plot grafikon, P-dózisok és évek szerint, a 22. ábrán látható. Az enyhén kiugró adatokat nem zártam ki az értékelésből. Az ábrán jól látható, hogy a műtrágyázás hatása mindhárom évben jelentkezett, de csak a legnagyobb P dózis okozott jelentős növekedést.



22. ábra: A 0,01 M CaCl₂-al kivonható P frakció alakulása a műtrágyázás függvényében

4.2.2.2. A CaCl₂-P és AL-P alakulása a P-trágyázás függvényében

A P-trágyázás és meszezés hatását a CaCl₂-P és AL-P értékre varianciaanalízissel vizsgáltam (Függelék, 11.-15. táblázat). A P kezelések hatása mindkét kivonószer esetében statisztikailag igazolható volt ($P=0,001$). A CaCl₂-P és AL-P átlagai évenként és kezelésként a 24. táblázatban szerepelnek. Jól látható, hogy

az AL-P értéke következetesen nő a növekvő adagok hatására, míg a $\text{CaCl}_2\text{-P}$ a kontrollhoz képest csak a 44 és 66 kg ha^{-1} -os P kezelésekben nő szignifikánsan.

Az AL-P már a kisebb műtrágya dózisok hatására is többszörösére nőtt. A kezeletlen talajokon az AL-P 10-szerese a $\text{CaCl}_2\text{-P}$ értékének, míg a trágyázott talajokon ez az arány 20-50 közötti.

A MÉM-NAK 1979-es határértékei (Buzás és Fekete, 1979) alapján a kezeletlen talajok átlagos AL-P értéke az igen gyenge, a 22 kg ha^{-1} -os P adaggal kezelt talajoké a gyenge, míg a 44 kg ha^{-1} -os a jó, a 66 kg ha^{-1} -os pedig az igen jó ellátottsági kategóriákba esnek. A $\text{CaCl}_2\text{-P}$ értéke csak a MÉM-NAK szerint jónak és igen jónak minősített talajokon nőtt a kontrollhoz képest.

24. táblázat: A tartam P-trágyázás hatása a 0,01 M CaCl_2 és AL kivonószerekkel meghatározott P frakciók és a termés alakulására; valamint az agronómiai P mérleg értéke a Karcagi B17. tartamkísérletben (2007-2009)

Kezelések (kg P ha^{-1})	Termés (t ha^{-1})	P mérleg** (kg ha^{-1})	$\text{CaCl}_2\text{-P}$ (mg kg^{-1})	SzD*	AL-P (mg kg^{-1})	SzD*	AL-P/ $\text{CaCl}_2\text{-P}$
2007 (búza)							
P ₀	3,8	-18,4	1,04	a	13,8	a	13
P ₂₂	6,1	-3,3	1,10	a	35,6	b	32
P ₄₄	6,0	23,6	1,57	b	76,0	c	48
P ₆₆	6,9	45,2	4,27	c	127,9	d	30
Átlag	5,3		1,38		44,7		32
2008 (búza)							
P ₀	5,9	-28,4	0,96	a	12,8	a	13
P ₂₂	6,8	-6,5	0,95	a	29,5	b	31
P ₄₄	6,8	19,9	1,67	b	71,2	c	43
P ₆₆	6,7	46,2	5,65	c	119,7	d	21
Átlag	6,5		1,40		40,7		29
2009 (kukorica)							
P ₀	9,0	-50,9	0,97	a			
P ₂₂	9,5	-27,6	0,93	a			
P ₄₄	9,2	0,4	1,31	b			
P ₆₆	8,2	31,8	2,23	c			
Átlag	9,1		1,12				
2007-2009							
P ₀		-97,7	1,04	a			
P ₂₂		-37,4	1,10	a			
P ₄₄		43,9	1,57	b			
P ₆₆		123,1	4,27	c			
Átlag			1,38				

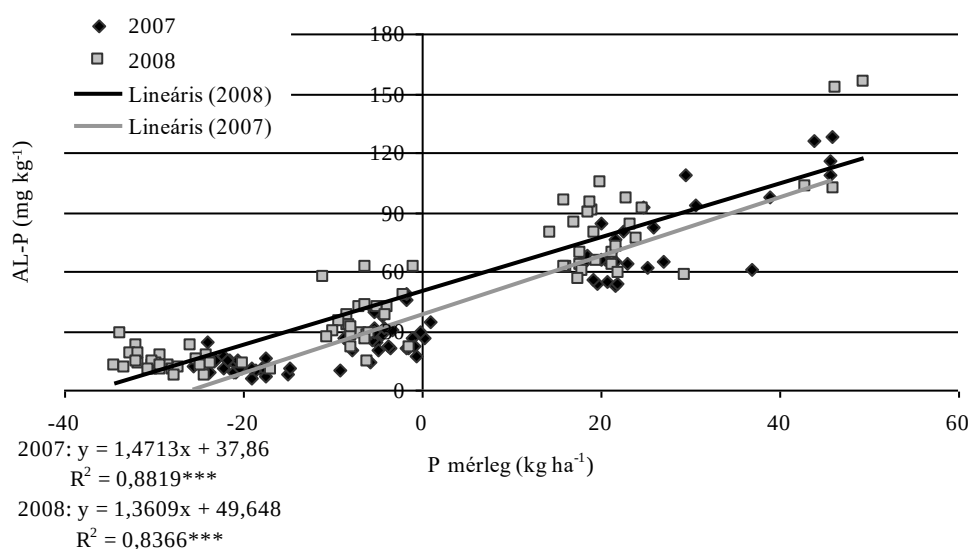
*Szignifikáns differencia: az azonos betűkkel jelölt átlagok nem különböznek egymástól $P=0,05$ valószínűségi szinten.

** Agronómiai P-mérleg: a P műtrágyaadagok és a termés által kivont P különbségéből számított érték

4.2.2.3. A $\text{CaCl}_2\text{-P}$ és AL-P valamint az agronómiai P-mérleg kapcsolata

Az agronómiai P-mérleg alapján a talaj P készletét fenntartó műtrágyakezelés 22 és 44 kg P ha^{-1} között van (24. táblázat). Bár a 22 kg ha^{-1} -os dózis mindhárom évben kevesebb volt, mint a növény számított P-igénye, az AL-P értéke ebben a kezelésben több mint kétszeres a kontrollhoz viszonyítva, amit az évtizedek óta trágyázatlan kontroll kezelés P-tartalékainak csökkenésével magyarázhatunk.

A $\text{CaCl}_2\text{-P}$, az AL-P valamint az agronómiai P mérleg közötti összefüggést regresszió analízis segítségével is vizsgáltam (23. ábra). Az AL-P és a P mérleg szoros, szignifikáns kapcsolatban van ($R^2_{2007}=0,88$; $R^2_{2008}=0,84$), és az összefüggés lineáris, ami alátámasztja, hogy az AL-P mennyisége szorosan összefügg a talaj foszforkészletének változásával.

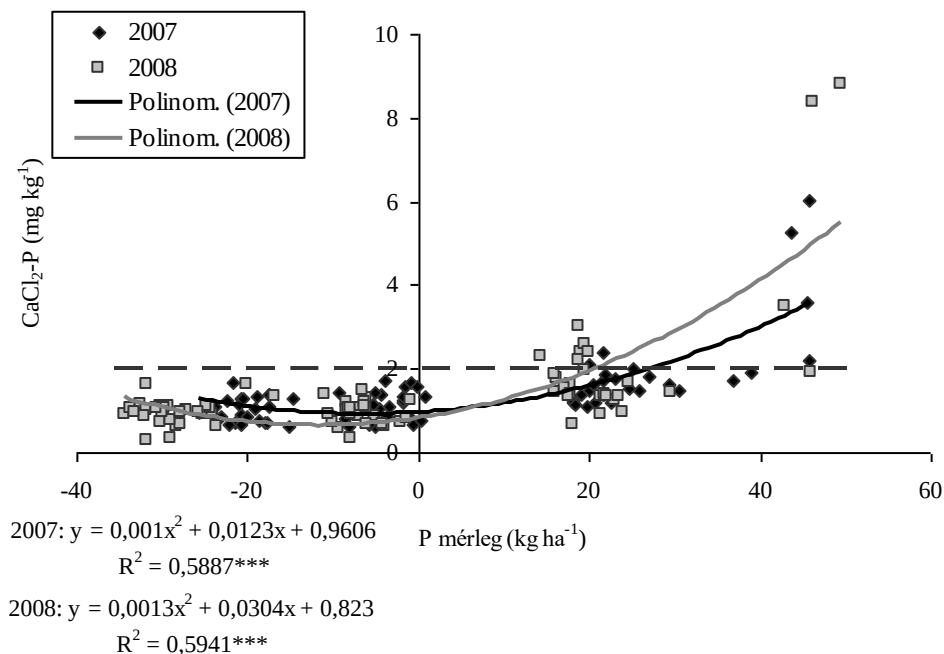


23. ábra: Az AL-P frakció és az agronómiai P mérleg kapcsolata (n=80; 2007-2009)

*** A korreláció $P=0,001$ valószínűségi szinten szignifikáns

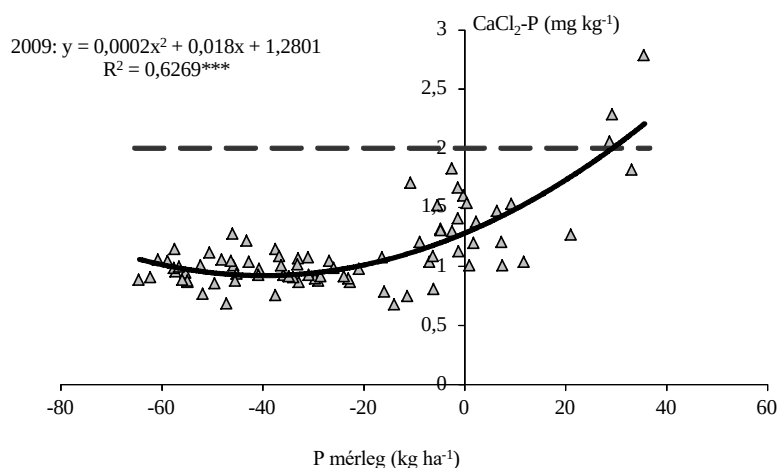
A P mérleg és a $\text{CaCl}_2\text{-P}$ összefüggése másodfokú polinom illesztésével szoros ($R^2_{2007}=0,59$; $R^2_{2008}=0,59$; $R^2_{2009}=0,63$), szignifikáns, de a P-mérleg alakulása kevésbé magyarázza a $\text{CaCl}_2\text{-P}$ változékonyságát, mint ahogy azt az AL-P esetében láthattuk. A 24. ábrán a Jászberényi és Loch (2001) által meghatározott, kritikus P-határérték (a vizsgált talaj esetében 2 mg kg^{-1}) is szerepel. Megállapítható, hogy a mérleg értékek növekedésével a $\text{CaCl}_2\text{-P}$ kezdetben nem változik, a negatív mérlegek esetében határérték alatti, és csak pozitív P-mérleg esetén haladja meg a 2 mg kg^{-1} -os értéket. A

CaCl₂-P értéke csak kevés kezelésben haladja meg a határértéket a betakarítást követően, ami a talaj gyenge P-szolgáltató képességével magyarázható.



24. ábra: A CaCl₂-P frakció és az agronómiai P mérleg kapcsolata (n=80; 2007, 2008), valamint a Jászberenyi és Loch (2001) által megállapított P-határérték (2 mg kg⁻¹)
 *** A korreláció P=0,001 valószínűségi szinten szignifikáns

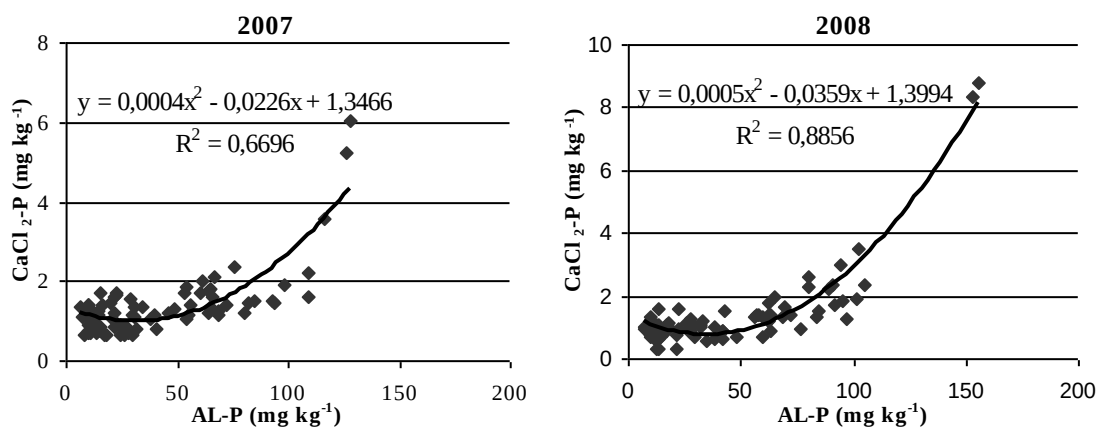
A 2009-es évben a kukorica nagy tápanyagigényének köszönhetően a P-mérleg csak a legnagyobb kezelésben pozitív. Ezzel összhangban a CaCl₂-P értékei is kisebbek (25. ábra).



25. ábra: A CaCl₂-P frakció és az agronómiai P mérleg kapcsolata (n=80; 2009), valamint a Jászberenyi és Loch (2001) által megállapított P-határérték (2 mg kg⁻¹)

4.2.2.4. A 0,01 M CaCl₂-P és AL-P értékei közötti összefüggés

A 0,01 M CaCl₂-P értékeit az AL-P függvényében ábrázoltam (26. ábra), és az összefüggést regresszió analízis segítségével vizsgáltam. A vizsgált karcagi talajokon a különböző kivonószerekben meghatározott P-tartalom összhangban van egymással, az összefüggés szignifikáns. A determinációs együttható másodfokú polinom illesztésével: $R^2_{2007}=0,67$, $R^2_{2008}=0,89$.



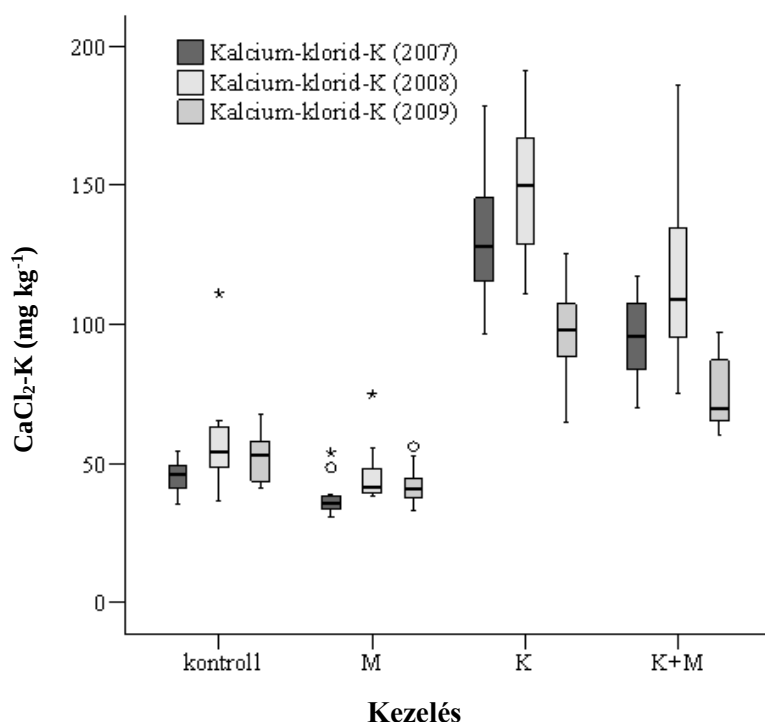
26. ábra: A CaCl₂-P és AL-P értékek közti regresszió analízis eredménye a Karcagi tartamkísérlet mintáin (2007-2008)

A szoros összefüggés azzal magyarázható, hogy adott termőhelyen a talajminták fizikai és kémiai talajtulajdonságai nem különböznek, a CaCl₂-P és AL-P értéke elsősorban a trágyázástól függ.

