

OTKA Nyilvántartási szám: T 043410

ZÁRÓJELENTÉS

Témavezető neve: Dr. Vágó Imre

A téma címe: Talajok könnyen felvehető bőrkészletének meghatározására alkalmas kivonószer kidolgozása, az egyes talajtulajdonságok szerepének megállapítása

A kutatás időtartama: 2003-2006

A bór az egyik legfontosabb növényi mikrotapelem. A mikroelemek közül a bór fejt ki a legnagyobb hatást a növények termésmennyiségére és minőségére. Amennyiben nem áll megfelelő mennyiségben rendelkezésre, virágképzési és termékenyülési problémák lépnek fel, továbbá gátoltá válik a szénhidrát- és lipideképződés. Szekunder következményként a sejtfalak szilárdsága nem lesz kielégítő, ami a növények (elsősorban mikrobiológiai eredetű) betegségekkel szembeni érzékenységét fokozza.

A növények megfelelő bórellátottságának biztosításához fontos, hogy a talajok felvehető bórtartalmát megfelelő pontossággal ismerjük. A bórtartalom meghatározására 1940 óta még ma is a klasszikus forró vizes extrakciós eljárás a legelfogadottabb. Ennek a módszernek jelentős hátránya, hogy csak korlátozottan használható, mert sorozatvizsgálatokra nem alkalmas. Ezért a kutatás egyik célja a forró vizes extrakciós eljárást helyettesítő (vagy azzal párhuzamosan használható), a talajok könnyen felvehető, mobilis bőrkészletének meghatározására alkalmas kivonószer kidolgozása.

A bóranalízishez a Tanszék adottságait figyelembe véve a molekulaabszorpciós fotometriás módszerek közül tudunk választani. Korábbi vizsgálataimban megállapítottam, hogy a tömény sav alkalmazását nem igénylő azomethin-H reagens bizonyos feltételek mellett felhasználható a mezőgazdasági minták bórtartalmának analízisére is (Vágó, 1994).

A vizsgálatokhoz egymástól szélsőségesen eltérő tulajdonságú talajokat gyűjtöttünk össze. A minták között szereplő talajtípusok az alábbiak: savanyú futóhomok, nagy karbonáttartalmú homok, humuszos homok, kovárványos barna erdőtalaj, Ramann-féle barna erdőtalaj, agyagbemosódásos barna erdőtalaj, mészlepedékes csernozjom, kilúgzott csernozjom, réti csernozjom, típusos réti, csernozjom réti, lápos réti, réti szolonyc és szoloncsák-szolonyc.

A talajminták összeválogatásánál elsődleges szempont volt, hogy azok mind a várható bórtartalmukban, mind az egyéb talajtulajdonságukban minél szélesebb spektrumot fedjenek le, mert kívánatos, hogy a talajextrahálószeret a legszélsőségesebb tulajdonságú talajokon is alkalmazhassuk.

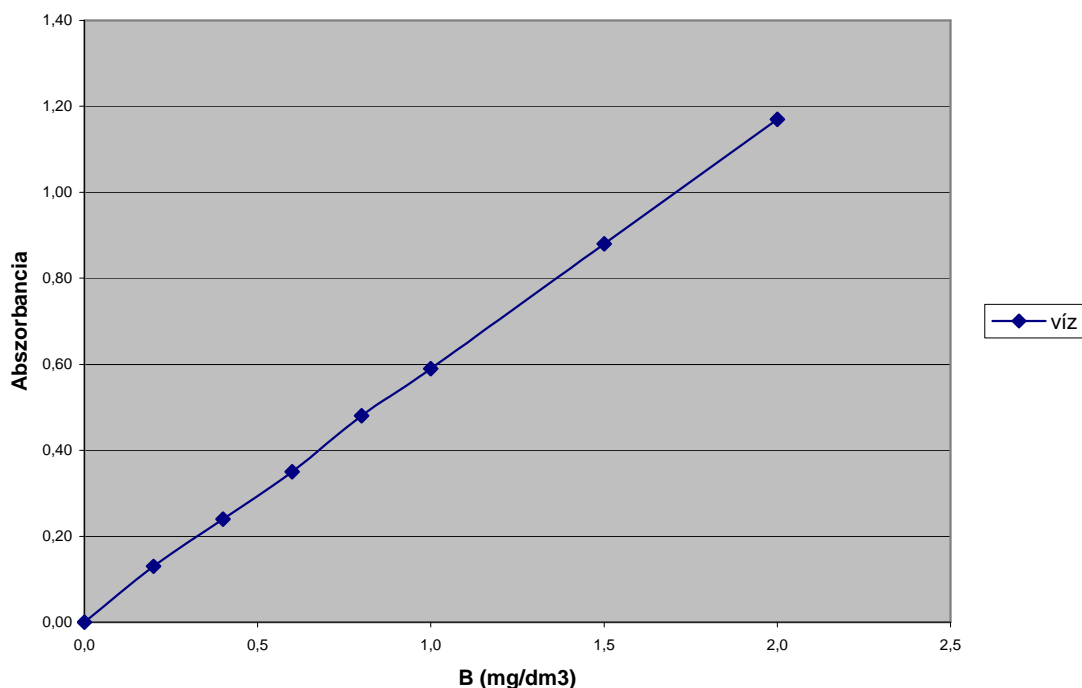
A talajminták sokféleségéből, illetve egyéb tényezőkből adódó analitikai problémákat kellett megoldani:

