

Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei

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

Bertáné Szabó Emese

Témavezető: Prof. Dr. Loch Jakab



DEBRECENI EGYETEM
Hankóczy Jenő Doktori Iskola

Debrecen, 2016

Bevezetés

A termőhelyspecifikus gazdálkodás a termőhely és a termőtalaj tulajdonságainak megismerésével kezdődik. Egyik fontos, inputanyag felhasználás tekintetében is jelentős eleme a tápanyag-gazdálkodás. Míg a termőhelyi adottságok egy része üzemi szinten (üzemmérettől függően) állandónak tekinthető, addig a talajok heterogenitása táblaszintű, sőt akár táblán belüli differenciálást indokol.

A termőhelyspecifikus tápanyag-gazdálkodás 100 éves múltra tekint vissza hazánkban. A trágyázási kutatások úttörői voltak a teljesség igénye nélkül Cserhádi Sándor (Cserhádi és Kosutány, 1887; Cserhádi, 1900) vagy 'Sigmond Elek (Sigmond, 1904; 1930). Már ekkor nyilvánvaló volt, hogy a termőtalajok különböznek egymástól tápanyagszolgáltató képességüket tekintve, és ezt a tulajdonságukat jellemezni kell, valamint figyelembe kell venni a trágyázás tervezésekor. Az országos szintű állami szaktanácsadás rendszere (MEM-NAK) 1979-ben alakult, és mai napig meghatározza a tápanyaggazdálkodási szaktanácsadási gyakorlatot.

A számítási módszerek és a fajlagos határértékek módosultak, de a talajvizsgálati módszerekben nem történt változás, bár a hazai kutatók, a nemzetközi trendeket is követve folyamatosan kísérleteznek újabb talajvizsgálati módszerek kifejlesztésével vagy adaptálásával. Egy nemzetközileg ismert talajkivonószer, a 0,01 M CaCl_2 vizsgálatát már 1990-ben megkezdték az akkori DATE Mezőgazdasági Kémiai Tanszékének munkatársai. A módszer előnye, hogy a talajoldathoz hasonló híg sóoldat, ezért az oldódási viszonyok közel állnak a természetes körülményekhez, multielemes, tehát az összes makroelem, sőt a könnyen oxidálható szerves N frakció (N_{org}) is vizsgálható benne, és emellett a szuszpenzió könnyen szűrhető.

Vizsgálataim célja az volt, hogy összehasonlítsam a hagyományos és a 0,01 M CaCl_2 módszerekkel kivont tápelemtartalom közötti összefüggést és az ezeket befolyásoló talaj- és agronómiai tényezőket egy reprezentatív mintahalmazon, valamint két tartamkísérlet kezeléseiben.

Célom volt még a vizsgálati eredményeim felhasználásával javaslatok, ajánlások kidolgozása a tápanyag-vizsgálati módszerek körének kibővítésére, a racionális, termőhelyspecifikus tápanyag-gazdálkodás megvalósítására.

Anyag és módszer

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. Az országos mérőhálózat 1236 pontjából 865 található mezőgazdasági területen. 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.

Karcagi tartamkísérlet

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 1. táblázatban láthatók.

A nitrogénműtrágya ammónium-nitrát, őszi-tavaszi (50-50 %) megosztásban. A P és K adagokat ősssel 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 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.

1. 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 talajmintavétel mindhárom évben (2007-2009) a betakarítás után történt. 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.

Hajdúböszörményi tartamkísérlet

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 2. táblázatban szerepelnek.

2. 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 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 csapadékú években az altalajvíz szintje 2,0-2,5 méter körüli mélységben van.

A talajmintavétel 2010 tavaszán történt, a műtrágyázást és a vetést megelőzően.

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 kivonószerrel 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 szervesetlen (NO₃-N

+ $\text{NH}_4\text{-N}$) és a könnyen oldható szerves N (N_{org}) frakciók alkotják. Az N_{org} frakciót az $\text{N}_{\text{össz}}$ és a szervesetlen 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.

Mérlegszámítás

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.

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.

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 kivonásokban meghatározott elemtartalmak közötti összefüggéseket korrelációs és regressziós analízissel vizsgáltam.

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

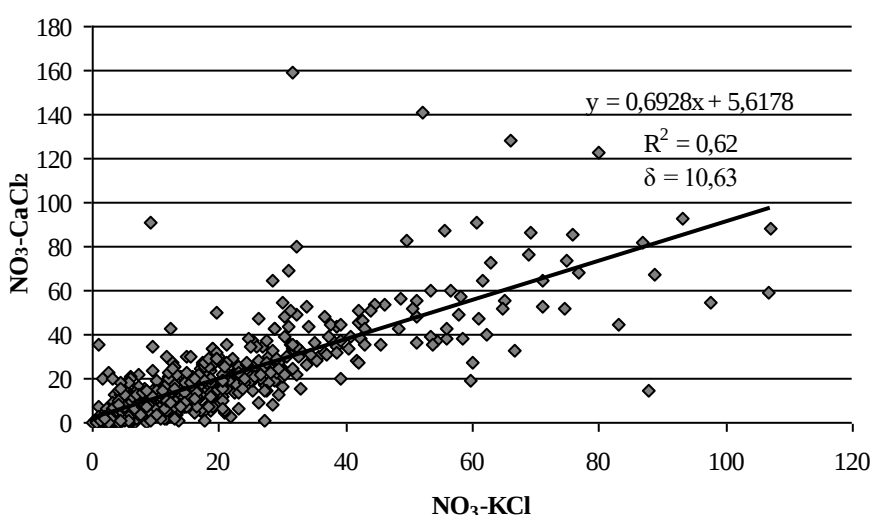
A TIM adatbázis feldolgozása során az N_{org} (függő változó) és a fontosabb talajfizikai, -kémiai paraméterek (magyarázó változók) közötti összefüggéseket parciális legkisebb négyzetek (PLS) regresszióval vizsgáltam (Esposito Vinzi et al., 2010). Ezzel a módszerrel látens változókat (komponensek) konstruáltunk, melyek kapcsolatban

vannak a magyarázó változókkal. A modellbe azon komponensek kerültek be, melyek legalább 1%-át magyarázzák az N_{org} varianciájának.

Eredmények

Talajvédelmi Információs és Monitoring Rendszer

A 0,01 M $CaCl_2$ -al és 1 M KCl -al kivont NO_3-N tartalom közötti regresszióanalízis eredménye az 1. ábrán látható. A teljes mintahalmazon szoros összefüggést kaptam ($r=0,79$).