4.2.3. Kálium

4.2.3.1. A 0,01 M CaCl₂-al kivonható K frakció

A CaCl₂-K box-plot grafikonja az ábrán látható. A vizsgált évek közül a második évben nagyobb, míg az utolsó évben, a kukorica tenyészidejét követően, kisebb értékeket kaptunk.



27. ábra: A 0,01 M CaCl₂-al kivonható K frakció alakulása a műtrágyázás függvényében

M - meszezett; K - káliummal trágyázott; * extrém kiugró érték

4.2.3.2. A CaCl₂-K és AL-K alakulása a trágyázás és meszezés függvényében

A kísérlet két ismétlése meszezésben is részesült, így a meszezés, a K-trágyázás, valamint a kettő interakciójának hatását is értékeltem a kísérletben. Mindkét vizsgált tényező ($P \leq 0,001$) és a kettő interakciója ($P \leq 0,05$) is szignifikánsan módosítja a CaCl₂-K értékét, míg az AL-K csak a K-trágyázás hatására változott szignifikánsan ($P \leq 0,001$) (Függelék, táblázat 16.-20.). A CaCl₂-K és AL-K átlagos értékei és aránya kezelésenként és évenként a 25. táblázatban szerepelnek.

25. táblázat: A tartam K-trágyázás hatása a 0,01 M CaCl₂ és AL kivonószerekkel meghatározott K frakciók és a termés alakulására; valamint az agronómiai K mérleg értéke a Karcagi B17. tartamkísérletben (2007-2009)

Kezelések (kg K ha ⁻¹ ; meszezés)	Termés (t ha ⁻¹)	K mérleg** (kg ha ⁻¹)	CaCl ₂ -K (mg kg ⁻¹)	SzD*	AL-K (mg kg ⁻¹)	SzD*	AL-K/CaCl ₂ -K
2007 (búza)							
K ₀	5,2	-77,3	46	a	182	a	4,0
K ₀ + meszezés	5,3	-78,5	37	b	197	a	5,3
K ₈₃	5,7	-1,4	129	c	356	b	2,7
K ₈₃ + meszezés	5,2	4,7	95	d	339	b	3,6
Átlag	5,3		77		269		3,5
2008 (búza)							
K ₀	6,8	-101,5	57	a	198	a	3,5
K ₀ + meszezés	6,1	-91,2	45	a	199	a	4,4
K ₈₃	6,8	-19,0	150	b	357	b	2,4
K ₈₃ + meszezés	6,2	-9,6	117	c	333	b	2,8
Átlag	6,5		92		272		3,0
2009 (kukorica)							
K ₀	9,2	-167,0	52	a			
K ₀ + meszezés	9,8	-178,3	42	b			
K ₁₆₆	8,2	-66,5	98	c			
K ₁₆₆ + meszezés	9,5	-90,3	75	d			
Átlag	9,2		66				
2007-2009							
K ₀		-115,3	51	a			
K ₀ + meszezés		-116,0	41	b			
K _{83/166}		-29,0	126	c			
K _{83/166} + meszezés		-31,7	96	d			
Átlag			78				

*Szigifikáns differencia: az azonos betűkkel jelölt átlagok nem különböznek egymástól P=0,05 valószínűségi szinten.

** Agronómiai K-mérleg: a K műtrágyaadagok és a termés által kivont K különbségéből számított érték

Mindkét kivonószert mutatja az évtizedes K trágyázás hatását. A meszezett talajokon azonban eltérően alakult a két módszerrel mért K mennyisége. A meszezés hatására a CaCl₂-K értéke csökken, míg az AL-K nem változott. Ez a kolloidok felületén kicserélhető állapotban lévő kationok mennyiségének és arányának változásával függ össze. A kalcium-kloridos extrakció jelzi az ionatagonizmust.

4.2.3.3. A CaCl₂-K és AL-K valamint a kicserélhető K kapcsolata

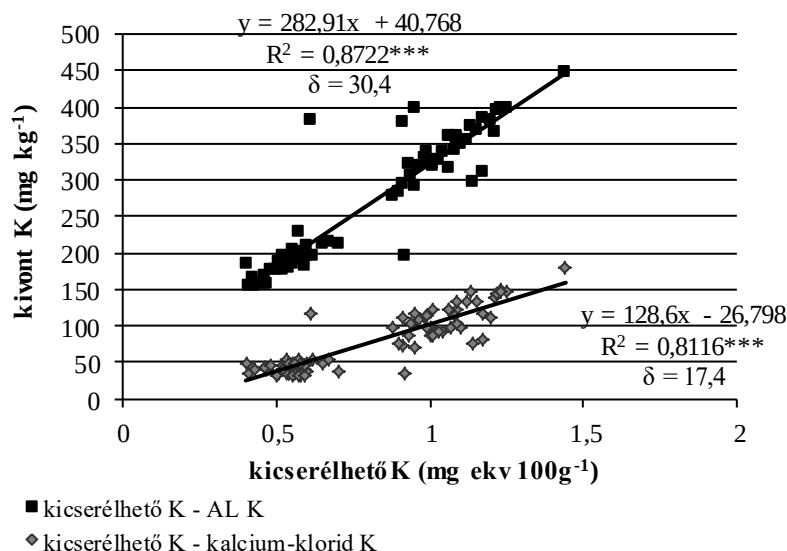
A 2007. évi talajminták kicserélhető K⁺ (mg ekv 100g⁻¹) tartalma és a K mennyisége az S-érték %-ában ($K_{S\%} = K^+ \cdot (Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+)^{-1} \cdot 100$) a 26. táblázatban szerepel. A K trágyázásban részesült talajokon nőtt a kicserélhető K tartalom és a K_S%. A meszezés hatására azonban csökkent a K_S%, a CaCl₂-K értékéhez hasonlóan, ami arra utal, hogy a CaCl₂-K nem csak a kicserélhető K tartalomtól, hanem annak relatív mennyiségétől (az S-érték %-ában) is függ, ellentétben az AL-K-al.

26. táblázat: A karcagi talajok kicserélhető K tartalma és a kicserélhető K aránya az S-értéken belül (2007)

Kezelések (kg K ha ⁻¹)	Kicserélhető K (mg ekv 100g ⁻¹)	K _S %*
K ₀	0,52	2,34
K ₀ + meszezés	0,59	2,00
K ₈₃	1,11	5,24
K ₈₃ + meszezés	1,01	3,60
Átlag	0,81	3,30

* $[K^+ (Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+)^{-1} \cdot 100]$

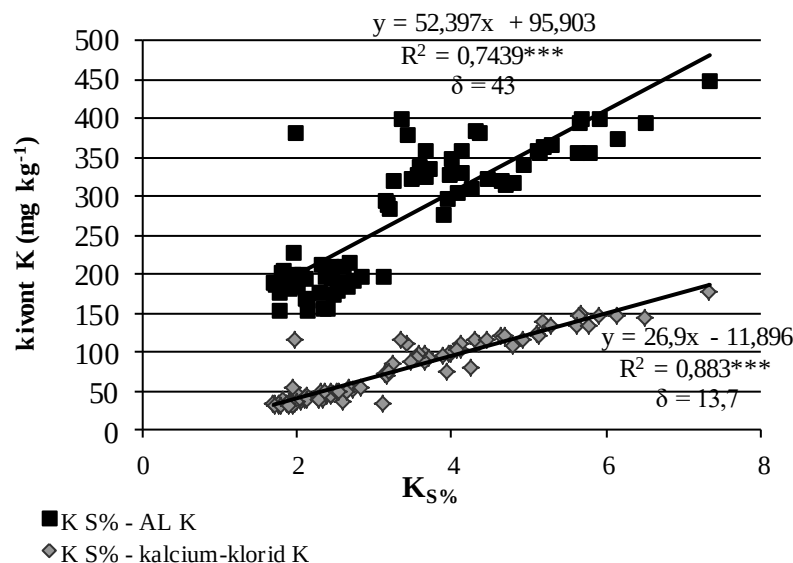
Megvizsgáltam a kivonószerekkel meghatározott K mennyisége, valamint a kicserélhető K és a K_S% kapcsolatát (28., 29. ábra).



28. ábra: A talaj kicserélhető K tartalma valamint a CaCl₂-K és AL-K közötti összefüggés a Karcagi tartamkísérlet talajain (2007)

*** A korreláció $P \leq 0,001$ valószínűségi szinten szignifikáns

δ – A becslés standard hibája



29. ábra: A $K_S\%$ ($K^+ * (Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+)^{-1} * 100$) valamint a $CaCl_2$ -K és AL-K közötti összefüggés a Karcagi tartamkísérlet talajain (2007)

*** A korreláció $P \leq 0,001$ valószínűségi szinten szignifikáns

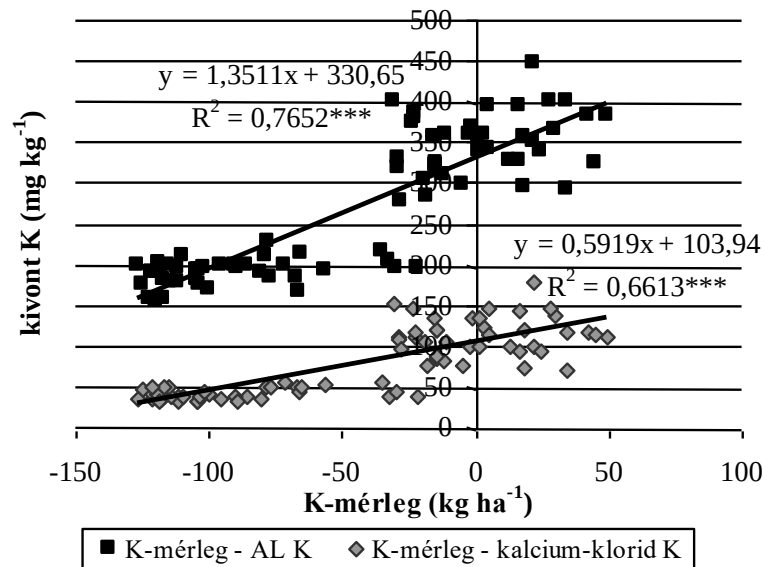
δ – A becslés standard hibája

A $CaCl_2$ -K és a kicserélhető K, valamint a $CaCl_2$ -K és $K_S\%$ értéke közötti összefüggés szignifikáns és szoros ($r=0,9-0,94$). Az AL-K és a kicserélhető K abszolút mennyisége ($r=0,94$) valamint az AL-K és $K_S\%$ ($r=0,86$) közötti összefüggés is szignifikáns, szoros.

4.2.3.4. A $CaCl_2$ -K és AL-K valamint az agronómiai K-mérleg kapcsolata

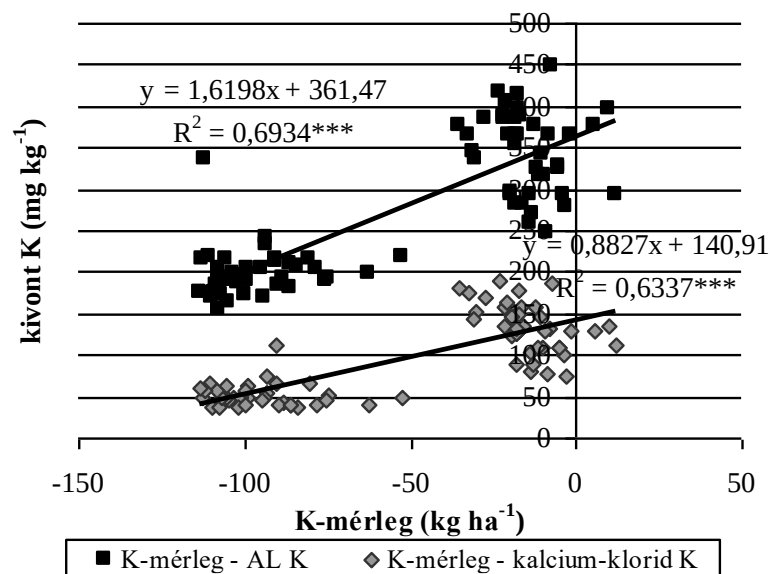
A kísérlet agronómiai K mérlege a K trágyázás ellenére is többnyire negatív volt mindhárom vizsgálati évben. A K trágyázás csak az alacsony búza termésátlagok (2007) esetében fedezte a növény számított K-igényét (26. táblázat). A K-trágyázás hatása a termésre ennek ellenére nem számottevő a kísérletben (Debreczeni és Debreczeni, 1994), ami a talaj jó K-szolgáltató képességével függ össze. Az évtizedek óta negatív K mérleg ellenére a K-trágyázásban nem részesült parcellák K-ellátottsága a MÉM-NAK 1979-es határértékei szerint közepes/jó (Buzás és Fekete, 1979).

A K mérleg és a talajvizsgálati eredmények közötti összefüggés az 30., 31. és 32. ábrákon szerepel. A $CaCl_2$ -K és AL-K mindhárom évben szoros, szignifikáns összefüggésben állt az agronómiai K mérleggel. Mindkét módszer jelzi a talaj K-készleteinek változását, a kontroll könnyen hozzáférhető K-tartalmának csökkenését.