- 1.) A bór-mérések során felhasznált labor üvegedények falán adszorbeálódhatnak bórnyomok, amelyek a mikromennyiségű bórtartalom mérését megzavarják. Ennek megakadályozására az edényeket minden használat előtt kénsavval mostuk, majd desztillált vízzel öblítettük és szárítottuk.
- 2.) A bór azomethin-H reagenssel történő mérését néhány kation (Fe^{3+} , Al^{3+} - Cu^{2+}) zavarják. Ezért az említett ionokat maszkírozni kell. Erre a célra a reakcióközeg 4,8-es pH-értékén jól felhasználható az EDTA. Azért, hogy a zavaró hatást biztosan elkerüljük, az EDTA mennyiségét a $0,0125 \text{ M/dm}^3$ -ről $0,025 \text{ M/dm}^3$ -re növeltük. A módosítás az azomethin-H és a bór színképzését nem zavarta, mert a kalibrációs görbében nem tapasztaltunk változást.
- 3.) A különböző kivonószerekkel extrahált bórtartalom mérésénél, a mátrixhatás kiküszöbölése érdekében, a hitelesítő oldatsorozat ugyanolyan mennyiségben kell, hogy tartalmazza a kivonó ágenst, mint a mintaoldat. A különböző mátrixhátterű kalibráló oldatokban az abszorbanciája emiatt egymástól eltérhet. Megfigyeléseink szerint egyes mátrixanyagok hatása szokatlanul nagy értéket (csaknem 20 %-ot) ért el. A kutatás „mellékágaként” ezt a jelenséget is tisztáztuk (lásd később).
- 4.) Az elemzéseknél spektrális zavarást okoz, hogy a talajextraktumok nem mindig színtelenek, hanem kisebb-nagyobb mértékben sárga színűek. A jelenség az analízisnél problémát okoz, mert a bór-azomethin-H komplex színe is sárga: abszorpció maximuma a 415 nm-re esik. Az eltérő talajokból főleg a lúgos kémhatású extrahálószerekkel készített kivonatok „saját” színintenzitása jelentősen eltérhet. A sárga extraktumok abszorbanciája a bór-azomethin-H komplex fényelnyelésére szuperponálódik, ami a mérési eredményeket meghamisítja. Megoldásként azt alkalmaztuk, hogy a megfelelő hígításban az extraktum saját fényelnyelését is mérjük és az értékelésnél ezt figyelembe vesszük. A módszer csak akkor szolgáltat megfelelő eredményt, ha bór-azomethin-H komplex fényelnyelése lényegesen meghaladja az extraktumét.