1. ábra: A $CaCl_2$ - NO_3-N és KCl - NO_3-N mennyisége ($mg\ kg^{-1}$) közötti összefüggés ($n=632$)

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

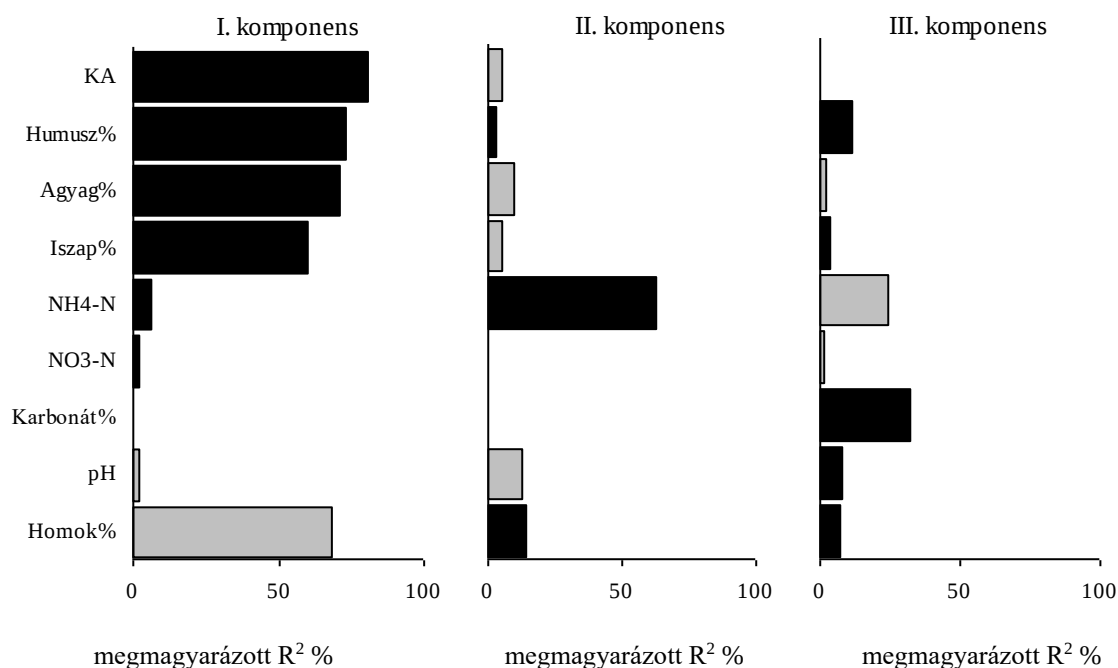
δ – A becslés standard hibája

A módszertani különbségek – mint a talaj:kivonószer arány, a koncentráció, vagy a rázatási idő – ellenére a kivont NO_3-N mennyisége azonos nagyságrendű.

A 0,01 M $CaCl_2$ -al kivonható szerves nitrogén növény táplálásban betöltött szerepének megítéléséhez elengedhetetlen a $CaCl_2$ - N_{org} frakció mennyiségét kialakító tényezők vizsgálata. A szakirodalomban tárgyalt tényezők közül a vizsgált mintabázison a talajtényezők hatásának vizsgálatára volt lehetőségem.

A $CaCl_2$ - N_{org} mennyisége közepesen függ össze a humusz% ($r = 0,59$), és gyengén az Arany-féle kötöttség ($r = 0,49$), valamint a homok-, vályog-, agyagtartalom ($0,26 < r < 0,40$) alakulásával.

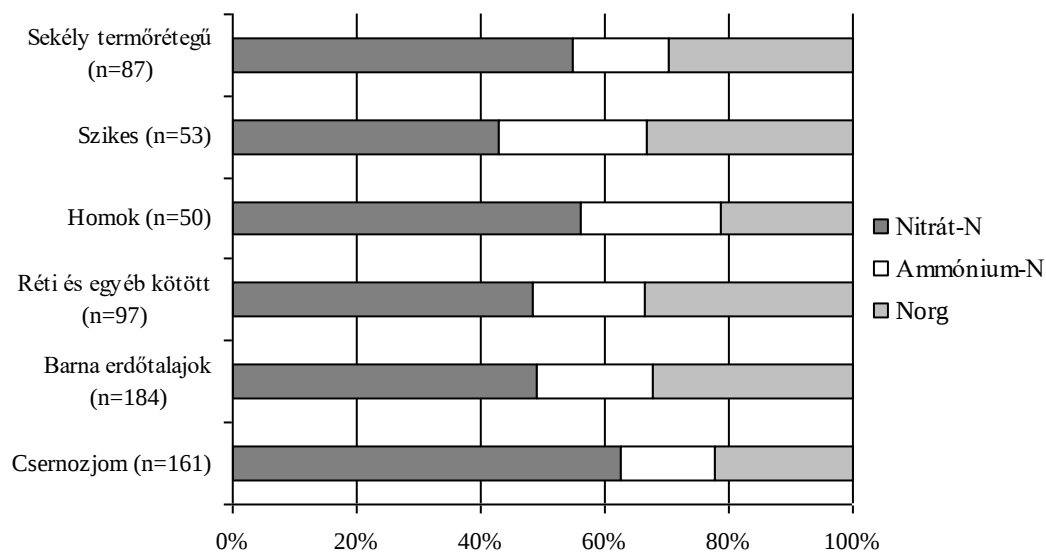
A magyarázó változók (talajtulajdonságok) közötti szignifikáns összefüggések zavaró hatását ki kell küszöbölnünk. Erre ad lehetőséget a PLS regresszió. A regressziós analízis alapján a $\text{CaCl}_2\text{-N}_{\text{org}}$ változékonyságának 47%-a megmagyarázható a vizsgálatba bevont változókkal. A talajtulajdonságok, és a PLS regresszióval meghatározott komponensek kapcsolatát a 2. ábra szemlélteti.