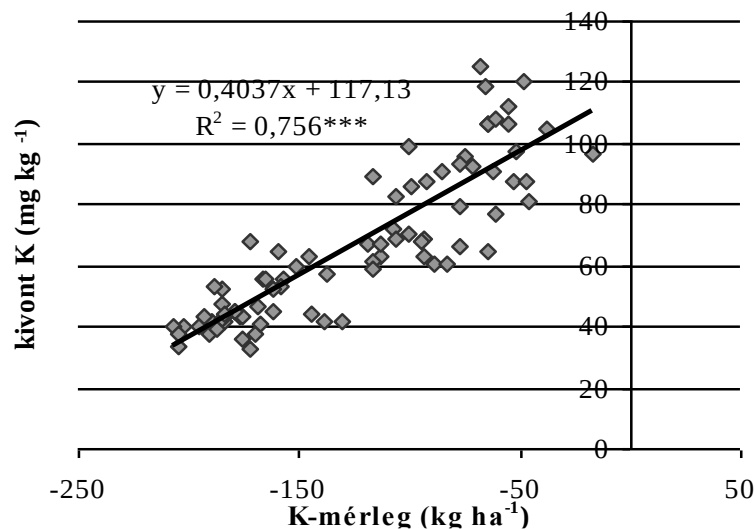
30. ábra: Az agronómiai K mérleg és a talajvizsgálati eredmények közötti összefüggés (2007)

*** A korreláció $P \leq 0,001$ valószínűségi szinten szignifikáns



31. ábra: Az agronómiai K mérleg és a talajvizsgálati eredmények közötti összefüggés (2008)

*** A korreláció $P \leq 0,001$ valószínűségi szinten szignifikáns

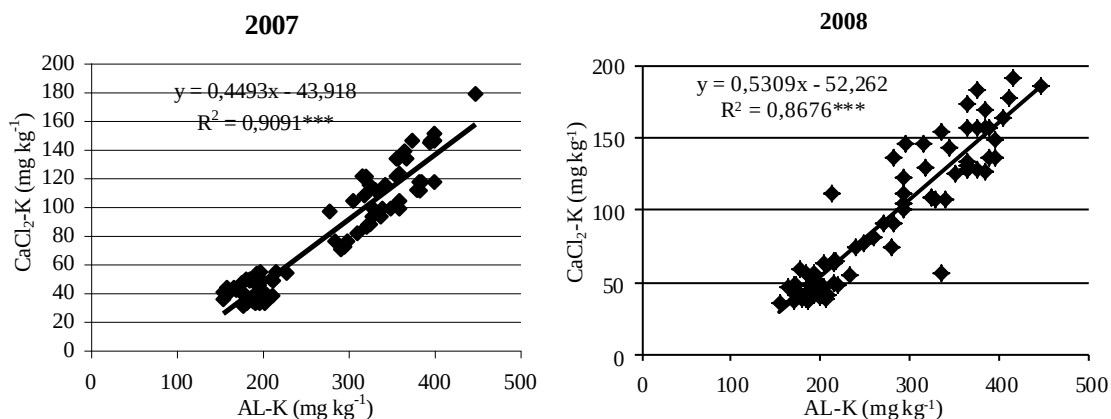


32. ábra: Az agronómiai K mérleg és a CaCl₂-K közötti összefüggés (2009)

*** A korreláció $P \leq 0,001$ valószínűségi szinten szignifikáns

4.2.3.5. Az AL-K és CaCl₂-K közötti kapcsolat

Az AL-K és CaCl₂-K közötti kapcsolat (33. ábra) a vizsgált talajokon szignifikáns ($P \leq 0,001$), a korrelációs együtthatók ($r=0,93-0,95$) alapján a vizsgált talaj esetében szorosabb az összefüggés a CaCl₂-K és AL-K között, mint a korábban vizsgált nagy mintaszámú, heterogén mintahalmazon ($r=0,75$) (TIM minták). A szoros összefüggés az azonos talajtípus mellett azzal is magyarázható, hogy a karcagi talajokon a K-szolgáltató agyagásványok dominálnak a K-kötőkkel szemben.



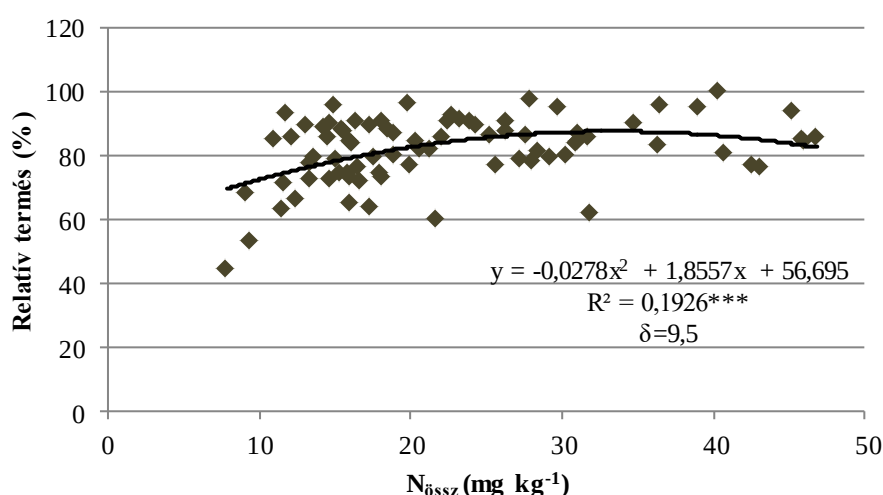
33. ábra: Az AL-K és CaCl₂-K közötti kapcsolat a Karcagi tartamkísérlet talajain (2007-2009) (n=80)

4.2.3.6. A termés és a 0,01 M CaCl₂-os frakciók közötti kapcsolat

A különböző növények és évek összehasonlíthatósága érdekében az összefüggés-vizsgálatok során a terméseredmények helyett a relatív terméseket használtam.

Mivel az előző évi talaj tápelem-ellátottság és a terméseredmények közötti kapcsolat nem lineáris, a relatív termés és a talajvizsgálati eredmények közötti összefüggést másodfokú polinom illesztésével vizsgáltam. Az $N_{\text{össz}}$ és a relatív termés közötti összefüggés 2008-ban gyenge ($r=0,44$; 34. ábra), 2009-ben gyenge ($r=0,27$; 35. ábra), 2010-ben közepes ($r=0,57$; 36. ábra) volt. A függvény maximuma a búza esetében $33,4 \text{ mg kg}^{-1}$, a kukorica esetében 2009-ben $22,9$, 2010-ben pedig $44,8 \text{ mg kg}^{-1}$ volt. A két kukorica év közötti különbséget az okozhatta, hogy 2009-ben a kukorica számára kritikus időszakban a sokévi átlagnál kevesebb csapadék hullott, így a termelést limitáló tényező nem a talaj tápanyagtartalma volt, hanem a csapadék. Ennek köszönhető a gyenge, a változók közötti kapcsolat leírására nem alkalmas ($R^2 < 0,1$) összefüggés. Ezzel szemben 2010 rendkívül csapadékos év volt, és a talaj őszi $N_{\text{össz}}$ tartalma, sőt a $\text{CaCl}_2\text{-P}$ ($r=0,27$) esetében is kimutatható volt szignifikáns, de rendkívül gyenge ($R^2 < 0,1$) összefüggés a terméseredményekkel.

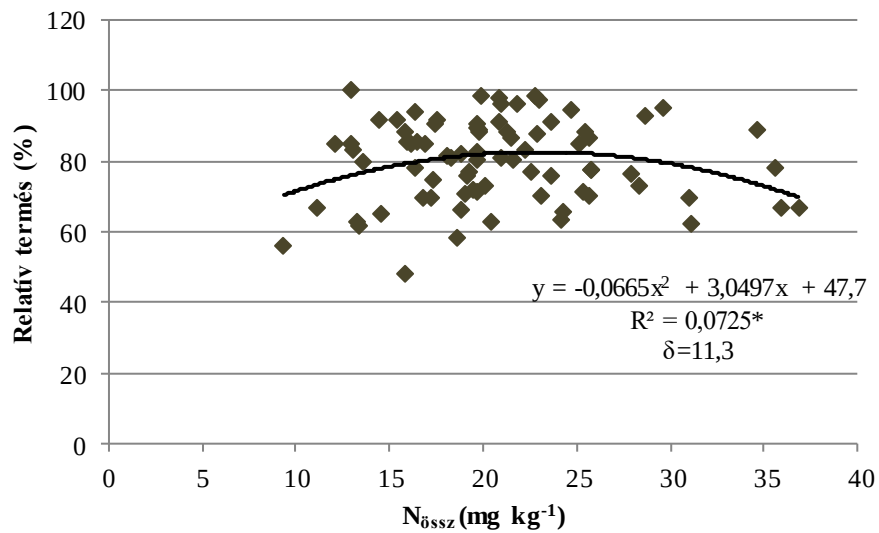
A $\text{CaCl}_2\text{-K}$ és a termés között egyik évben sem volt szignifikáns összefüggés, amit azzal magyarázhatunk, hogy a talaj K-tartalma nem limitáló tényező a kísérletben.



34. ábra: A búza relatív termése és a $\text{CaCl}_2\text{-}N_{\text{össz}}$ közötti összefüggés (2008)

δ - A becslés standard hibája

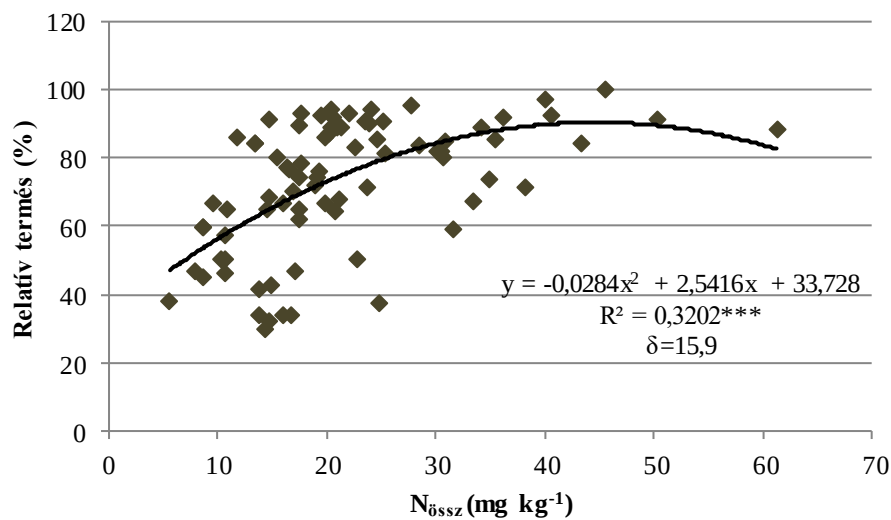
*** A korreláció $P=0,001$ valószínűségi szinten szignifikáns



35. ábra: A kukorica relatív termése és a $CaCl_2$ - $N_{össz}$ közötti összefüggés (2009)

δ - A becslés standard hibája

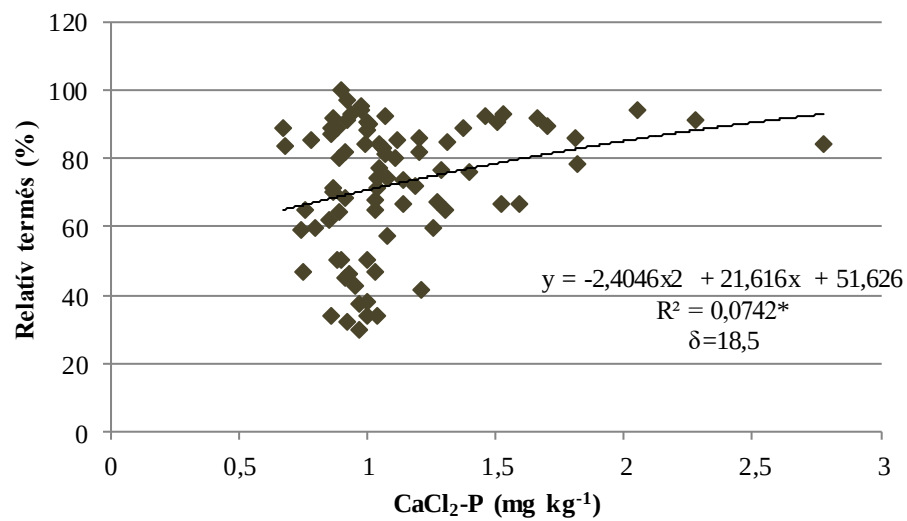
*A korreláció $P=0,05$ valószínűségi szinten szignifikáns



36. ábra: A kukorica relatív termése és a $CaCl_2$ - $N_{össz}$ közötti összefüggés (2010)

δ - A becslés standard hibája

*** A korreláció $P=0,001$ valószínűségi szinten szignifikáns



37. ábra: A kukorica relatív termése és a CaCl₂-P közötti összefüggés (2010)

δ - A becslés standard hibája

*A korreláció P=0,05 valószínűségi szinten szignifikáns

4.3. Hajdúböszörményi tartamkísérlet

4.3.1. A 0,01 M CaCl₂-al kivonható N frakciók

A 0,01 M CaCl₂-ban oldható nitrogénfrakciók átlagai a különböző NPK kezelésekben a 27. táblázatban láthatók. Az ásványi N mennyisége a karcagi kísérletben mérthez képest alacsony, a 2010. évi terméseredmények pedig, a kontroll kivételével magasabbak. A kezelések közül csak a legnagyobb N dózis (200 kg ha⁻¹) volt szignifikáns hatással az ásványi nitrogénformák és az N_{össz} mennyiségére.

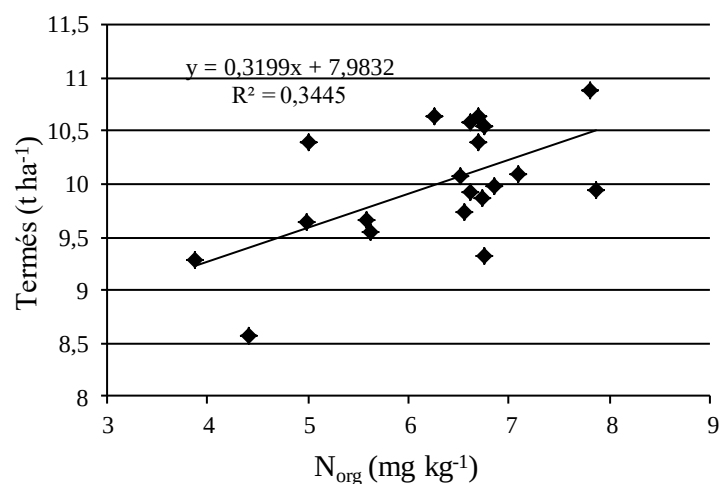
A táblázatban az egyszerűsített agronómiai mérleg is szerepel kezelésként. Jól látható, hogy minden kezelésben negatív a mérleg, ezért a nitrogéntrágyázás nem gazdagította a talaj ásványi N-készletét számottevően.

27. táblázat: A trágyázás hatása a CaCl₂-ban oldható nitrogénformák mennyiségére (n=24; 2010)

Kezelések	Termés (t ha ⁻¹)	N mérleg (kg ha ⁻¹)	NO ₃ ⁻ -N	SzD*	NH ₄ ⁺ -N	SzD*	N _{org}	SzD*	N _{össz}	SzD*
(mg kg ⁻¹)										
N ₀ P ₀ K ₀	5,1	-120	3,31	a	0,99	a	6,46	a	10,76	a
N ₄₀ P ₁₁ K ₂₅	9,4	-206	3,86	a	2,03	a	6,14	a	12,04	a
N ₈₀ P ₂₂ K ₅₀	9,9	-172	3,93	a	1,47	a	5,97	a	11,37	a
N ₁₂₀ P ₃₃ K ₇₅	10,1	-133	4,18	a	2,00	a	6,29	a	12,47	a
N ₁₆₀ P ₄₄ K ₁₀₀	9,9	-84	4,01	a	1,20	a	6,05	a	11,25	a
N ₂₀₀ P ₅₅ K ₁₂₅	10,1	-55	7,06	b	3,66	b	6,89	a	17,60	b
Átlag			4,39		1,89		6,30		12,58	

*Az azonos számmal jelzett kezelések átlagai P=5%-os valószínűségi szinten nem különböznek egymástól.

A N_{org} frakcióra nem volt hatással az ásványi nitrogéntrágyázás. A vizsgált tartamkísérlet talajain a 38. ábrán látható összefüggést kaptam a 2010. évi termés és az N_{org} mennyisége között, a műtrágyázott kezelésekben. A N_{org} mennyisége és a kukorica termése között közepesen szoros (r=0,59) a kapcsolat.