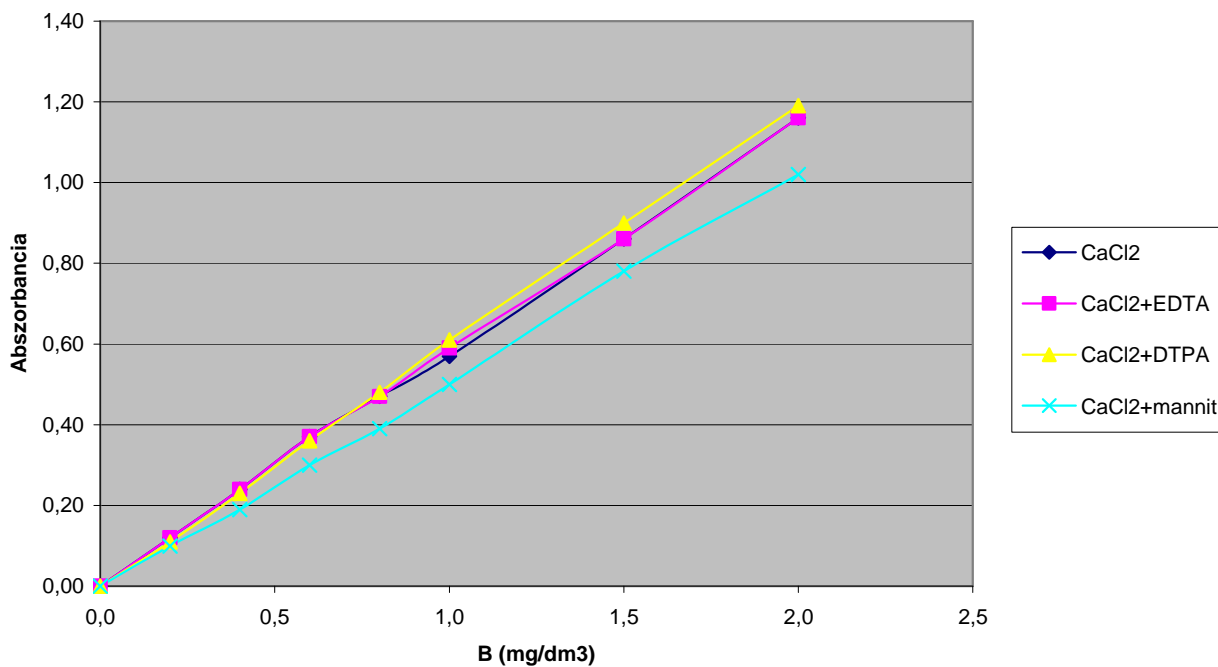
A 3. pontban említett mátrixhatások vizsgálatához a kalibráló oldatsorozatokhoz a kirázó szerrel azonos koncentrációban hozzáadtuk az extraháló oldat hatóanyag-tartalmát is, majd mértük az abszorbanciát. Elvégeztük a mérést úgy is, hogy az extraháló szert a hitelesítő oldatsorozathoz különböző koncentrációkban adtuk. Így a háttérhatásról információkhoz jutottunk.

Az eredményeket az 1.-4. ábrákon demonstráljuk. Vonatkoztatási rendszernek a desztillált víz mátrixszal készített hitelesítő oldatsorozatot tekintjük (1. ábra), mert ebben zavaró hatás nem léphet fel. Látható, hogy a kalibrációs függvény a teljes, $0-2,0 \mu\text{g/cm}^3$ tartományban lineáris, vagyis az azomethin-H a bór mérésére ebben az intervallumban korlátlanul alkalmas.

1. ábra: Bór kalibrációs görbe I.



2. ábra: Bór kalibrációs görbék II.