2. 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)

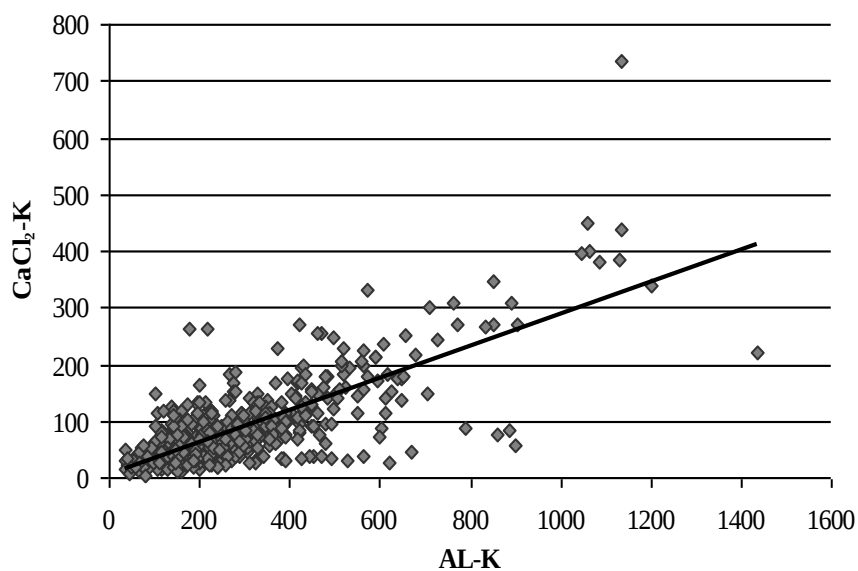
A $\text{CaCl}_2\text{-N}_{\text{org}}$ frakciót befolyásoló talajtulajdonságok a PLS regresszió analízis alapján elsősorban a talajtextúra (szemcseösszetétel és kötöttség), valamint a humusz tartalom. Ezek között is a homok tartalom negatív, míg a vályog-, agyag-, humusz tartalom, és kötöttség pozitív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

A N-formák aránya talajtípusonként a 3. 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 növénytáplálásban 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.



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

A hagyományos, AL és a 0,01 M CaCl_2 módszerekkel kivonható K-tartalom közötti összefüggést a vizsgált mintahalmazon a 4. ábra szemlélteti. Az erélyesebb oldó és kicserélő hatású AL kivonószerezrel meghatározott K átlagosan háromszorosa a CaCl_2 -K mennyiségének.



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

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

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

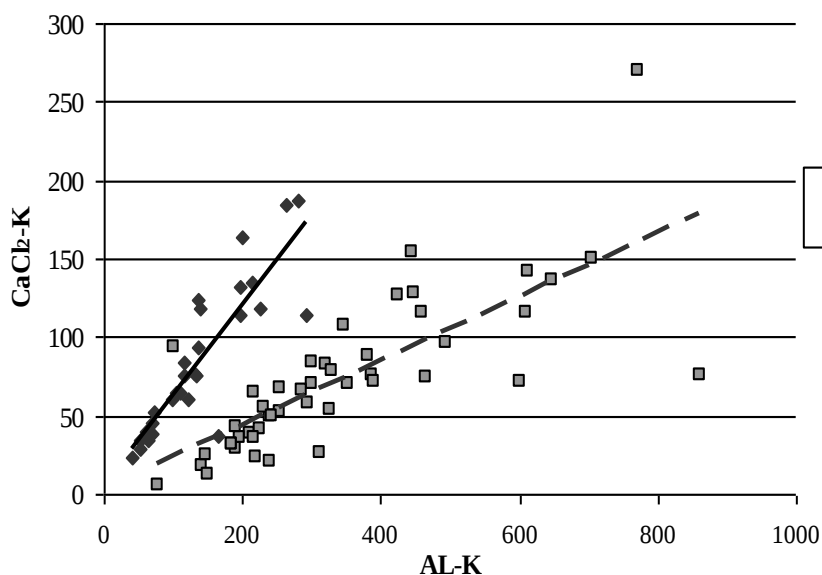
A talaj fizikai és kémiai jellemzői eltérő mértékben hatnak az egyes kivonószerekben mért K mennyiségére. A talajokat az Arany-féle kötöttségi szám alapján kötöttségi kategóriákba soroltam. Az egyes kategóriákban kapott átlagos értékek és a két kivonószerben mért K-tartalom aránya a 3. táblázatban látható. Az AL-K a kötöttség függvényében mintegy kétszeresére növekszik. A 0,01 M CaCl_2 esetében a kötöttségtől való függés nem mutatható ki.

3. táblázat: Az AL és 0,01 M CaCl_2 kivonószerekben mért káliumtartalom mennyisége (mg kg^{-1}) és aránya a talaj kötöttsége függvényében

Kötöttségi kategóriák*	Mintaszám	$\text{CaCl}_2\text{-K}$ (mg kg^{-1})			AL-K (mg kg^{-1})			AL-K/ $\text{CaCl}_2\text{-K}$
		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

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 az oka, hogy kötöttebb talajokon erőteljesebb a K kötődése, nagyobb agyagkolloid-tartalmuk következtében. A durva homok és nehéz agyag talajok regressziós egyeneseinek lefutása jól szemlélteti a különbségeket (5. ábra). Látható, hogy azonos $\text{CaCl}_2\text{-K}$ értékhez jóval nagyobb AL-K érték tartozik a kötöttebb talajokon, ami alapján feltételezhető, hogy a CaCl_2 által kivont kálium mennyisége inkább a talajoldat K-koncentrációját, míg az AL a tartalékokat is jellemzi.



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

A pH és a talajvizsgálati eredmények közötti összefüggést szemlélteti a 4. 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.

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

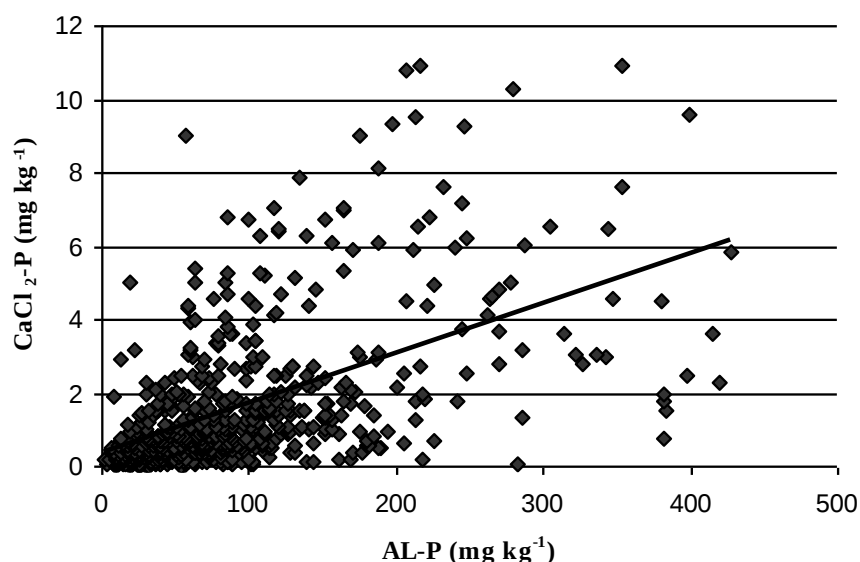
pH _{KCl} kategória	Mintaszám	CaCl ₂ -K (mg kg ⁻¹)			AL-K (mg kg ⁻¹)			AL-K/ CaCl ₂ -K
		átlag	min.	max.	átlag	min.	max.	
Erősen savanyú	69	83,1	24	255	151,2	40	518	1,8
Savanyú	109	74,3	18	398	161,7	70	1046	2,2
Gyengén savanyú	147	78,4	5	385	238	37	1200	3
Semleges	123	87,8	14	345	290,6	36	1438	3,3
Gyengén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

A legnagyobb eltérés a hagyományos módszerek és a CaCl₂-os kivonásban mért tápelem-tartalom között a foszfor esetében tapasztalható (6. ábra).