38. ábra: A termés (2009) és az N_{org} mennyisége közötti összefüggés a műtrágyakezelésekben (n=20)

4.3.2. A 0,01 M CaCl₂-al kivonható P frakció

A CaCl₂-P és AL-P értéke a trágyázás függvényében, valamint a kezelések egyszerűsített agronómiai mérlege a 28. táblázatban szerepel. A tartamtrágyázás nem volt szignifikáns hatással a kezelések átlagos CaCl₂-P értékeire; az AL-P értékek között is csak a legnagyobb kezelésben volt szignifikáns hatás kimutatható. A foszformérlegek minden kezelésben negatívak, aminek elsődleges oka a nagy termés és a talaj jó foszforszolgáltató képessége.

A vizsgált hajdúböszörményi tartamkísérlet talajmintáinak foszfortartalmát a Jászberényi és Loch (2001) által korábban meghatározott kritikus CaCl₂-P határértékekhez hasonlítottam. Eredményeik szerint az agyag fizikai talajféleségű, 6 és 7 közötti CaCl₂-os pH-jú talajokon a maximális termés 90%-ához tartozó kritikus foszfor határérték: 0,5-1 mg kg⁻¹. A CaCl₂-P értéke minden kezelésben elérte vagy meghaladta ezt a tartományt, ami jó foszforellátottságra utal, a talaj foszfortartalma nem volt limitáló tényező a termés szempontjából.

28. táblázat: A trágyázás hatása a CaCl₂- és AL-oldható foszforformák mennyiségére (n=24, 2010.)

Kezelések	P mérleg (kg ha ⁻¹)	CaCl ₂ -P	SzD*	AL-P	SzD*
		(mg kg ⁻¹)			
N ₀ P ₀ K ₀	-62	0,71	a	55,3	ab
N ₄₀ P ₁₁ K ₂₅	-118	1,68	a	31,5	a
N ₈₀ P ₂₂ K ₅₀	-111	0,95	a	35,8	a
N ₁₂₀ P ₃₃ K ₇₅	-101	1,14	a	53,1	ab
N ₁₆₀ P ₄₄ K ₁₀₀	-87	0,77	a	62,8	ab
N ₂₀₀ P ₅₅ K ₁₂₅	-82	1,37	a	84,4	b
Átlag	-94	1,10		53,8	

*Az azonos számmal jelzett kezelések értékei P=0,05 valószínűségi szinten nem különböznek egymástól.

A talaj AL és 0,01 M CaCl₂ kivonatban meghatározott foszfortartalma között nem volt szignifikáns összefüggés a vizsgált talajon (r=0,25). Az AL-P átlagosan 50-szerese a CaCl₂-P-nak a vizsgált réti talajon. Ez az arány megegyezik az általam korábban változatos mintaanyagon meghatározottal.

4.3.3. A 0,01 M CaCl₂-al kivonható K frakció

A CaCl₂-K és AL-K kezelésenkénti átlagai, valamint az agronómiai káliummérlegek a 29. táblázatban szerepelnek. A legnagyobb műtrágyadózis hatására mindkét kivonószerben mért káliumtartalom szignifikánsan megnőtt.

A CaCl₂-K értékeit a Jászberényi és munkatársai (1999) által tartamkísérletek adatai alapján meghatározott kritikus kálium határértékekhez viszonyítottam. Az agyag fizikai talajfőleségű talajokra az 50-60 mg kg⁻¹ határértéket javasolták, amelyet egyik kezelésben sem éri el a CaCl₂-K értéke. Az AL kivonószerben meghatározott K tartalom alapján a MÉM-NAK szerint minden kezelés talaja a „gyenge” tápanyag-ellátottsági kategóriába esik.

A talaj eredetileg is rossz K-szolgáltató képessége (szmektites talaj) és a negatív K-mérleg magyarázzák az alacsony AL-K és CaCl₂-K értékeket.

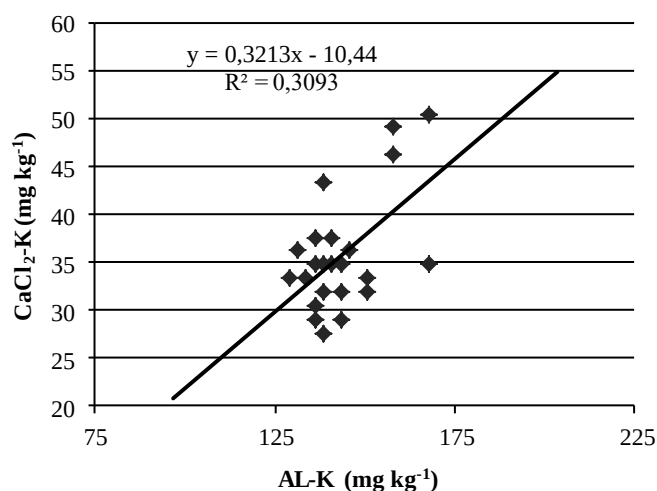
29. táblázat: A trágyázás hatása a CaCl_2 - és AL-oldható káliumformák mennyiségére (n=24; 2010.)

Kezelések (kg NPK ha ⁻¹)	K mérleg** (kg ha ⁻¹)	CaCl_2 -K (mg kg ⁻¹)	SzD*	AL-K (mg kg ⁻¹)	SzD*	AL-K/ CaCl_2 -K
$\text{N}_0\text{P}_0\text{K}_0$	-106	30,8	a	138,6	ab	4,5
$\text{N}_{40}\text{P}_{11}\text{K}_{25}$	-191	37,3	a	140,4	ab	3,8
$\text{N}_{80}\text{P}_{22}\text{K}_{50}$	-172	33,3	a	135,0	a	4,1
$\text{N}_{120}\text{P}_{33}\text{K}_{75}$	-148	35,1	a	142,2	ab	4,1
$\text{N}_{160}\text{P}_{44}\text{K}_{100}$	-115	32,6	a	149,5	bc	4,6
$\text{N}_{200}\text{P}_{55}\text{K}_{125}$	-99	45,2	b	156,2	c	3,5
Átlag	-139	35,7		143,7		4,0

*Szigignifikáns differencia: az azonos betűkkel jelölt átlagok nem különböznek egymástól P=0,05 valószínűségi szinten.

** Agronómiai K-mérleg: a K műtrágyaadagok és a termés által kivont K különbségéből számított érték

A hajdúböszörményi tartamkísérlet talajain az AL és a 0,01 M CaCl_2 K-tartalma közötti korrelációt a 39. ábra mutatja. A két kivonószerben mért K-tartalom közötti összefüggés közepesen szoros. A korrelációs koefficiens lineáris illesztéssel: $r=0,56$. Korábbi vizsgálataim során a karcagi tartamkísérletben, középötött, illites talajon ennél szorosabb összefüggést ($r=0,93-0,95$) találtam a kivonószerekben mért tápelem-tartalom között. A közepes összefüggés oka az lehet, hogy a kísérlet talaja kötött, és emellett az uralkodó agyagásványa a szmektit, így bár nagy káliumtartalékokkal rendelkezik, nagy mennyiségű káliumot is köt meg irreverzibilisen. A fixált kálium a növények számára nem hozzáférhető, és a 0,01 M CaCl_2 nem tudja jelentős mértékben mobilizálni. Az AL ezzel szemben a tartalékok egy részét is oldja. Az AL átlagosan négyszer annyi káliumot von ki a tartamkísérlet talajain, mint a 0,01 M CaCl_2 .



39. ábra: A CaCl_2 -K és AL-K értékek közti regressziós analízis eredménye (n=24; 2010.)

5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

5.1. Talajvédelmi Információs és Monitoring Rendszer

A hagyományos és a 0,01 M kalcium-kloridos módszerekkel meghatározott N, P, K-tartalom összehasonlítása során a számszerű értékek közötti legnagyobb eltérés a foszfor esetében (átlagosan 1:50), legkisebb a nitrát-nitrogén esetében tapasztalható.

A módszerek helyettesíthetősége leginkább a nitrát-nitrogén esetében áll fenn, mert a $\text{CaCl}_2\text{-NO}_3\text{-N}$ és $\text{KCl-NO}_3\text{-N}$ a módszertani különbségek ellenére azonos nagyságrendű. Az általam nagy mintaszám mellett meghatározott regressziós egyenes és a korreláció alapján ($r=0,79$) az összefüggés szignifikáns, szoros.

A kalcium-kloridban oldható nitrogénfrakciók meghatározásának előnye, hogy segítségével a növény táplálási és környezetvédelmi szempontból jelentős könnyen mobilizálható organikus frakció is meghatározható. A $\text{CaCl}_2\text{-N}_{\text{org}}$ frakció jelentőségét értékelve a vizsgált talajokon azt tapasztaltam, hogy nagyságrendileg a $\text{NO}_3\text{-N}$ és $\text{NH}_4\text{-N}$ között helyezkedik el, ami alapján a nitrogénellátás szempontjából nem elhanyagolható a mennyisége. Az eredményekből kitűnik, hogy a $\text{CaCl}_2\text{-N}_{\text{org}}$ mennyiségét leginkább a talaj textúrával és szerves anyag tartalommal összefüggő talajtulajdonságok befolyásolják. A talajtulajdonságok alakulása 47%-ban magyarázza az N_{org} változékonyságát, ami azt jelenti, hogy a mutató csak részben termőhely-specifikus, mellette egyéb, feltehetőleg időjárási és gazdálkodási tényezők befolyásolják.

A 0,01 M CaCl_2 és a hazánkban elterjedt AL módszerek összehasonlítását a K és P esetében is elvégeztem.

Az AL-K átlagosan háromszorosa a $\text{CaCl}_2\text{-K}$ értékének. Az arány a kötöttség függvényében változott, durva homoktalajokon 1,8, míg nehéz agyagokon 4,7. A káliumtartalom meghatározásában a 0,01 M CaCl_2 előnyös tulajdonsága az AL-el szemben, hogy a kötöttség nem befolyásolja szignifikánsan az alakulását, így a kötött, agyagkolloidokban gazdag talajokon nem becsüli túl a hozzáférhető K mennyiségét. Eredményeim alapján a 0,01 M CaCl_2 módszer kiegészítő módszerként javasolható a szabványos AL extrakció mellett.

A számszerű értékek leginkább a foszfor esetében tértek el egymástól. A 0,01 M CaCl_2 kivonószerezettel nagyon kis mennyiségű foszfort tudunk kivonni, ami a talajok közötti különbségek feltárásának szempontjából kedvezőtlen, szemben az AL

módszerrel, amely savas kémhatásának köszönhetően a könnyen mobilizálódó foszfortartalmak egy részét is oldja.

Megállapítottam, hogy a különböző módszerekkel meghatározott elemtartalom egytényezős regresszió-analízissel nem számítható át egymásba statisztikailag megbízhatóan. Az egyes elemeknél kimutatott módosító tényezők figyelembe vételével javítható a mért értékek közötti korreláció szorossága.

5.2. Karcagi tartamkísérlet

A tartamkísérletben, 2007-2009 közötti adatok alapján a 0,01 M CaCl_2 -os módszerrel meghatározott N frakciók, K és P, valamint a tartamtrágyázás és meszezés kapcsolatát vizsgáltam.

A 0,01 M CaCl_2 -os módszerrel meghatározott $N_{\text{össz}}$ frakció alakulását elsősorban a műtrágyázás befolyásolta. A tartamtrágyázás hatására szignifikánsan nőtt a mennyisége mindhárom évben. Az $N_{\text{össz}}$ és a mérleg közötti kapcsolat ezzel összhangban mindhárom évben szoros volt, de a regressziós egyenesek évenként eltérnek, azonos talajtípus, és N-mérleg érték esetén is különbözik az $N_{\text{össz}}$ mennyisége, ami bizonyítja az évenkénti ásványi-N vizsgálatok szükségességét a tápanyag-gazdálkodási gyakorlatban.

Az N_{org} mennyiségét a műtrágyázás, évjárat és a termesztett növény is befolyásolta. A legnagyobb jelentősége az évjáratnak volt, ami akár 70%-os különbséget is eredményezett. A műtrágyázás hatása közvetett, a nagyobb termés után ottmaradó több növényi biotomassza hatására megnő a talaj könnyen bontható szervesanyag készlete. A kísérletben a szármaradványok elkerülnek a tábláról, azonban az őszi búza esetében a termés mennyisége és az N_{org} frakció között szignifikáns kapcsolat volt, amit az őszi búza feltalajt sűrűn behálózó gyökérzetével magyarázhatunk, mely jelentős szervesanyag mennyiséget eredményez a talaj felső 20 cm-ét tekintve, szemben a kukorica mélyre hatoló másodlagos koronagyökérzetével. Az N_{org} frakció a műtrágyázatlan talajokon az $N_{\text{össz}}$ egyharmadát adta. Bár a műtrágyázás hatására nőtt az abszolút mennyisége, a $\text{NO}_3\text{-N}$ -hez viszonyítva csökkent a jelentősége.

A tartamkísérletben az AL-P értéke érzékenyebben jelezte a tartam-trágyázás hatását, a P készlet halmozódását, vagy csökkenését, míg a $\text{CaCl}_2\text{-P}$ csak a növény P-igényét meghaladó, túlzott P-adag hatására nőtt jelentősen. Adott termőhelyen szoros, másodfokú összefüggés tapasztalható a két paraméter között. A kapott másodfokú

egyenletek paraméterei azonban évenként is változnak, így a $\text{CaCl}_2\text{-P}$ és AL-P átszámítására adott termőhelyen sem megbízható.

Bár az eredményeim alapján a P műtrágyaadagok meghatározásához szükséges talajvizsgálati módszerként a 0,01 M CaCl_2 nem javasolható, a környezetvédelmi szempontból káros, közvetlenül hozzáférhető állapotban lévő foszfor-tartalom meghatározására, a környezetileg érzékeny területeken szükséges lenne a 0,01 M CaCl_2 -os vagy más enyhe kivonószerrel végzett eljárás bevezetése.

Az AL-K és $\text{CaCl}_2\text{-K}$ összefüggése a vizsgált talajon szoros, szignifikáns. Az AL-K átlagosan 3-3,5-szöröse a 0,01 M CaCl_2 mennyiségének. A tartamtrágyázás hatását mindkét módszer jól jelzi. A $\text{CaCl}_2\text{-K}$ emellett a meszezésről is függ, meszezett talajokon, hasonlóan a kicserélhető K tartalom relatív mennyiségéhez ($K_s\%$), csökkent az értéke.

A termés és a talajvizsgálati eredmények közötti összefüggést vizsgálva megállapítottam, hogy az őszi, könnyen hozzáférhető formában lévő N optimális értéke évjáráttól függ. A vizsgált középkötött talajon 22,9 és 44,8 mg kg^{-1} között változott a terméseredmények és az $N_{\text{össz}}$ kapcsolatát leíró függvény maximuma. A kevés adat, és a gyenge-közepes összefüggés miatt a határérték további pontosítása szükséges. A $\text{CaCl}_2\text{-}N_{\text{össz}}$ tenyésztési során tapasztalható változékonysága (Bertáné et al., 2009) miatt a vizsgálatoknak a fejtrágyázás időpontjához közel, búzában lehetőleg kora tavasszal, a bokrosodás kezdete előtt, kukoricában pedig vetés előtt kellene történnie, ami lehetővé tenné, hogy a talajvizsgálatokkal pontosítsuk a fejtrágya dózist.