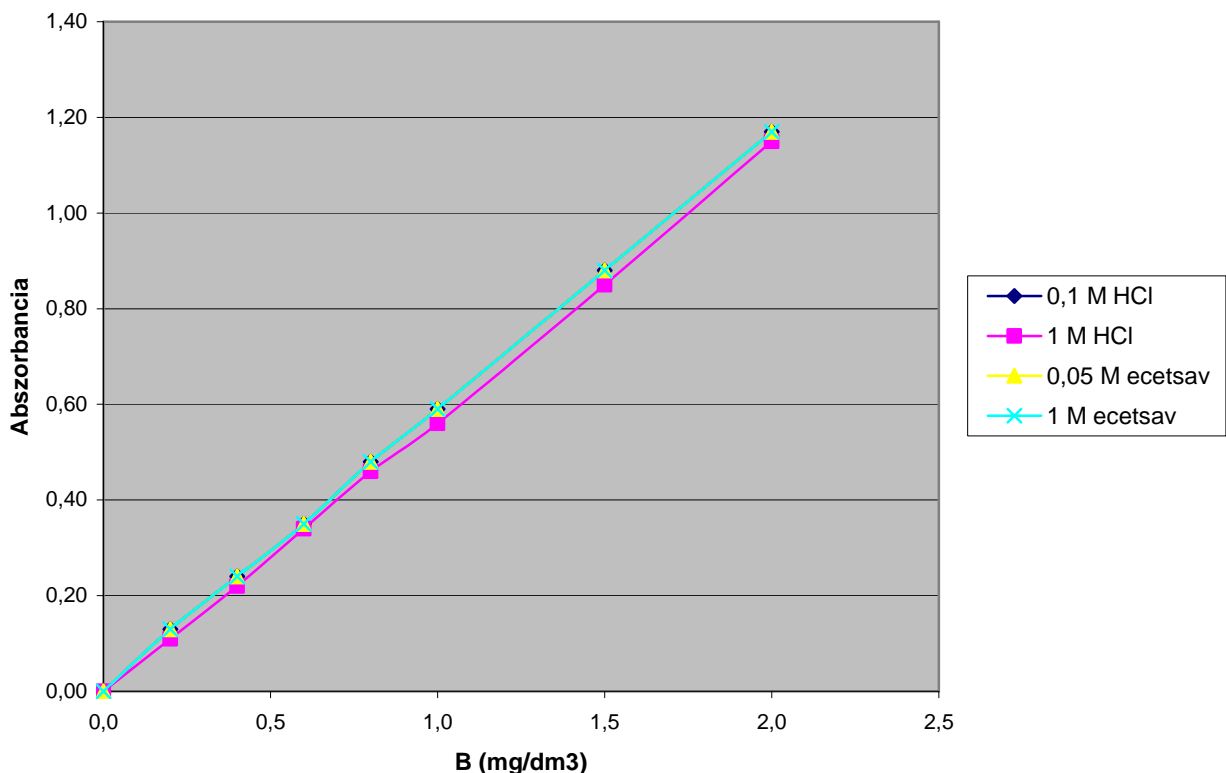
A 2. ábrán a kalcium-klorid tartalmú mátrixokkal készített hitelesítő sorozatok abszorbancia értékei vannak feltüntetve. Látható, hogy a kalcium klorid sem önmagában, sem EDTA kelátképzővel, sem pedig DTPA ligandummal nem befolyásolta számottevően a bórvegyület fényelnyelését 415 nm-en.

A kalcium-klorid + mannit oldat használata jelentős, mintegy 20 %-os abszorbanca csökkenést okoz. A jelcsökkenése hátrányos, mert az érzékenység romlik, a mérés pontossága korlátozódik.

A jelcsökkenés hátterében az állhat, hogy a bórsav az alkoholos OH csoportot tartalmazó vegyületekkel észtereket alkot (ez az észterképző hajlam növényfiziológiai szempontból előnyös, mert a növényen belül a szénhidrát karakterű asszimiláták borátészter formájában kerülnek szállításra). A mannit jelentős számú alkoholos hidroxilcsoportot tartalmaz, amely a talaj extrahálásánál előny lehet, de az azomethin-H az észterkötésben levő borátionokkal nem ad komplexet, vagyis a mannit a bór egy részét a mérés szempontjából elvonja, ami analitikai problémákat vehet fel.

A 3. ábrán feltüntetett kalibrációs görbék azt jelzik, hogy a savas mátrixok a kalibrációs egyenesek lefolyását nem vagy alig befolyásolják. Ez megnyugtató, mert azt bizonyítja, hogy a reakcióelegyhez adott puffer elegendő a legtöbb savas karakterű ágens pH-befolyásoló hatásának kompenzálására. Ugyanakkor az 1 M/dm³-es HCl-oldat már megközelíti a puffer teljesítő képességének határait. Erre az utal, hogy az 1 M/dm³-es HCl-oldat némiképp csökkentette a jel nagyságát.

3. ábra: Bór kalibrációs görbék III.