A CaCl₂-P átlagosan kevesebb mint 2%-a az AL-P mennyiségének. Az összefüggést leíró regressziós egyenlet a következő:

$$Y (\text{CaCl}_2\text{-P}) = 0,0137 \text{ AL-P} + 0,3478$$

$$R^2 = 0,31 \quad \delta = 1,71$$



6. ábra: Az AL-P és $\text{CaCl}_2\text{-P}$ közötti korreláció a teljes mintahalmazon ($n = 622$)

A karbonát tartalom alapján kialakított csoportok átlagos $\text{CaCl}_2\text{-P}$ és AL-P értékei az 5. táblázatban szerepelnek. A $\text{CaCl}_2\text{-P}$ 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 $\text{CaCl}_2\text{-hoz}$ 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.

5. táblázat: Az eltérő karbonát-tartalmú talajok átlagos $\text{CaCl}_2\text{-P}$ és AL-P értékei

Karbonát tartalom	Mintaszám	$\text{CaCl}_2\text{-P}$ (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

Karcagi tartamkísérlet

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 6. táblázatban szerepel, N kezelésenként.

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

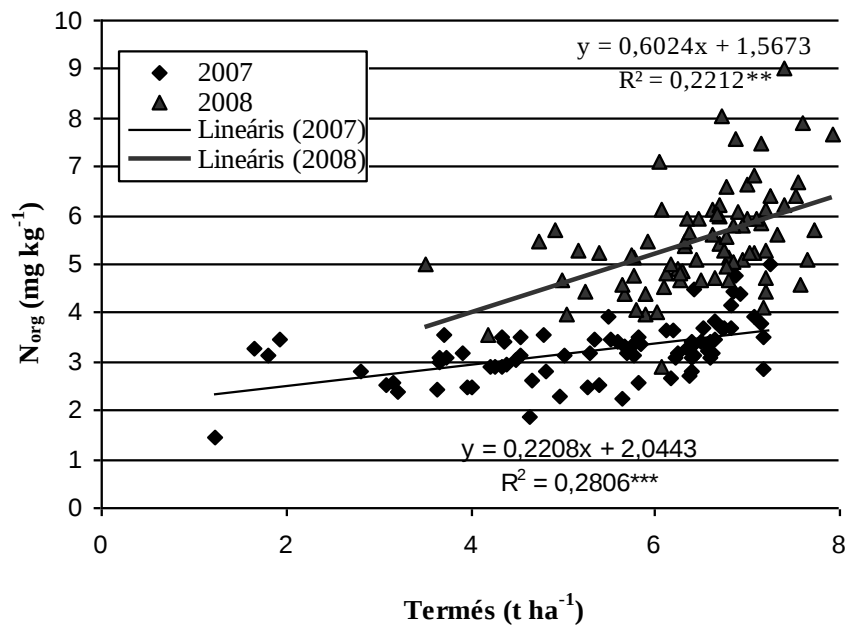
Kezelések (kg N ha ⁻¹)	NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)	SzD*	NH ₄ -N (mg kg ⁻¹)	SzD*	N _{org} (mg kg ⁻¹)	SzD*	N _{össz} (mg kg ⁻¹)	SzD*
2007								
N ₀	4,5	a	2,16	a	2,82	a	9,5	a
N ₁₀₀	8,7	b	3,47	b	3,08	a	15,3	b
N ₁₅₀	13,6	c	4,56	b	3,06	a	21,3	c
N ₂₀₀	22,8	d	4,33	b	3,38	b	30,5	d
N ₂₅₀	34,7	e	6,08	ab	4,47	c	45,2	e
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	

*Szigignifikáns 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 2007. áprilisi időjárással magyarázhatjuk, ugyanis a búza N-felvétele a bokrosodás-szárbaindulás idején a legintenzívebb, és az ebben az időszakban elszenvedett vízhiány hatására jelentősen csökken a N-felvétel.

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. A trágyázási kezelések hatását egyrészt a nagyobb gyökértömeggel magyarázhatjuk, másrészt a talaj mikrobiológiai folyamatainak változásával, a sűrűbb gyökérszövet 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 (7. 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. Az eltérő eredményeket azzal magyarázhatjuk, hogy a kísérletben a melléktermés is betakarításra került, és bár a kukorica összes szerves anyag produkciója nagyobb, a búza gyökérszöve sűrűbben behálózza a felső talajréteget, így a gyökérmaradványok lebomlásakor a feltalaj könnyen ásványosodó szervesanyag készletét gyarapítja, amelyet a talajmintavétel is érintett.



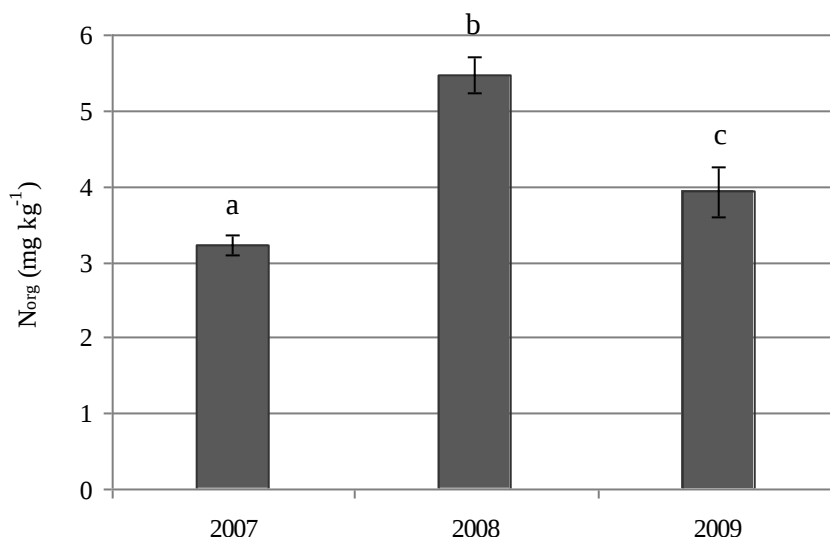
7. ábra: Az őszi búza termése és a talaj betakarítás utáni N_{org} tartalma közötti kapcsolat (n=160) (2007, 2008)

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

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

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 biomassza produkcóra és talajéletre gyakorolt hatásával magyarázhatunk. Ez a hatás a karcagi tartamkísérletben is kimutatható volt (8. 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.