5.3. Hajdúböszörményi tartamkísérlet

A tartamkísérlet talajainak 0,01 M CaCl_2 -dal oldható nitrogénfrakciói, és a trágyázás összefüggései alapján megállapítható, hogy az ásványi nitrogénformák mennyisége csak a legnagyobb, 200 kg ha^{-1} -os, kezelésben nőtt szignifikánsan, amit a tenyésztidőszakra számított negatív agronómiai nitrogénmérlegekkel magyarázhatunk.

A kísérletben szignifikáns összefüggést találtam a kukorica termése és a könnyen oldható és oxidálható szerves nitrogén (N_{org}) mennyisége között, ami a karcagi tartamkísérletben, kukorica betakarítást követően nem volt igazolható. Ennek az az oka, hogy a hajdúböszörményi kísérletben a szármaradványok nem kerültek le a tábláról.

A foszfortrágyázás nem volt szignifikáns hatással a $\text{CaCl}_2\text{-P}$ mennyiségére. A műtrágyázástól függetlenül az összes kezelésben magasabb volt a $\text{CaCl}_2\text{-P}$ értéke, mint

az előzetes foszforhatárértékek, ami azt mutatja, hogy a talaj foszforszolgáltatása jó. Az AL-P a mérleggel arányosan alakult. A vizsgált kísérletben az AL-P érzékenyebben jelzi a foszfortartalékokban, a többéves trágyázás hatására kialakuló változásokat.

A talaj káliumtartalmát, mindkét módszer szerint, csak a legnagyobb műtrágyaadag növelte szignifikánsan. A CaCl_2 -oldható és kicserélhető káliumtartalom minden kezelésben alacsonyabb volt az előzetes kálium határértékeknél. Az AL-K tartalom alapján a talajok a gyenge tápanyag-ellátottsági kategóriába estek. A két kivonószer által kivont káliumtartalom között közepesen szoros, szignifikáns összefüggést ($r=0,56$) találtam, ami gyengébb, mint a korábban, a karcagi tartamkísérlet talajain kapott korreláció. Ezt a különbséget az eltérő agyagásvány-összetétellel magyarázom, mert a vizsgált talajban a szmektités agyagásványtársulások dominálnak, ami erős K-kötést eredményez. A két kivonószer eltérő erélye ezért ebben a kísérletben jobban megmutatkozott, az AL-K átlagosan 4-szerese a CaCl_2 -K-nak.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A hazai tápanyag-gazdálkodási szaktanácsadásban használt talajvizsgálati módszerek hiányosságai új kivonószerek kifejlesztését, tesztelését eredményezték. Az újabb talajvizsgálati módszerek között a 0,01 M CaCl_2 -os kivonószert előnye, hogy a talajoldathoz hasonló híg sóoldat, ezért az oldódási viszonyok közel állnak a természetes körülményekhez, multieleemes, tehát az összes makroelem, sőt a könnyen oxidálható szerves N frakció (N_{org}) is vizsgálható benne, és emellett a szuszpenzió könnyen szűrhető.

Dolgozatomban megvizsgáltam a hagyományos és a 0,01 M CaCl_2 -os módszerekkel meghatározott N, P- és K frakciók közötti összefüggést, hogy megállapítsam, átszámíthatóak-e a különböző módszerek eredményei. Vizsgáltam továbbá a talaj fizikai-, kémiai paraméterei, az évjárat, az elővetemény, valamint az agrotechnikai beavatkozások, mint a trágyázás és meszezés hatását a 0,01 M CaCl_2 -os $\text{N}_{\text{össz}}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, N_{org} , P és K frakciókra.

Munkám során a Talajvédelmi Információs és Monitoring Rendszerből származó 633 mintát, valamint a karcagi OMTK és a hajdúböszörményi tartamkísérletek talajmintáit vizsgáltam meg a 0,01 M CaCl_2 -os módszerrel.

Eredményeim alapján megállapítható, hogy a CaCl_2 -os és KCl -os $\text{NO}_3\text{-N}$ frakciók azonos nagyságrendűek, a két paraméter között szignifikáns ($p \leq 0,001$) és szoros ($r=0,79$) korreláció igazolható. Ez alapján a környezetvédelmi célú talajvizsgálatok esetében a $\text{KCl-NO}_3\text{-N}$ helyettesíthető a 0,01 M CaCl_2 -os $\text{NO}_3\text{-N}$ frakcióval.

A tartamkísérleteket vizsgálva azt tapasztaltam, hogy az $\text{N}_{\text{össz}}$ frakció szignifikánsan összefügg mind a N-trágyázással, mind az egyszerűsített agronómiai mérleggel, ami lehetőséget ad arra, hogy az évenkénti talajvizsgálatokkal pontosítsuk a fejtrágya dózisokat a túltrágyázás és a lemosódás elkerülése érdekében.

A könnyen oxidálható szerves N-frakció alakulását vizsgálva megállapítottam, hogy a talajok N_{org} tartalma közötti különbségek elsősorban a talaj textúra és a szerves anyag tartalmából adódnak. A talajtulajdonságokkal az N_{org} varianciájának 47%-a magyarázható a TIM minták talajainak esetében. Adott termőhelyen az évjárat hatására változott leginkább az N_{org} értéke. Összefüggést találtam a műtrágyázás és az N_{org} mennyisége között is, ami a vizsgálataim alapján a

nagyobb biomassza produkción keresztül fejt ki hatását. Megállapítható, hogy az N_{org} frakció a mineralizációs viszonyokat jellemző paraméter.

A $CaCl_2$ -P a 633 TIM minta alapján átlagosan 2%-a az AL-P mennyiségének. A nagy eltérés ellenére az összefüggésük a heterogén mintahalmazon közepes, szignifikáns ($r=0,55$). A kapott regressziós egyenes alapján az AL-P és $CaCl_2$ -P értékek megbízhatóan nem számíthatóak át. Az összefüggést elsősorban a karbonát tartalom, kémhatás és kötöttség befolyásolta. A karcagi termőhelyen mindkét évben szoros ($r=0,82-0,94$), de nem lineáris összefüggés volt a két paraméter között. Míg az AL-P a trágyázásnak és az egyszerűsített agronómiai P mérlegnek megfelelően alakult, addig a $CaCl_2$ -P csak a növény igényét meghaladó, túlzott P-dózis hatására nőtt meg, ami azt mutatja, hogy a $CaCl_2$ -P segítségével könnyen kimutatható lenne a környezetvédelmi szempontból érzékeny területek túltrágyázása.

A $CaCl_2$ -K és AL-K egymással szoros ($r=0,76$), szignifikáns összefüggésben volt az általam vizsgált heterogén mintahalmazon. Az AL-K átlagosan 3-szorosa a $CaCl_2$ -K mennyiségének. Az AL-K szignifikánsan függ a talaj kötöttségétől és a kémhatástól is, míg az $CaCl_2$ -K értéke független mindkét paramétertől. A műtrágyázás hatására – az egyszerűsített agronómiai K-mérleggel összhangban – mind az AL-K mind a $CaCl_2$ -K mennyisége nőtt a tartamkísérletek talajain. Kijelenthetjük, hogy a $CaCl_2$ -K alkalmas lehet kiegészítő módszerként, mert kiküszöböli az AL-K kötöttségtől való függését.

7. SUMMARY

The insufficiency of the traditional soil measurements of the Hungarian nutrient management advisory system caused the development and testing of new extraction methods. Regarding the new extraction methods, the 0.01 molar CaCl_2 has the following advantages: the concentration of the salt solution is similar like the soil solution, so the solubility is also similar; multielement extraction method, in which the macronutrients, including the easily oxidizable organic nitrogen (N_{org}) could be measure; the soil:extractant suspension could be easily filtered.

In this study I measured the relationship between the traditional (ammonium-lactate acetic acid – AL and 0.1 molar KCl) and the 0.01 molar CaCl_2 methods regarding the NPK fractions to determine the applicability of traditional methods, for the calibration of the 0.01 molar CaCl_2 . I also studied the effects of the physical- and chemical soil characteristics, the growing season, the previous crop, and agrotechnical practices including fertilization and liming on the amounts of 0.01 molar CaCl_2 extractable N_{total} , $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, N_{org} , P and K fractions.

I studied 633 soil samples originated from the Hungarian Soil Information and Monitoring System (SIMS) and the soils of two Hungarian long-term fertilization experiments (Karcag and Hajdúböszörmény) by the 0.01 molar CaCl_2 soil extractant.

It could be stated that the 0.01 molar CaCl_2 and 0.1 molar KCl extractable $\text{NO}_3\text{-N}$ fractions are in the same order of magnitude and there is a significant ($p \leq 0.001$) close ($r=0.79$) correlation between them. According to the results the 0.1 molar KCl- $\text{NO}_3\text{-N}$ could be replaced by 0.01 molar $\text{CaCl}_2\text{-NO}_3\text{-N}$ regarding the environmental measurements.

The N_{total} fraction was significantly related with the N fertilization and the agronomical N balance that allows us to apply this fraction for the correction of top dressing and side dressing to avoid over application of N and nitrate leaching.

According to the results, the differences between soils regarding the easily oxidizable organic N fraction, came from the soil texture and organic matter content. In the SIMS soils, I could explain 47% of the variance of N_{org} by soil properties. In a given soil the growing season was the most important factor. I found relationship between fertilization and N_{org} , which could be explained by the higher biomass production as an effect of fertilization. It could be stated that we could describe mineralization circumstances by N_{org} .

The amount of $\text{CaCl}_2\text{-P}$ was 2% of AL-P in the 633 SIMS soils. In contrast of the huge differences in the amounts of the two fraction, the correlation between the two parameters was medium and significant ($r=0.55$). $\text{CaCl}_2\text{-P}$ could not be reliably converted into AL-P values by the regression equation. The relationship between the parameters is influenced by the carbonate content, soil pH and soil texture. In the growing site of Karcag there was a non-linear, close correlation ($r=0.82\text{-}0.94$) between $\text{CaCl}_2\text{-P}$ and AL-P . While AL-P changed according to the fertilization and agronomical P balance, the $\text{CaCl}_2\text{-P}$ only increased as an effect of over P fertilization that exceeds the plant needs, which means that $\text{CaCl}_2\text{-P}$ is able to detect excess P application in environmentally vulnerable sites.

$\text{CaCl}_2\text{-K}$ and AL-K was in significant close ($r=0.76$) correlation in the studied heterogenic soil database. The amount of AL-K was 3 times higher than that of $\text{CaCl}_2\text{-K}$. AL-K was related to soil texture and soil pH as well, while $\text{CaCl}_2\text{-K}$ was not related to these parameters. As an effect of long-term fertilization – in accordance with the agronomic potassium balance – AL-K and $\text{CaCl}_2\text{-K}$ increased. It can be stated that $\text{CaCl}_2\text{-K}$ is able to comply the traditional AL method, which is influenced by soil texture.

8. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Vizsgálati eredményeim igazolták, hogy a 0,01 M CaCl_2 és AL módszerekkel meghatározott P- és K-tartalom egytényezős regresszióanalízis segítségével nem számítható át egymásba statisztikailag megbízhatóan.
2. Eredményeim alapján a 0,01 M CaCl_2 - $\text{N}_{\text{össz}}$ frakció alakulását elsősorban a műtrágyázás befolyásolja.
3. Megállapítottam, hogy a CaCl_2 - N_{org} frakció nagyságrendileg a $\text{NO}_3\text{-N}$ és $\text{NH}_4\text{-N}$ frakciók között helyezkedik el, műtrágyázatlan talajokon az $\text{N}_{\text{össz}}$ egyharmadát adja, így mennyisége nem elhanyagolható a nitrogénellátás szempontjából.
4. A CaCl_2 - N_{org} frakció a nagy mintahalmazon és tartamkísérletekben végzett vizsgálataim alapján a talajtextúrától és a szervesanyag tartalomtól függő paraméter, melynek értékét adott termőhelyen elsősorban az évjárat, valamint a műtrágyázás és elővetemény befolyásolja.

9. A GYAKORLATBAN HASZNOSÍTHATÓ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Megállapítottam, hogy a $\text{CaCl}_2\text{-N}_{\text{össz}}$ frakció alakulása szorosan összefügg a műtrágyázással és az egyszerűsített agronómiai N mérleggel, ezért segítségével pontosítható a fejtárgya dózis az intenzív szántóföldi kultúrákban.
2. Eredményeim alapján a 0,01 M CaCl_2 módszer alkalmas a környezetvédelmi szempontból káros, közvetlenül hozzáférhető állapotban lévő P-tartalom meghatározására.
3. Az összehasonlító vizsgálatok alapján az AL-K-al szemben a $\text{CaCl}_2\text{-K}$ értéke nem függ a kötöttségtől és kémhatástól, így a 0,01 M CaCl_2 alkalmas lehet kiegészítő módszerként, a hagyományosan elterjedt AL módszer mellett, a K-ellátottság vizsgálatára.

10. IRODALOMJEGYZÉK

1. Appel, T. – Mengel, K.: 1990. Importance of organic nitrogen fractions in sandy soils, obtained by eletro-ultrafiltration or CaCl_2 extraction, for nitrogen mineralization and nitrogen uptake of rape. *Biology and Fertility of Soils*. 10.: 97-101.
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. – Mengel, K.: 1993. Nitrogen fractions in sandy soils in relation to plant nitrogen uptake and organic matter incorporation. *Soil Biology & Biochemistry*. 25.: 685-691.
4. Appel, T. – Mengel, K.: 1998. Prediction of mineralizable nitrogen in soils on the basis of an analysis of extractable organic N. *Zeitschrift fuer Pflanzenernaehrung und Bodenkunde*. 161.: 433-452.
5. Baier, J. – Baierova, V.: 1997. Einfluss der Stickstoffdüngung auf den Kali-Entzug. *VDLUFA-Schriftenreihe*. 46.: 723-726.
6. Baker, D. E. – Amacher, M. C.: 1981. The development and interpretation of a diagnostic soil-testing program. *Pennsylvania State University Agricultural Experiment Station. State College, PA. Bulletin*. 826.
7. Ballenegger R. – di Gléria, J.: 1962. Talaj- és trágyavizsgáló módszerek. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
8. Ballenegger R.: 1953. Talajvizsgáló módszerkönyv. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
9. Beck, T.: 1983. Die N-mineralisierung von Böden im Laborbrutver-such. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*. 146.: 243-252.
10. Blakemore, M.: 1966. Seasonal changes in the amounts of phosphorus and potassium dissolved from soils by dilute calcium chloride solutions. *The Journal of Agricultural Science*. 66.: 139-146.
11. Bocz E.: 1962. Előtanulmány a 20 éves növénytermesztési célkitűzések elérésének általános feltételeiről. Debreceni Agrártudományi Főiskola Növénytermesztéstani Tanszék. (Országos Távlati Tudományos Tervkészítő Bizottság keretében)
12. Bocz E.: 1976. Trágyázási útmutató. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
13. Bocz E.: 2002. Hazánk növénytermesztésének korszakváltása. *Acta Agraria*. 9.: 1-14.

14. Brady, N. C. – Weil, R. R.: 2004. Elements of the Nature and Properties of Soils. Pearson Prentice Hall, New Jersey.
15. Bregliani, M. M. – Temminghoff, E. J. M. – Van Riemsdijk, W. H. – Haggi, E. S.: 2006. Nitrogen fractions in arable soils in relation to nitrogen mineralisation and plant uptake. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 37.: 1571-1586.
16. Bremner, J. M.: 1965. Organic forms of nitrogen. [In: Blacket al, C. A. (szerk.) *Methods of Soil Analysis*]. American Society of Agronomy, Madison. 1148-1178.
17. Buzás I. – Fekete A. – Buzás I.-né – Csengeri P.-né – Kovács Á.-né.: 1979. Műtrágyázási irányelvek és üzemi számítási módszer. MÉM Növényvédelmi és Agrokémiai Központ, Budapest.
18. Buzás I.: 1987. Bevezetés a gyakorlati agrokémiába. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
19. Cabrera, M. L. – Kissel, D. E. – Vigil, M. F.: 2005. Nitrogen Mineralization from Organic Residues: Research Opportunities. *Journal of Environmental Quality*. 34: 75-79.
20. Černý, J. – Balík, J. – Pavlíková, D. – Zitková, M. – Sýkora, K.: 2003. The influence of organic and mineral nitrogen fertilizers on microbial biomass nitrogen and extractable organic nitrogen in long-term experiments with maize. *Plant Soil Environment*. 49.: 560-564.
21. Chantigny, M. H.: 2003. Dissolved and water-extractable organic matter in soils: a review on the influence of land use and management practices. *Geoderma*. 113.: 357-380.
22. Chen, C. R. – Xu, Z. H.: 2005. Soil carbon and nitrogen pools and microbial properties in a 6-year-old slash pine plantation of subtropical Australia: impacts of harvest residue management. *Forest Ecology and Management*. 206.: 237-247.
23. Curtin, D. – Campbell, C. A.: 2006. Mineralizable Nitrogen. [In: Carter, M. R., Gregorich, E. G. (szerk.) *Soil Sampling and Methods of Analysis*. 46.]. CRC Press, Boca Raton, Florida.
24. Csathó P. – Radimsky L.: 2005. A magyar mezőgazdaság környezetvédelmi és agronómiai megközelítésű NPK tápelemmérlege 1901 és 2000 között. *Agrokémia és Talajtan*. 54. 1–2: 217-234.
25. Cserhádi S. – Kosutány T.: 1887. A trágyázás alapelvei. Országos Gazdasági Egyesület Könyvkiadó, Budapest.
26. Cserhádi S.: 1900. Általános és különleges növénytermesztés. I. kötet: Általános növénytermelés. [In: Sárvári L. (szerk.) *Emlékkönyv Cserhádi Sándor születésének 150. évfordulójára*, Nagykanizsa, 2002.]. Czéh Sándor-féle könyvnyomda, Magyaróvár, 391. oldal
27. Debreczeni B.: 1979. Kis agrokémiai útmutató. Mezőgazdasági Kvk, Budapest.

28. *Debreczeni B. – Debreczeni B.-né*: 1994. Trágyázási kutatások 1960–1999. Akadémiai Kiadó, Budapest.
29. *Diest, A. – Horakowa, H – Houba, V.J.G.*: 1993. Towards unity and clarity in European soil testing. Potassium in Ecosystems - Biogeochemical Fluxes of Cations in Agro- and Forest- Systems. Proceedings of the 23th Colloquium of the International Potash Institute held at Prague. 433-435.
30. *Diez, J. A. – Vallejo, A.*: 2004. Comparison of two methods for N extraction of irrigated Spanish soils and related N balance calibrations. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 35.: 2227-2242.
31. *Ditz, H.*: 1867. Die ungarische Landwirtschaft. [In: Kádár I. (szerk.) A magyar mezőgazdaság - Népgazdasági tudósítás a kir. bajor Közmunka és Kereskedelmi Államminisztérium részére 1867., Magyar Tudományos Akadémia Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete Budapest, 1993.] Verlag von Otto Wigand, Leipzig.
32. *Egnér, H. – Köhler, G. – Nydahl, F.*: 1938. Die Laktatmethode zur Bestimmung leichtlöslicher Phosphorsäure in Ackerböden. *Annalen der landwirtschaftlichen Hochschule Schwedens*. 6.: 253-298.
33. *Egnér, H. – Riehm, H. – Domingo, W. R.*: 1960. Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. II. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor- und Kaliumbestimmung. *Kunliga Lantbrukshögskolans Annaler*. 26.: 199-215.
34. *Esposito Vinzi, V. – Chin, W.W. – Henseler, J. – Wang, H.*: 2010. Handbook of Partial Least Squares. Concepts, Methods and Applications. Springer Handbooks of Computational Statistics. 850.
35. *FAO*: 1981. Crop production levels and fertilizer use. FAO, Rome.
36. *Farmer, V. C. – Wilson, M. J.*: 1970. Experimental conversion of biotite to hydrobiotite. *Nature*. 226.: 841-842.
37. *Filep Gy. – Fülek Gy. – Stefanovits P.*: 1997. Talajtan. Mezőgazda Kiadó, Budapest
38. *Filep T. – Rékási M.*: 2011. Factors controlling dissolved organic carbon (DOC), dissolved organic nitrogen (DON) and DOC/DON ratio in arable soils based on a dataset from Hungary. *Geoderma*. 162.: 312-318.
39. *Fotyma, M. – Gosek, S. – Boreczek, B.*: 1999. Modification of 0,01 M CaCl₂ soil test in respect to phosphorus. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 30. 15-16: 2113-2122.
40. *Fotyma, M. – Gosek, S. – Szewczyk, M.*: 1996. Preliminary experience with calcium chloride method in Poland. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 27. 5-8: 1387-1401.
41. *Fotyma, M.*: 2010. Methods of soil testing for available potassium content in Central Eastern European countries. *Fertilizers and Fertilization*. 40.: 19-24.

42. Fox, R. L. – Kamprath, E. J.: 1970. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. *Soil Science Society of America Proceedings*. 34.: 902-907.
43. Fülek Gy. – Benedek Sz.: 2009. Talajok AL- és forróvíz-oldható (HWP) P- és K-tartalmának összehasonlítása. *Agrokémia és Talajtan*. 58. 2: 243-250.
44. Fülek Gy. – Czinkota I.: 1998. Hot water extraction of soil nutrient elements. *Agrokémia és Talajtan*. 47.: 115-120.
45. Fülek Gy.: 1995. Mezőgazdasági termelés és a talaj környezetvédelme. *Agrokémia és Talajtan*. 44. 3-4: 284-292.
46. Fülek Gy.: 1999. Talajtan és agrokémia. [In: Kolléga Tarsoly István (szerk.) Magyarország a XX. Században IV.] Babits, Szekszárd. 579-589.
47. Gerke, J. – Hermann, R.: 1992. Adsorption of ortophosphate to humic-Fe-complexes and to amorphous Fe-oxide. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*. 155.: 233-236.
48. Gerke, J.: 1993. Phosphate adsorption by humic/Fe-oxide mixtures aged at pH 4 and 7 and by poorly ordered Fe-oxide. *Geoderma*. 59. 1-4: 279-288.
49. Groot, J. J. R. – Houba, V. J. G.: 1995. A comparison of different indices for nitrogen mineralization. *Biology and Fertility of Soils*. 19. 1: 1-9.
50. Guggenberger, G. – Kaiser, K.: 2003. Dissolved organic matter in soil: challenging the paradigm of sorptive preservation. *Geoderma*. 113.: 293-310.
51. Guo, P.-C. – Bogring, J – Scherer, H. W.: 1983. Verhalten von Dünger-NH⁴⁺ in Böden unterschiedlicher tonmineralischer Zusammensetzung. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*. 146.: 752-757.
52. Haynes, R. J.: 2005. Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: an overview. *Advances in Agronomy*. 85.: 221-268.
53. Hosseinpour, A. R. – Samavati, M.: 2008. Evaluation of chemical extractants for the determination of available potassium. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 39.: 1559-1570.
54. Houba, V. J. G. – Jászberényi I. – Loch J.: 1991. Application of 0,01 M CaCl₂ as a single extraction solution for evaluation of the nutritional status of Hungarian soils. *Debreceni Agrártudományi Egyetem Tudományos Közleményei*. 30.: 85-89.
55. Houba, V. J. G. – Novozamsky, L. – Lexmond, T. M. – Van der Lee, J. J.: 1990. Applicability of 0,01 M CaCl₂ as a single extraction solution for the assessment of the nutrient status of soils and other diagnostic purposes. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 21.: 2281-2290.
56. Houba, V. J. G. – Temminghoff, E. J. M. – Gaikhorst, G. A. – Van Vark, W.: 2000. Soil analysis procedures using 0.01 M calcium chloride as extraction reagent. *Communications in Soil Science & Plant Analysis*. 31.: 1299-1396.

57. Houba, V.J.G. – Novozamsky, I. – Huijbregts, A. W. M. – van der Lee, J.J.: 1986. Comparison of soil extractions by 0,01 M CaCl₂, by EUF and by some conventional extraction procedures. *Plant and Soil*. 96.: 433-437.
58. Houba, V.J.G.: 1998. Final report, Project Cipact 94-021, Wageningen Agricultural University.
59. Indiati, R – Rossi, N.: 1999. Extractability of residual phosphorus from highly manured soils. *Italian Journal of Agronomy*. 3. 2: 63-73.
60. Izsáki Z. – Iványi I.: 2002. A N-műtrágyázás hatása a talaj nitrogénmérlegére és a NO₃-N kimosódására műtrágyázási tartamkísérletben. *Növénytermelés*. 51.: 115-124.
61. Jászberényi I. – Filep T. – Loch J.: 1999. One hundredth molar calcium-chloride soluble and exchangeable potassium and the boundary values for soil K-supply. DATE Tiszántúli Mezőgazdasági Tudományos Napok, Agrokémiai és Talajtani Szekció, Debrecen, 1999. október 28-29. 109-117.
62. Jászberényi I. – Kovács B. – Loch J.: 2000. Experiences with the modified Baker-Amacher soil extraction procedure in Hungary. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 31. 11-14: 2125-2134.
63. Jászberényi I. – Loch J. – Sarkadi J.: 1994. Experiences with 0,01 M calcium chloride as an extraction reagent for use as a soil testing procedure in Hungary. (International Symposium on Soil Testing and Plant Analysis, Olympia, USA.) *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 25. 9-10: 1771-1777.
64. Jászberényi I.: 2000. A 0,01 M CaCl₂ és a módosított Baker talajvizsgálatok eredményei tartamkísérletekben. [Nagy J., Pepó P. (Szerk.) Talaj növény és környezet kölcsönhatásai. IV. Nemzetközi Szeminárium]. Debrecen. 45-47.
65. Jenkinson, D. S. – Rayner, J. H.: 1977. The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments. *Soil Science*. 123.: 298-305.
66. Jones, D.L. – Shannon, D. – Murphy, D.V. – Farrar, J.: 2004. Role of dissolved organic nitrogen (DON) in soil N cycling in grassland soils. *Soil Biology & Biochemistry*. 36.: 749-756.
67. Kádár I. – Németh T.: 2004. A NO₃-N és a SO₄-S lemosódása egy 28 éves műtrágyázási kísérletben. *Növénytermelés*. 53.: 415-428.
68. Kádár I.: 1997. A növénytáplálás alapelvei és módszerei. Magyar Tudományos Akadémia Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest.
69. Kulcsár L. – Jászberényi I.: 1999. A cukorrépa tápanyagellátásának szaktanácsadási rendszere Magyarországon. [In: Buzas I., Johnston A. E. (Szerk.) Balanced plant nutrition in sugar beet cropping systems for high yield and quality]. International Potash Institute. 194-202.
70. Kulcsár, L. – Debreczeni, K. – Jászberényi, I. – Loch, J.: 1997. 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. [Van Cleemput, O. (Szerk.) Proceedings of the 11th Int. World Fertilizer Congress]. Gent, Belgium.

71. Kücke, M. – Jászberényi I. – Loch J. – Vágó I.: 1995. Beziehungen unterschiedlicher P-Extraktionsverfahren in Abhängigkeit von Standort, P-Düngung und Probenahmezeitpunkt. *VDLUFA-Schriftenreihe*. 40.: 205-208.
72. Lazányi J.: 2003. Sustainable phosphorus management in the Westsik's crop rotation experiment. [Schnug, E., Nagy J., Németh T., Kovács Z., Dövényi-Nagy T. (Szerk.) Fertilisers in context with resource management in agriculture. 14th International Symposium of Fertilisers]. Debrecen. 279-288.
73. Lazányi, J. – Loch, J. – Jászberényi, I.: 2002. Analysis of 0.01 M CaCl₂ Soluble Organic Nitrogen in the Treatments of Westsik's Crop Rotation Experiment. (Hungarian Contributions to the 17th International Congress of Soil Science.) *Agrokémia és Talajtan*. 51. 1-2: 79-88.
74. Loch J. – Jászberényi I.: 1995. Untersuchung der Phosphatadsorption und -Desorption in Dauerdüngungsversuchen. *Agrobiological Research*. 48. 1: 53-62.
75. Loch J. – Jászberényi I.: 1997. The 0.01 M CaCl₂ solution as a multielement soil extractant - application and experiences in Hungary. [In: Filep Gy. (Szerk.) Land use and Soil Management]. Rexpo Ltd, Debrecen. 175-184.
76. Loch J. – Nosticzius Á.: 2004. *Agrokémia és növényvédelmi kémia*. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
77. Loch J.: 2006. Tápanyagvizsgáló módszerek értékelése. [In: Loch J., Lazányi J. (szerk.) A tápanyag-gazdálkodást segítő talajvizsgáló módszerek alkalmazása a Nyírség homoktalajain.]. Westsik Vilmos Nyírségi Talajfejlesztési Alapítvány, Nyíregyháza. 51-77.
78. Madsen, C. – Werner, W. – Scherer, H.W. – Olf, H.W.: 1994. Studies on the relationship between microbial biomass and extractable organic N fractions (Norg). [In: Borin, M., Sattin, M., (Szerk.) Proc. 3rd Congress of the European Society of Agronomy]. ESA, Colmar, France. 498-499.
79. Marosi S. – Somogyi S. (szerk.): 1990. Magyarország kistájainak katasztere I-II. MTA Földrajztudományi Kutató Intézet, Budapest.
80. Matsumoto, S. – Ae, N.: 2004. Characteristics of extractable soil organic nitrogen determined by using various chemical solutions and its significance for nitrogen uptake by crops. *Soil Science and Plant Nutrition*. 50. 1: 1-9.
81. Mehlich, A.: 1978. New extractant for soil test evaluation of phosphorus, potassium, magnesium, calcium, sodium, manganese, and zinc. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 9. 6: 477-492.
82. Mengel, K. – Kirkby, E. A.: 2001. Principles of plant nutrition. 5th edition. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