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

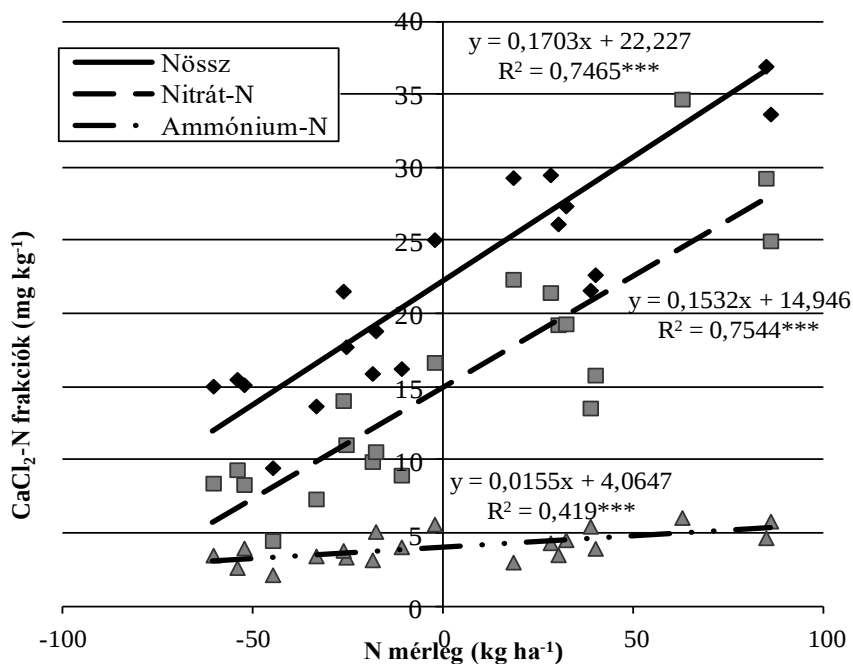
Az oszlopokon a P=5% konfidencia intervallum szerepel

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

Az egyszerűsített agronómiai N-mérleg és a CaCl₂-N frakciók közötti összefüggést lineáris regresszió analízissel vizsgáltam (9., 10., 11. ábra). 2007-ben az agronómiai N mérleg és a CaCl₂-N_{össz} valamint NO₃-N között szoros ($r=0,86$; $r=0,87$), míg az agronómiai N mérleg és az NH₄-N között közepesen szoros ($r=0,65$) korreláció igazolható.

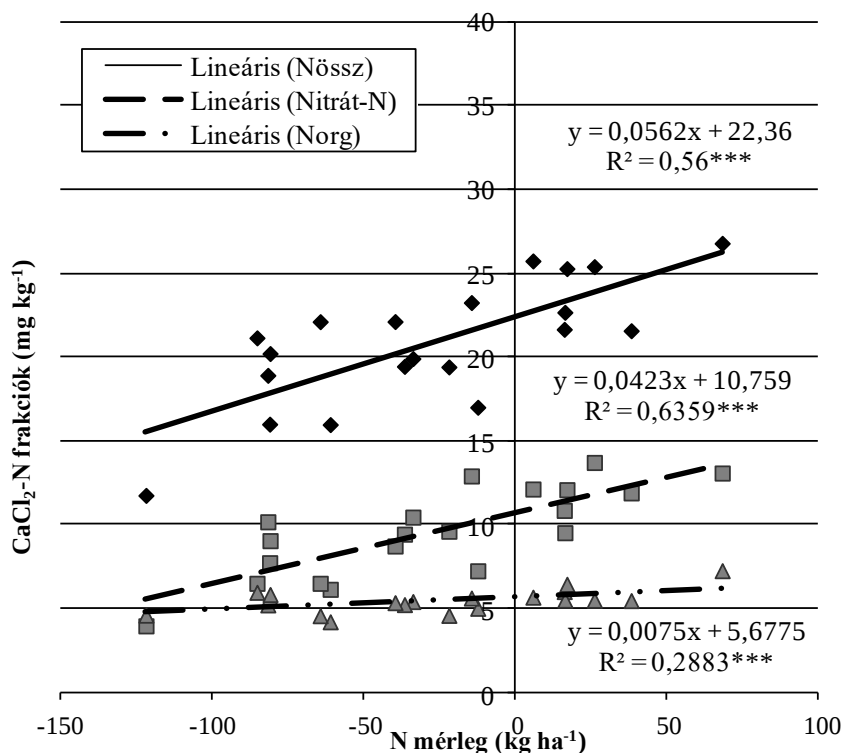
A CaCl₂-N_{össz} és NO₃-N frakciók 2008-ban is szoros összefüggésben voltak a N mérleggel ($r=0,75$; $r=0,8$), de mennyiségük kisebb mértékben nőtt a pozitív mérlegek hatására. Ebben az évben az N_{org} és a N-mérleg kapcsolata is szignifikáns volt ($r=0,54$).

A N mérleg, a CaCl₂-N_{össz} valamint NO₃-N közötti korreláció 2009-ben is szoros ($r=0,93$; $r=0,93$), szignifikáns volt.



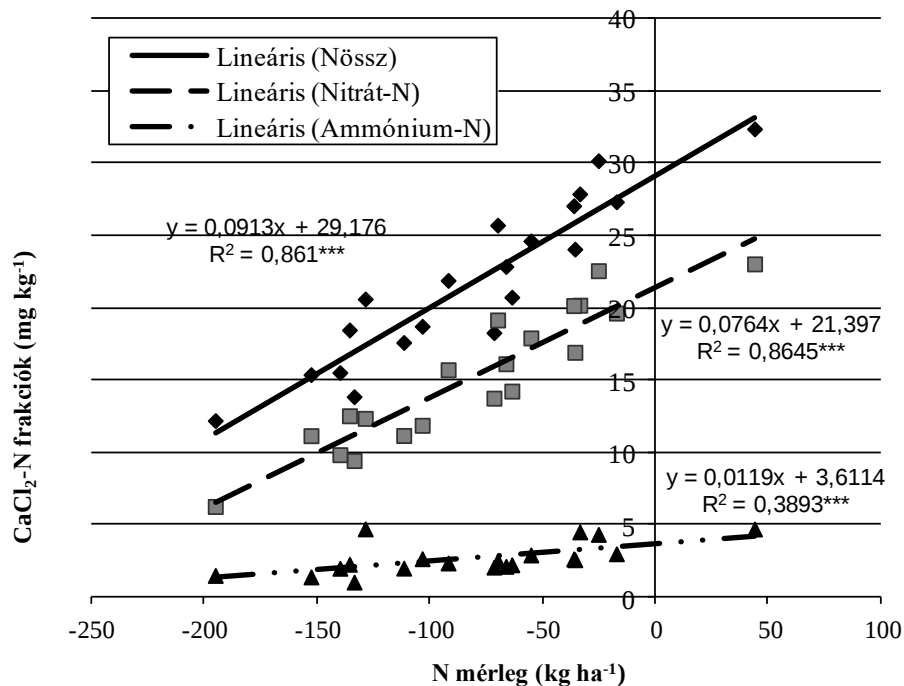
9. ábra: A CaCl₂-N frakciók és az agronómiai N mérleg kapcsolata (n=20; 2007)

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



10. ábra: A CaCl₂-N frakciók és az agronómiai N mérleg kapcsolata (n=20; 2008)

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



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

A CaCl₂-N_{össz} és a N mérleg közötti szoros összefüggés azt bizonyítja, hogy a talaj N-készletének növekedésével/csökkenésével nő/csökken a CaCl₂-N_{össz} 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.

A CaCl₂-P és AL-P átlagai évenként és kezelésenként a 8. táblázatban szerepelnek. Jól látható, hogy az AL-P értéke következetesen nő a növekvő adagok hatására, míg a CaCl₂-P a kontrollhoz képest csak a 44 és 66 kg ha⁻¹-os P kezelésekben nő szignifikánsan.

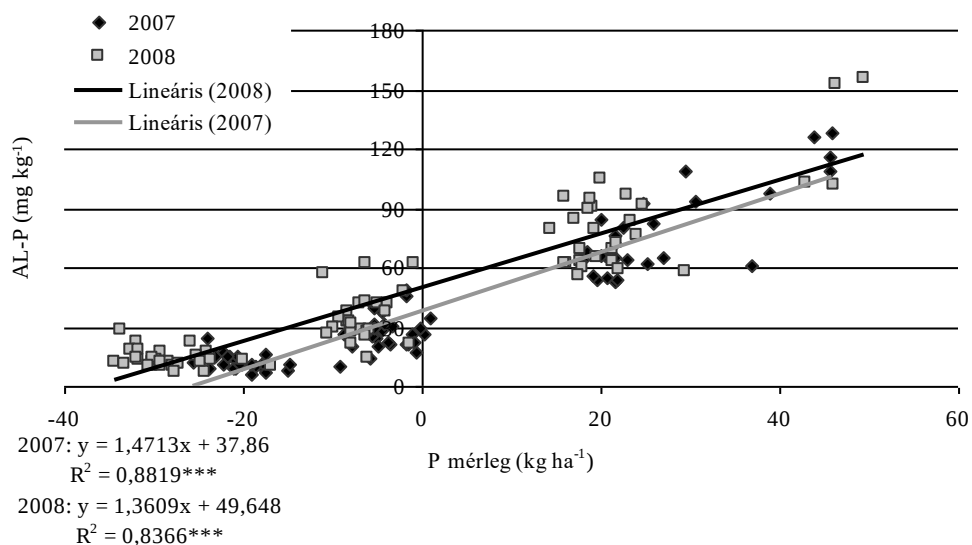
8. táblázat: A tartam P-trágyázás hatása a 0,01 M CaCl₂ és AL kivonószerekkel meghatározott P frakciók és a termés alakulására; valamint az agronómiai P mérleg értéke a Karcagi B17. tartamkísérletben (2007-2009)

Kezelések (kg P ha ⁻¹)	Termés (t ha ⁻¹)	P mérleg** (kg ha ⁻¹)	CaCl ₂ -P (mg kg ⁻¹)	SzD*	AL-P (mg kg ⁻¹)	SzD*	AL-P/CaCl ₂ -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				

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

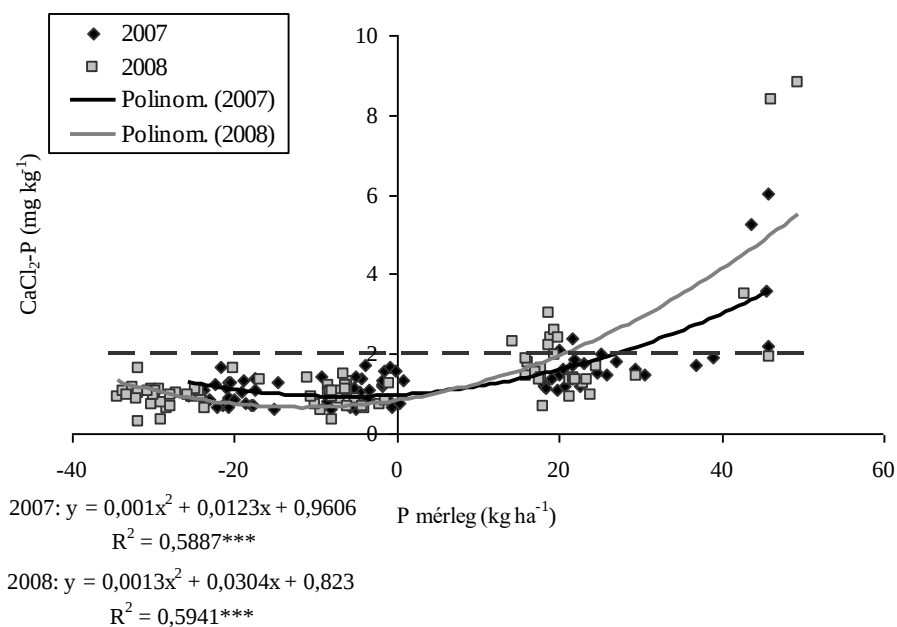
** Agronómiai P-mérleg: a P műtrágyaadagok és a termés által kivont P különbségéből számított érték

A CaCl₂-P, az AL-P valamint az agronómiai P mérleg közötti összefüggést regresszió analízis segítségével is vizsgáltam (12. ábra). Az AL-P és a P mérleg szoros, szignifikáns kapcsolatban van ($r_{2007}=0,94$; $r_{2008}=0,92$), és az összefüggés lineáris, ami alátámasztja, hogy az AL-P mennyisége szorosan összefügg a talaj foszforkészletének változásával.