83. Mengel, K. – Scheider, B. – Kosegarden, H.: 1999. Nitrogen compounds extracted by electro-ultrafiltration or CaCl_2 solution and their relationship to nitrogen mineralisation in soil. *Plant Nutrition & Soil Science*. 162.: 139-148.
84. Mengel, K.: 1996. Turnover of organic nitrogen in soils and its availability to crops. *Plant and Soil*. 181: 83-93.
85. Menon, R. G. – Chien, S. H. – Hammond, L. I.: 1990. Development and evaluation of the Pi soil test for plant available phosphorus. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 21. 13-16: 1131-1150.
86. Mulvaney, R.L. – Khan, S.A. – Hoefft, R.G. – Brown, H.M.: 2001. A soil organic nitrogen fraction that reduces the need for nitrogen fertilization. *Soil Science Society of America Journal*. 65.: 1164-1172.
87. 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 I., Lazányi J., Németh T. (Szerk.) Tartamkísérletek, tájtermesztés, vidékfejlesztés]. DE ATC, Debrecen. 143-148.
88. Németh T.: 1993. Effect of N fertilization on the nitrate-N content of soil profiles in long-term experiments. *Agrokémia és Talajtan*. 42. 1-2: 115-120.
89. Németh T.: 1994. Nitrate-N accumulation in the soil profiles of long-term fertilizer experiments. *Agrokémia és Talajtan*. 43. 1-2: 231-238.
90. Németh T.: 1995. Nitrogen in Hungarian soils - nitrogen management relation to groundwater protection. *Journal of Contaminant Hydrology*. 20. 3-4: 185-208.
91. Németh, K.: 1972. Bodenuntersuchung mittels Elektro-Ultrafiltration (EUF) mit mehrfach variiertter Spannung. *Landwirtschaftliche Forschung. Sonderhaft*. 27. 2: 184-196.
92. Novozamsky, I. - Houba, V. J. G.: 1987. Critical evaluation of soil testing methods for K. [In: Proceedings of the 20th Colloquium International Potash Institute]. Bern, Switzerland. 177-197.
93. Nunan, N. – Morgan, M. A. – Brennan, D. – Herlihy, M.: 2001. Organic matter extracted with 0.01 M CaCl_2 or with 0,01 M NaHCO_3 as indices of N mineralization and microbial biomass. *Biology and Fertility of Soils*. 34.: 433-440.
94. Olfs, H. W. - Werner, W.: 1989. Veränderungen extraktierbarer Norg-Mengen unter dem Einfluß variiertter C/N Verhältnisse und Biomasse. *VDLUFA-Schriftenreihe* 28. 2: 15-26.
95. Pálmai O. – Horváth J. – Németh T.: 1998. Őszi gabonák fejtrágyázása Nmin módszer alapján Fejér és Somogy megyékben. *Gyakorlati Agroforum*. 9. 4: 41-42.
96. Pálmai O., Horváth J.: 1998. Talajaink tápanyag-ellátottságának megítélése. *Gyakorlati Agroforum*. 9. 13: 47-49.

97. *Parfitt, R. L.*: 1979. Anion Adsorption by Soils and Soil Materials. *Advances in Agronomy*. 30.: 1-50.
98. *Parton, W. J. – Schimel, D. S. – Cole, C.V. – Ojima D.S.*: 1987. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands. *Soil Science Society of America Journal*. 51.: 1173-1179.
99. *Paul, J.-P. – Williams, B.L.*: 2005. Contribution of α -amino N to extractable organic nitrogen (DON) in three soil types from the Scottish uplands. *Soil Biology & Biochemistry*. 37.: 801-803.
100. *Prettenhoffer I. – Krámer M. – Debreceiné:* 1962. A talaj tápanyagállapotának vizsgálata [In: Ballenegger R., di Gléria J. Talaj- és trágyavizsgálati módszerek. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest].
101. *Prettenhoffer I.*: 1944. A talajok tápanyagállapotának vizsgálata. [In: Ballenegger R., Mados L. (szerk.) Talajvizsgálati módszerkönyv.] Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
102. *Riehm, H.*: 1943. Bestimmung der laktatlöslichen Phosphorsäure in karbonathaltigen Böden. *Phosphorsäure*. 1.: 167-178.
103. *Romsics I.*: 2005. Magyarország története a XX. században. Osiris Kiadó, Budapest. 25.-31. oldal
104. *Ros, G. H. – Hoffland E. – Van Kessel, C. – Temminghoff, E. J. M.*: 2009. Extractable and dissolved soil organic nitrogen – a quantitative assessment. *Soil Biology & Biochemistry*. 41.: 1029-1039.
105. *Ros, G. H. – Hanegraaf M. C. – Hoffland, E. – Van Riemsdijk, W.H.*: 2011b. Predicting soil N mineralization: relevance of organic matter fractions and soil properties. *Soil Biology & Biochemistry*. 43.: 1714-1722.
106. *Ros, G. H. – Temminghoff, E. J. M. – Hoffland, E.*: 2011a. Nitrogen mineralization: a review and meta-analysis of the predictive value of soil tests. *European Journal of Soil Science*. 62.: 162-173.
107. *Römheld, V. – Kirkby, E. A.*: 2010. Research on potassium in agriculture: Needs and prospects. *Plant and Soil*. 335.: 155-180.
108. *Ruzsányi L.*: 1992. Gondolatok, adatok a műtrágyaigény és a műtrágyahatás értékeléséhez. *Agrofórum*. 3. 1: 38-40.
109. *Sarkadi J.*: 1975. A műtrágyaigény becslésének módszerei. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
110. *Schachtschabel, P.*: 1954. Das pflanzenverfügbare Magnesium des Bodens und seine Betsimmung. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*. 67.: 9-23.
111. *Scheffer, F. – Schachtschabel, P.*: 2010. Lehrbuch der Bodenkunde. Springer Spektrum Verlag, Heidelberg.

112. Schindler, F. V. – Woodard, H. J. – Doolittle, J. J.: 2002. Plant available potassium assessment through chemical prediction methods. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 33.: 1473-1484.
113. Schofield, R. K.: 1955. Can a precise meaning be given to 'available' soil phosphorus? *Soils and Fertilizers*. 18.: 373-375.
114. Schulten, H. – Schnitzer, M.: 1998. The chemistry of soil organic nitrogen: a review. *Biology and Fertility of Soils*. 26.: 1-15.
115. Setatou, H. B. – Simonis, A. D.: 1996. Effect of time and rate of nitrogen application on cotton. *Fertilizer Research*. 43. 49-53.
116. Sharifi, M. – Zebarth, B. J. – Burton, D. L. – Grant, C. A. – Cooper, J. M.: 2007. Evaluation of some indices of potentially mineralizable nitrogen in soil. *Soil Science Society of America Journal*. 71.: 1233-1239.
117. Sigmond E.: 1901. Adatok a talaj asszimilálható foszforsavtartalmának meghatározásához. *Magyar Chemiai Folyóirat*. 7.: 4-7.
118. Sigmond E.: 1904. Mezőgazdasági kémia. Kir. Magy. Természettudományi Társulat, Budapest.
119. Sigmond E.: 1930. A mezőgazdasági növények termelési tényezői. Szent István Társulat, Budapest.
120. Sissingh, H. A.: 1971. Analytical technique of the Pw method, used for the assessment of the phosphate status of arable soils in the Netherlands. *Plant and Soil*. 34.: 483-486.
121. Stefanovits P. – Dombóvári L.-né.: 1985. A talajok agyagásvány-társulásainak térképe. *Agrokémia és Talajtan*. 34.: 314-330.
122. Stefanovits P.: 1993. A talajok ásványtani vizsgálati eredményeinek mezőgazdasági felhasználása, értelmezése, jelentősége. [In: Buzás I. (szerk.) Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv 1.]. INDA Kiadó, Budapest. 344–351.
123. Stevenson, F. J.: 1994. Humus Chemistry. Genesis, Composition, Reactions. John Wiley & Sons, Inc., New York.
124. Szász K.: 1997. Agrotechnika. [In: Kolléga Tarsoly István (szerk.) Magyarország a XX. Században II.] Babits, Szekszárd. 498-500.
125. Thamm F.-né – Krámer M. – Sarkadi J.: 1968. Növények és trágya-anyagok foszfortartalmának meghatározása ammonium-molibdovanadátos módszerrel. *Agrokémia és Talajtan*. 17.: 145-156.
126. Tisdale, S. L. – Nelson, W. L. – Beaton, J. D. – Havlin, J. L.: 1993. Soil Fertility and Fertilizers. MacMillan Publishing Co., New York.

127. Van der Zee, S. E. A. T. M. – Van Riemsdijk, W. H. – De Haan, F. A. M.: 1990. The protocol phosphate saturated soils. Agricultural University Wageningen. 69.
128. Van der Pauw, F. – Sissingh, H. A. – Ris, J.: 1971. Een verbeterde methode van fosfaat-extractie van grond met water: het PW-getal. *Verslagen van landbouwkundige onderzoeken*. 749.: 1-64.
129. Várallyay Gy.: 1940. A talaj táplálóanyagtartalmának változása és annak vizsgálata. *Mezőgazdasági Kutatások*. 13. 71-81.
130. Várallyay Gy.: 1950. A műtrágyázást irányító kísérletek és vizsgálatok. *Agrokémia*. 2.: 287-302.
131. Wander, M.: 2004. Soil Organic Matter Fractions and Their Relevance to Soil Function. [In: Magdoff, F., Weil, R. R. (szerk.) *Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture*. III.]. CRC Press, Boca Raton, Florida, 68-90.
132. Wehrmann, J. – Scharpf, H. C.: 1979. Der Mineralstickstoffgehalt des bodens als maßstab für den Stickstoffdünger (Nmin-Methode). *Plant and Soil*. 52.: 109-126.
133. Zsigrai Gy. – Szabó S.: 2008. Talajra gyakorolt műtrágyahatások vizsgálatának legújabb eredményei a karcagi OMTK kísérletekben. *Talajvédelem különszám 2008*. 561-566.
134. Zsolnay, A.: 1996. Dissolved humus in soil waters. [In: Piccolo, A. (szerk.) *Humic Substances in Terrestrial Ecosystems*.]. Elsevier, Amsterdam, 123-171.
135. Zsolnay, A.: 2003. Dissolved organic matter: artefacts, definitions and functions. *Geoderma*. 113.: 187-209.

11. PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN

Idegen nyelvű tudományos közlemény, hazai lektorált folyóiratban:

- Berta-Szabó, E., Zsigrai, Gy., Szabó, A., Loch, J. (2010): *Effects of long-term K fertilization and liming on the extractable and exchangeable K contents of a Haplic Phaeosem soil. Agrártudományi Közlemények/Acta Agraria Debreceniensis*. 141–145. Debrecen. ISSN: 1588–8363.
- Berényi, S., Bertáné Szabó, E., Pepó, P., Loch, J. (2011): *Effect of fertilization and irrigation on N fractions determined in 0.01 M calcium chloride on lowland pseudomycelial chernozem. Agrokémia és Talajtan, 60. Supplementum*, 191-202.
- Bertáné Szabó E., Sipos P., Kovács B., András D., Győri Z. (2012): *Recent Results to the Evaluation of the Long-Term Effects of Metal Pollution in Tisza River. Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*, 47./2. 355-362.

Tudományos közlemény magyar nyelvű lektorált folyóiratban

- Bertáné Szabó E., Berényi S., Loch J. (2009): *A 0,01 M kalcium-klorid és Baker–Amacher kivonószerek alkalmazásának lehetőségei a növények számára hasznosítható kálium meghatározásában. Agrártudományi Közlemények*, 36. 7-15.
- Bertáné Szabó E., Berényi S., Loch J. (2009): *A 0,01 M CaCl₂, a Baker–Amacher és az ammónium-laktát-ecetsav (AL) kivonószerekben oldható K-tartalom összehasonlítása. Agrokémia és Talajtan*, 58./1. 45-56.
- Berényi S., Bertáné Szabó E., Pepó P., Loch J. (2009): *A trágyázás és öntözés tartamhatása a 0,01 M kalcium-kloridban oldható N-frakciókra alföldi mészlepedékes csernozjom talajon. Agrokémia és Talajtan*, 58./2. 251-264.
- Bertáné Szabó, E., Loch, J., Zsigrai, Gy., Blaskó, L. (2010): *Effects of long-term fertilization on the yield of winter wheat and N forms on Luvic Phaeosem soil determined in 0.01 M CaCl₂. Agrokémia és Talajtan*, 59./1. 135-144.
- Bertáné Szabó E. (2010): *Tartam trágyázás hatása a különböző kivonószerekkel mérhető foszfor tartalom változására réti csernozjom talajon. Agrártudományi Közlemények*, 41. 7-11.

Tudományos közlemény idegen nyelvű lektorált folyóiratban:

- Loch, J., Bertáné Szabó, E., Pirkó, B. (2009): *Nitrogen advisory fertilizer system and monitoring in Hungary. Fertilizers and Fertilization*, 37. 59-72.
- Bertáné Szabó, E., Loch, J., Pirkó, B. (2009): *Experiences with the determination of nitrogen by 0,01 M CaCl₂ extractant in Hungarian soils and long-term experiments. Fertilizers and Fertilization*, 37. 182-194.
- Bertáné Szabó, E., Berényi, S., Erdeiné Kremper, R., Balláné Kovács, A., Loch J. (2009): *The effect of fertilization and irrigation on the change of NO₃-N determined in 0.01 M CaCl₂ of the soil profile. Analele Universităţii din Oradea, Fascicula: Protecţia Mediului*, 14. 25-31.
- Bertáné Szabó, E., Kremper, R., Loch, J. (2010): *Possibilities of the determination of plant available soil potassium content. Fertilizers and Fertilization*, 40. 34-44.

Bertáné Szabó, E., Győri, Z., Kremper, R., Zsigrai Gy., Loch, J. (2014.): *Assessment of Environmentally Harmful Nitrogen Surplus by 0.01 M Calcium Chloride Soil Extractant in Long-Term Experiments. Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 45. 1453-1463.