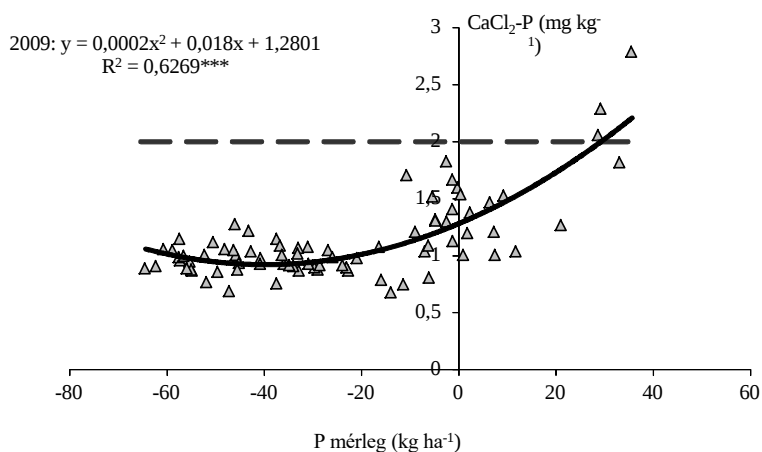
12. ábra: Az AL-P frakció és az agronómiai P mérleg kapcsolata (n=80; 2007-2009)
 *** A korreláció P=0,001 valószínűségi szinten szignifikáns

A P mérleg és a CaCl₂-P összefüggése másodfokú polinom illesztésével szoros ($r_{2007}=0,77$; $r_{2008}=0,77$; $r_{2009}=0,79$), szignifikáns (13., 14. ábra), de a P-mérleg alakulása kevésbé magyarázza a CaCl₂-P változékonyságát, mint ahogy azt az AL-P esetében láthattuk.



13. ábra: A CaCl₂-P frakció és az agronómiai P mérleg kapcsolata (n=80; 2007, 2008), valamint a Jaszberenyi 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 $\text{CaCl}_2\text{-P}$ értékei is kisebbek (16. ábra).



14. ábra: A $\text{CaCl}_2\text{-P}$ frakció és az agronómiai P mérleg kapcsolata ($n=80$; 2009), valamint a Jászberenyi és Loch (2001) által megállapított P-határérték (2 mg kg^{-1})

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 $\text{CaCl}_2\text{-K}$ értékét, míg az AL-K csak a K-trágyázás hatására változott szignifikánsan ($P \leq 0,001$). A $\text{CaCl}_2\text{-K}$ és AL-K átlagos értékei és aránya kezelésenként és évenként a 9. táblázatban szerepelnek.

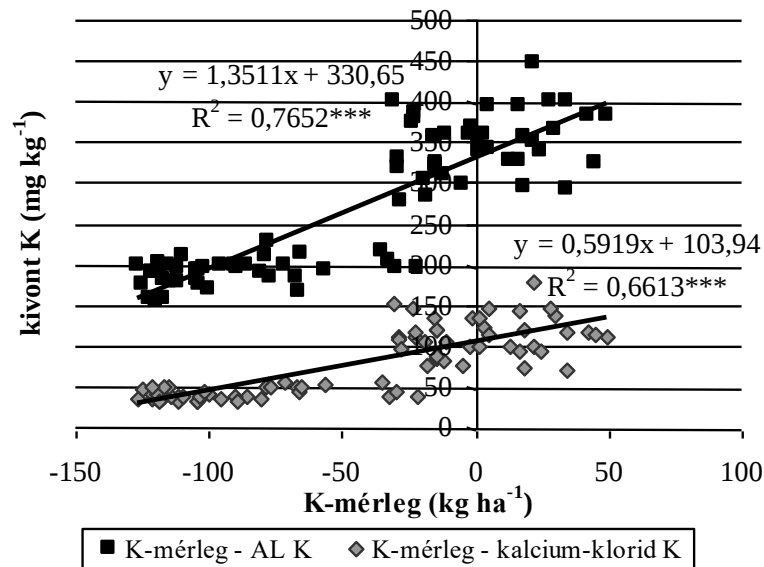
9. táblázat: A tartam K-trágyázás hatása a 0,01 M CaCl₂ és AL kivonószerekkel meghatározott K frakciók és a termés alakulására; valamint az agronómiai K mérleg értéke a Karcagi B17. tartamkísérletben (2007-2009)

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				

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

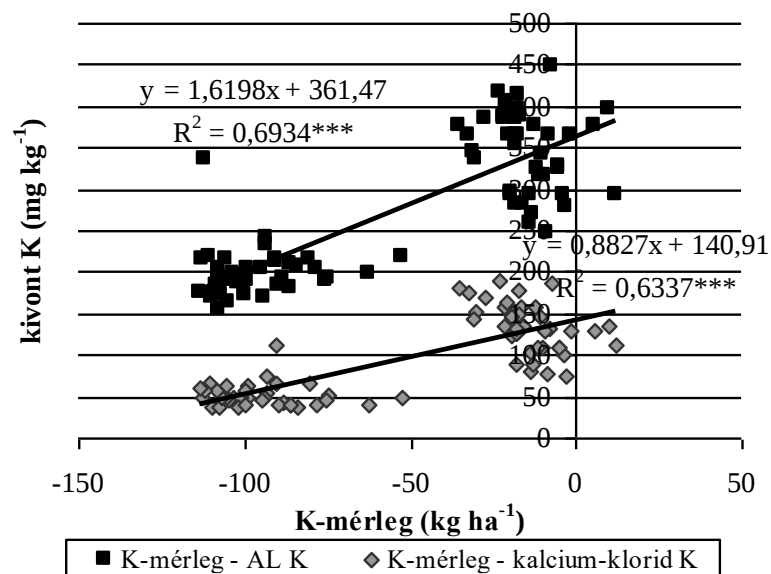
** Agronómiai K-mérleg: a K műtrágyaadagok és a termés által kivont K különbségéből számított érték

A K mérleg és a talajvizsgálati eredmények közötti összefüggés az 15., 16. és 17. ábrákon szerepel. A CaCl₂-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.