Idegen nyelvű lektorált konferencia kiadvány:

Bertáné Szabó, E., Berényi, S., Erdeiné Kremper, R., Balláné Kovács, A., Loch J. (2009): *The effect of fertilization and irrigation on the change of NO₃-N determined in 0.01 M CaCl₂ of the soil profile. Poster on the International Symposium „Risk factors for environment and food safety” & „natural resources and sustainable development”, Oradea, Romania. Abstract Book. 30-37.*

Bertáné Szabó E., Berényi S., Győri Z., Kremper R., Loch J. (2011): *Assessment of environmentally harmful N surplus by 0.01 M CaCl₂ soil extractant in long-term experiments. Poster on the 12th International Symposium on Soil and Plant Analysis. Abstract Book. 61.*

Bertáné Szabó E., Fekete I., Sipos P., Andrási D., Győri Z., Kovács B. (2012): *Long-term effects of contamination from mining accidents on the contents of Zn, Cu, Pb and Cd in a floodplain soil of the river Tisza (Hungary). Poster on the 9th International Symposium on Environmental Geochemistry. Abstract Book. 207-208. ISBN: 978-972-789-365-2.*

Győri Z., Boros N., Bertáné Szabó E., Sipos P. (2012): *Long term effect of metal pollution in the catchment area of Tisza River. 8th International Soil Science Congress on "Land Degradation and Challenges in Sustainable Soil Management" Proceedings Book. 228-232.*

Magyar nyelvű lektorált konferencia kiadvány

Berényi S., Szabó E., Kremper R., Loch J. (2008): *A talaj kálium ellátottságának vizsgálata módosított Baker-Amacher és 0,01 M CaCl₂ egyensúlyi kivonószerek alkalmazásával. Talajvédelem, Különszám. Talajtani Vándorgyűlés Nyíregyháza, Szerk.: Simon László, Talajvédelmi Alapítvány, Bessenyei György Könyvkiadó, Nyíregyháza. 369.-374.*

Bertáné Szabó E., Berényi S., Loch J. (2009): *A 0,01 M CaCl₂ és AL kivonószerekben mért foszfortartalom összehasonlítása változatos talajtulajdonságú mintabázison. Erdei Ferenc V. Tudományos Konferencia, Kecskemét. 870-875.*

Bertáné Szabó E., Berényi S., Loch J. (2010): *P, K trágyázás hatása az angolperje termésére és a talaj könnyen hozzáférhető P, K frakcióira. VI. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, Bessenyei György Könyvkiadó, Nyíregyháza. 163-167.*

Bertáné Szabó E., Zsigrai Gy., Loch J. (2012): *P-trágyázás hatása a 0,01 M CaCl₂-P és AL-P frakciók alakulására réti csernozjom talajon. In: Alap és alkalmazott kutatások eredményei a növénytudományokban. Szerk.: Szabó András. DE AGTC MÉK Hankóczy Jenő Növénytermesztési, Kertészeti és Élelmiszertudományok Doktori Iskola, Debrecen. 79-85.*

12. FÜGGELÉK

1. táblázat: A TIM talajokat jellemző talajtulajdonságok közötti korreláció

	humusz%	KA	agyag%	iszap%	homok%	pH _{H2O}	Karbonát%	NH ₄ -N	NO ₃ -N
humusz%	1	0,64**	0,46**	0,45**	-0,53**	0,14**	0,21**	0,17**	0,26**
KA	0,64**	1	0,82**	0,54**	-0,78**	0,15**	0,08	0,11**	0,06
agyag%	0,46**	0,82**	1	0,43**	-0,81**	0,04	-0,12**	0,06	-0,13**
iszap%	0,45**	0,54**	0,43**	1	-0,88**	0,08	0,09*	0,03	0,11**
homok%	-0,53**	-0,78**	-0,81**	-0,88**	1	-0,07	0	-0,05	-0,01
pH _{H2O}	0,14**	0,15**	0,04	0,08	-0,07	1	0,48**	-0,14**	0,18**
Karbonát%	0,21**	0,08	-0,12**	0,09*	0,00	0,48**	1	-0,04	0,37**
NH ₄ -N	0,17**	0,11**	0,06	0,03	-0,05	-0,14**	-0,04	1	0,21**
NO ₃ -N	0,26**	0,06	-0,13**	0,11**	-0,01	0,18**	0,37**	0,21**	1

*Szignifikancia szint: P < 0,05

**Szignifikancia szint: P < 0,01

2. táblázat: Kötöttség hatása az AL-K és CaCl₂-K mennyiségére (a variancia táblázatok kivonata)

Függő változó	Faktor	SQ	DF	MQ	F	Szignifikancia szint
AL-K	Kötöttségi kategória	2538570	6	423094	10,7	0,001
CaCl ₂ -K	Kötöttségi kategória	41126	6	6854	0,96	0,455

3. táblázat: A kémhatás hatása az AL-K és CaCl₂-K mennyiségére (a variancia táblázatok kivonata)

Függő változó	Faktor	SQ	DF	MQ	F	Szignifikancia szint
AL-K	pH	1299756	4	324938	9,7	0,001
CaCl ₂ -K	pH	8421	4	2105	0,43	0,786

4. táblázat: A karbonát tartalom hatása az AL-P és CaCl₂-P mennyiségére (a variancia táblázatok kivonata)

Függő változó	Faktor	SQ	DF	MQ	F	Szignifikancia szint
AL-P	karbonát tartalom	420727	3	140242	22,77	0,000
CaCl ₂ -P	karbonát tartalom	58	3	19,3	4,53	0,004

5. táblázat: A pH hatása az AL-P és CaCl₂-P mennyiségére karbonátmentes talajokon (a variancia táblázatok kivonata)

Függő változó	Faktor	SQ	DF	MQ	F	Szignifikancia szint
AL-P	kémhatás	52524	2	26262	5,88	0,003
CaCl ₂ -P	kémhatás	11	2	5,8	1,04	0,355

6. táblázat: A kötöttség hatása az AL-P és CaCl₂-P mennyiségére (a variancia táblázatok kivonata)

Függő változó	Faktor	SQ	DF	MQ	F	Szignifikancia szint
AL-P	kötöttség	135958	6	22660	3,41	0,003
CaCl ₂ -P	kötöttség	258	6	42,9	10,85	0,000

7. táblázat: Az N_{org} frakció mennyiségét befolyásoló agronómiai tényezők (2007)

Tényező	SS*	Df**	MS***	F	Szignifikancia szint
Modell****	14,8	37	0,40	2,43	0,004
Korrekción tényező	648	1	649	3944	0,000
N	1,60	3	0,53	3,24	0,032
P	3,38	2	1,69	10,27	0,000
K	1,02	1	1,02	6,19	0,017
M	0,61	1	0,61	3,71	0,062
N * P	1,46	4	0,37	2,23	0,084
N * K	0,51	2	0,25	1,54	0,227
P * K	1,05	2	0,52	3,18	0,053
N * P * K	0,66	4	0,17	1,00	0,418
N * M	1,18	3	0,39	2,40	0,083
P * M	0,21	2	0,10	0,62	0,542
N * P * M	0,79	4	0,20	1,20	0,326
K * M	0,10	1	0,10	0,59	0,448
N * K * M	1,19	2	0,60	3,62	0,036
P * K * M	0,17	2	0,08	0,51	0,604
N * P * K * M	0,60	4	0,15	0,91	0,467
Hiba	6,25	38	0,16		
Alapadatok	778	76			
Összesen	21	75			

R²= 0,703

*Eltérés négyzetösszeg

**Szabadságfok

*** Szórásnégyzet

****A modell által magyarázott variancia

8. táblázat: Az N_{org} frakció mennyiségét befolyásoló agronómiai tényezők (2008)

Tényező	SS*	Df**	MS***	F	Szignifikancia szint
Modell****	48,97	37	1,32	3	0,001
Korrekciós tényező	1885	1	1884	4280	0,000
N	4,8	3	1,6	3,64	0,021
P	10	2	5	11,4	0,000
K	1,14	1	1,14	2,58	0,116
M	11,2	1	11,2	25,5	0,000
N * P	2,36	4	0,59	1,34	0,274
N * K	0,36	2	0,18	0,41	0,666
P * K	0,67	2	0,33	0,76	0,476
N * P * K	1,42	4	0,36	0,81	0,529
N * M	1,12	3	0,37	0,85	0,477
P * M	1,59	2	0,8	1,81	0,177
N * P * M	1,92	4	0,48	1,09	0,374
K * M	0,2	1	0,2	0,45	0,507
N * K * M	2,79	2	1,39	3,17	0,053
P * K * M	2,93	2	1,47	3,34	0,046
N * P * K * M	3,42	4	0,85	1,94	0,124
Hiba	16,7	38	0,44		
Alapadatok	2263	76			
Összesen	65,7	75			

R² = 0,745

9. táblázat: Az N_{org} frakció mennyiségét befolyásoló agronómiai tényezők (2009)

Tényező	SS*	Df**	MS***	F	Szignifikancia szint
Modell****	88,8	37	2,4	1,21	0,281
Korrekciós tényező	1028	1	1028	518	0,000
N	5,68	3	1,89	0,95	0,425
P	13,5	2	6,77	3,41	0,043
K	0,41	1	0,41	0,21	0,651
M	1,99	1	1,99	1	0,323
N * P	0,98	4	0,25	0,12	0,973
N * K	3,47	2	1,73	0,87	0,426
P * K	2,18	2	1,09	0,55	0,582
N * P * K	3,81	4	0,95	0,48	0,750
N * M	19,4	3	6,45	3,25	0,032
P * M	5,20	2	2,60	1,31	0,281
N * P * M	2,1	4	0,52	0,26	0,899
K * M	0,15	1	0,15	0,07	0,788
N * K * M	14,7	2	7,33	3,69	0,034
P * K * M	1,06	2	0,53	0,27	0,767
N * P * K * M	3,21	4	0,80	0,41	0,804
Hiba	75,4	38	1,98		
Alapadatok	1313	76			
Összesen	164	75			

10. táblázat: Évjárat hatása a $\text{CaCl}_2\text{-N}_{\text{org}}$ mennyiségére
(a variancia táblázat kivonata)

Tényező	SS*	Df**	MS***	F	Szignifikancia szint
Modell****	212	2	106	87	0,000
Korrektációs tényező	4246	1	4246	3504	0,000
Évjárat	212	2	106	87	0,000
Hiba	287	237	1,21		
Alapadatok	4745	240			
Összesen	499	239			

11. táblázat: Az AL-P értékét befolyásoló agronómiai tényezők (2007)

Tényező	SS*	Df**	MS***	F	Szignifikancia szint
Modell****	74630	7	10661	148	0,000
Korrektációs tényező	132280	1	132280	1836	0,000
P	72056	3	24018	333	0,000
M	1499	1	1499	20	0,000
P * M	1075	3	358	4,9	0,003
Hiba	5186	72	72		
Alapadatok	212097	80			
Összesen	79817	79			

12. táblázat: Az AL-P értékét befolyásoló agronómiai tényezők (2008)

Tényező	SS*	Df*	MS***	F	Szignifikancia szint
Modell****	80787	7	11541	75	0,000
Korrektációs tényező	160040	1	160040	1045	0,000
P	79905	3	26635	174	0,000
M	428	1	428	2	0,099
P * M	454	3	151	0,99	0,403
Hiba	11016	72	153		
Alapadatok	251844	80			
Összesen	91803	79			

13. táblázat: A $\text{CaCl}_2\text{-P}$ értékét befolyásoló agronómiai tényezők (2007)

Tényező	SS*	Df*	MS***	F	Szignifikancia szint
Modell****	39	3	13	60	0,000
Korrektációs tényező	152	1	152	703	0,000
P	39	3	13	60	0,000
Hiba	16	76	0,22		
Alapadatok	208	80			
Összesen	55	79			

14. táblázat: A $\text{CaCl}_2\text{-P}$ értékét befolyásoló agronómiai tényezők (2008)

Tényező	SS*	Df*	MS***	F	Szignifikancia szint
Modell****	84	3	28	44	0,000
Korrektációs tényező	157	1	157	251	0,000
P	84	3	28	44	0,000
Hiba	47	76	0,63		
Alapadatok	289	80			
Összesen	132	79			

15. táblázat: A CaCl₂-P értékét befolyásoló agronómiai tényezők (2009)

Tényező	SS*	Df*	MS***	F	Szignifikancia szint
Modell****	7,3	3	2,4	66	0,000
Korrekciós tényező	100	1	100	2745	0,000
P	7,3	3	2,4	66	0,000
Hiba	2,7	76	0,04		
Alapadatok	110	80			
Összesen	10	79			

16. táblázat: A CaCl₂-K értékét befolyásoló agronómiai tényezők (2007)

Tényező	SS*	Df**	MS***	F	Szignifikancia szint
Modell****	112578,5	3	37526,2	223,5	0,000
Korrekciós tényező	471288	1	471288	2806,5	0,000
Meszezés	9429,5	1	9429,5	56,2	0,000
K	99814,3	1	99814,3	594,4	0,000
Meszezés * K	3334,7	1	3334,7	19,9	0,000
Hiba	12762,5	76	167,9		
Alapadatok	596629	80			
Összesen	125341	79			

17. táblázat: A CaCl₂-K értékét befolyásoló agronómiai tényezők (2008)

Tényező	SS*	Df**	MS***	F	Szignifikancia szint
Modell****	148841,7	3	49613,9	120	0,000
Korrekciós tényező	678118,5	1	678118,5	1640,4	0,000
Meszezés	9755	1	9755	23,6	0,000
K	136991,8	1	136991,8	331,4	0,000
Meszezés * K	2094,9	1	2094,9	5,1	0,027
Hiba	31417,8	76	413,4		
Alapadatok	858378,1	80			
Összesen	180259,5	79			

18. táblázat: A CaCl₂-K értékét befolyásoló agronómiai tényezők (2009)

Tényező	SS*	Df**	MS***	F	Szignifikancia szint
Modell****	37327,7	3	12442,6	94,9	0,000
Korrekciós tényező	353251,3	1	353251,3	2693,2	0,000
Meszezés	5448,7	1	5448,7	41,5	0,000
K	31087,4	1	31087,4	237	0,000
Meszezés * K	791,7	1	791,7	6	0,016
Hiba	9968,5	76	131,2		
Alapadatok	400547,5	80			
Összesen	47296,2	79			

19. táblázat: Az AL-K értékét befolyásoló agronómiai tényezők (2007)

Tényező	SS*	Df**	MS***	F	Szignifikancia szint
Modell****	502327,1	3	167442,4	204,7	0,000
Korrekciós tényező	5770715,3	1	5770715,3	7056,2	0,000
Meszezés	6,3	1	6,3	0,0	0,930
K	497254,9	1	497254,9	608,0	0,000
Meszezés * K	5065,9	1	5065,9	6,2	0,015
Hiba	62154,4	76	817,8		
Alapadatok	6335196,7	80			
Összesen	564481,5	79			

20. táblázat: Az AL-K értékét befolyásoló agronómiai tényezők (2008)

Tényező	SS*	Df**	MS***	F	Szignifikancia szint
Modell****	435333,5	3	145111,2	92,3	0,000
Korrekciós tényező	5911746,1	1	5911746,1	3761,1	0,000
Meszezés	2849,5	1	2849,5	1,8	0,182
K	429450,1	1	429450,1	273,2	0,000
Meszezés * K	3033,9	1	3033,9	1,9	0,169
Hiba	119458,8	76	1571,8		
Alapadatok	6466538,4	80			
Összesen	554792,3	79			

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetemet fejezem ki témavezetőmnek, **Prof. Dr. Loch Jakab** professor emeritusnak szakmai tanácsaiért, útmutató javaslataiért, mindenkor azonnali segítségnyújtásáért.

Köszönöm opponenseim, **Dr. Füleky György** egyetemi tanár és **Dr. Csajbók József** egyetemi docens áldozatos segítségét, amit az értekezés elkészüléséhez nyújtottak.

Köszönöm **Dr. Sárvári Mihály** egyetemi tanárnak és **Dr. Zsigrai György** tudományos főmunkatársnak, hogy rendelkezésemre bocsátották a tartamkísérletek talajmintáit és az értékeléshez szükséges adatokat.

Köszönöm az Agrokémiai és Talajtani Intézet összes dolgozójának a munkám során nyújtott segítségüket.

NYILATKOZAT

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Hankóczy Jenő Doktori Iskola keretében készítettem, a Debreceni Egyetem doktori (Ph.D.) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 2016.05.04.

.....
a jelölt aláírása

NYILATKOZAT

Tanúsítom, hogy Bertáné Szabó Emese doktorjelölt 2008-2016. között a fent megnevezett Doktori Iskola keretében irányításommal/irányításunkkal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult, az értekezés a jelölt önálló munkája. Az értekezés elfogadását javaslom/javasoljuk.

Debrecen, 2016.05.04.

.....
a témavezető aláírása