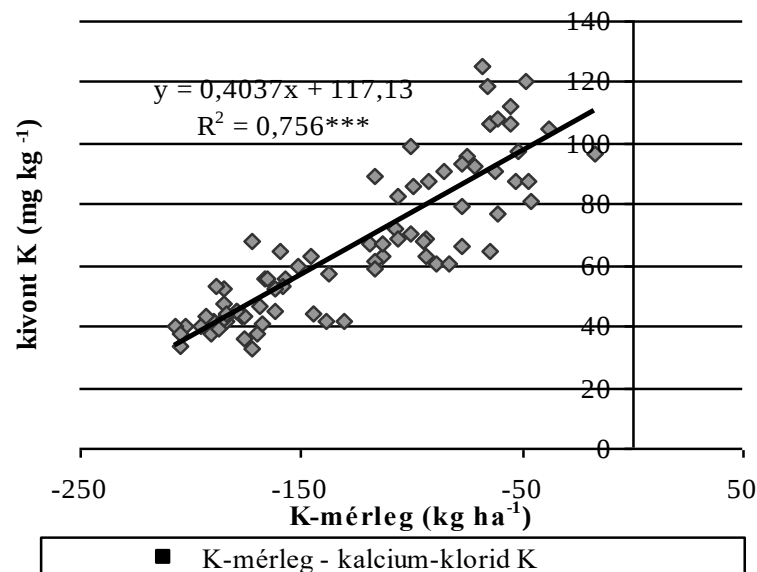
15. ábra: Az agronómiai K mérleg és a talajvizsgálati eredmények közötti összefüggés (2007)

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



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

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



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

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

Hajdúböszörményi tartamkísérlet

A 0,01 M CaCl₂-ban oldható nitrogénfrakciók átlagai a különböző NPK kezelésekben a 10. 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.

10. 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 CaCl₂-P és AL-P értéke a trágyázás függvényében, valamint a kezelések egyszerűsített agronómiai mérlege a 11. táblázatban szerepel. A tartamtrágyázás nem

volt szignifikáns hatással a kezelések átlagos $\text{CaCl}_2\text{-P}$ 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.

A vizsgált hajdúböszörményi tartamkísérlet talajmintáinak foszfortartalmát a Jászberényi és Loch (2001) által korábban meghatározott kritikus $\text{CaCl}_2\text{-P}$ határértékekhez hasonlítottam. Eredményeik szerint az agyag fizikai talajfőleségű, 6 és 7 közötti $\text{CaCl}_2\text{-os pH}$ -jú talajokon a maximális termés 90%-ához tartozó kritikus foszfor határérték: $0,5\text{-}1 \text{ mg kg}^{-1}$. A $\text{CaCl}_2\text{-P}$ értéke minden kezelésben elérte vagy meghaladta ezt a tartományt, ami jó foszforellátottságra utal, a talaj foszfortartalma nem volt limitáló tényező a termés szempontjából.

11. táblázat: A trágyázás hatása a $\text{CaCl}_2\text{-}$ és AL-oldható foszforformák mennyiségére (n=24, 2010.)

Kezelések	P mérleg (kg ha^{-1})	$\text{CaCl}_2\text{-P}$	SzD*	AL-P	SzD*
		(mg kg^{-1})			
$\text{N}_0\text{P}_0\text{K}_0$	-62	0,71	a	55,3	ab
$\text{N}_{40}\text{P}_{11}\text{K}_{25}$	-118	1,68	a	31,5	a
$\text{N}_{80}\text{P}_{22}\text{K}_{50}$	-111	0,95	a	35,8	a
$\text{N}_{120}\text{P}_{33}\text{K}_{75}$	-101	1,14	a	53,1	ab
$\text{N}_{160}\text{P}_{44}\text{K}_{100}$	-87	0,77	a	62,8	ab
$\text{N}_{200}\text{P}_{55}\text{K}_{125}$	-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 $\text{CaCl}_2\text{-K}$ és AL-K kezelésenkénti átlagai, valamint az agronómiai káliummérlegek a 12. táblázatban szerepelnek. A legnagyobb műtrágyadózis hatására mindkét kivonószerben mért káliumtartalom szignifikánsan megnőtt.

A $\text{CaCl}_2\text{-K}$ értékeit a Jászberényi és munkatársai (1999) által tartamkísérletek adatai alapján meghatározott kritikus kálium határértékekhez viszonyítottam. Az agyag fizikai talajfőleségű talajokra az $50\text{-}60 \text{ mg kg}^{-1}$ határértéket javasolták, amelyet egyik kezelésben sem éri el a $\text{CaCl}_2\text{-K}$ 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 $\text{CaCl}_2\text{-K}$ értékeket.

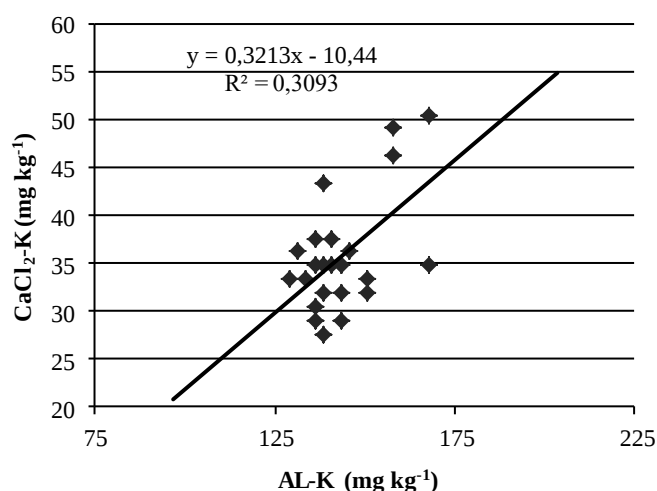
12. táblázat: A trágyázás hatása a CaCl_2 - és AL-oldható káliumformák mennyiségére (n=24; 2010.)

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

*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

A hajdúböszörményi tartamkísérlet talajain az AL és a 0,01 M CaCl_2 K-tartalma közötti korrelációt a 18. 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 .



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

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 $\text{CaCl}_2\text{-N}_{\text{össz}}$ frakció alakulását elsősorban a műtrágyázás befolyásolja.
3. Megállapítottam, hogy a $\text{CaCl}_2\text{-N}_{\text{org}}$ 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 $\text{CaCl}_2\text{-N}_{\text{org}}$ 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.

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.

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 pseudomyceliar 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 CaCl_2 , 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 CaCl_2 . *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 CaCl_2 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 $\text{NO}_3\text{-N}$ determined in 0.01 M CaCl_2 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 Élelmiszer tudományok Doktori Iskola, Debrecen. 79-85.*