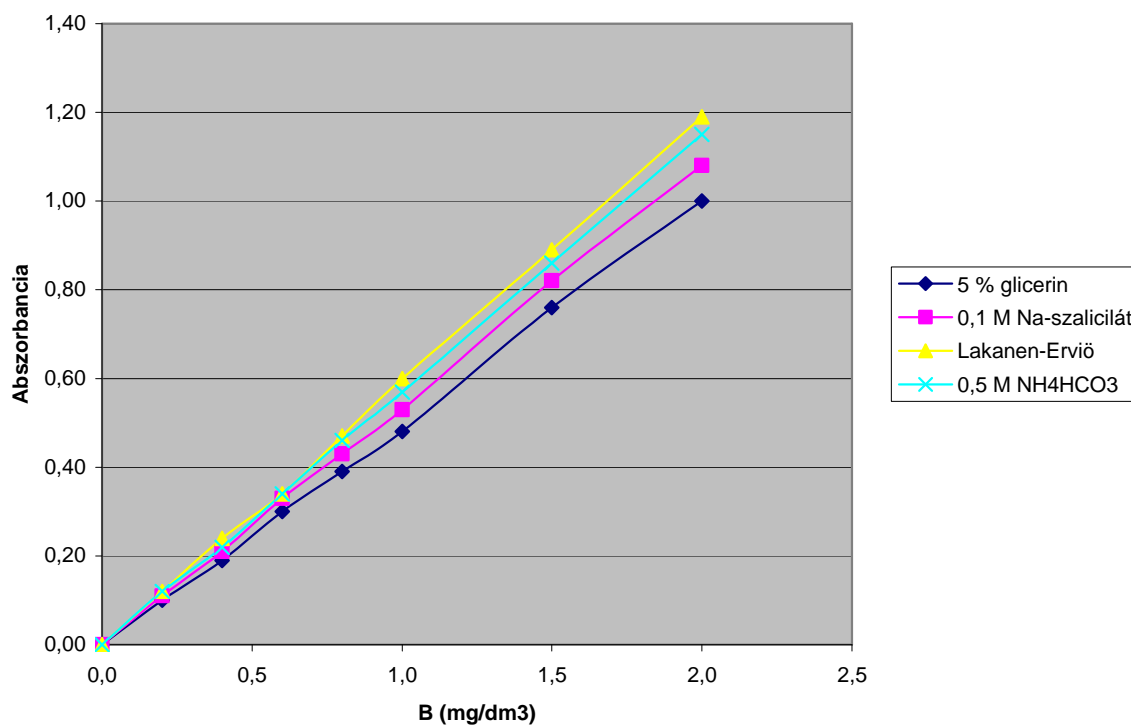


A 4. ábrán további négy extrahálószer (5 % glicerin, 0,1 M/dm³ nátrium-szalivilát, Lakanen-Erviö és 0,5 M/dm³ ammónium-hidrogén-karbonát oldat) hatását láthatjuk az abszorbanciára.

Itt a kép differenciáltabb. A vízzel kapott kalibrációs sorhoz legközelebb a Lakanen-Erviö kivonószer mátrixszal mért értékek állnak. Ehhez képest a jelet kis mértékben csökkenti az ammónium-hidrogén-karbonát oldat. Hasonló jelenséget tapasztaltunk a nátrium-hidrogén-karbonát alkalmazásával is (a közölt ábrákon nincs feltüntetve). A jelenség hátterében az extrahálószer pH-növelő hatása húzódhat meg. Nagyobb mértékben csökkent a jel a 0,1 M nátrium-szalicilát hatására. A legnagyobb mértékű abszorbancia csökkenést az 5 %-os glicerín oldat eredményezte.

A két utóbbi jelenség összhangban van a mannitnál tapasztaltakkal. Magyarozatként itt is a bórsav és a borát észterképző hajlama jön szóba, mert mind a szalicilsav, mind a glicerín tartalmaz alkoholos hidroxil csoportot, illetve csoportokat.

4.ábra: Bór kalibrációs görbék IV.



A talajok bórtartalmának méréséhez 50, egymástól szélsőségesen eltérő talajmintát gyűjtöttünk, amelyek mindegyikének bórtartalmát megvizsgáltuk a kivonó szerekkel. Minden extrakciót három ismétlésben végeztük el. Ha az egyes értékek között nagyobb szórást találtunk, akkor a rázatást és az analízist megismételtük. Végül a három ismétlés átlagát fogadtuk el mért eredménynek és minden további számítást ezzel az átlaggal végeztünk.

A felhasznált kivonószerek az alábbiak voltak:

1. Forró víz (Berger-Truog, 1939)
2. Forró 0,01 M CaCl₂ oldat (Aitken et al, 1987)
3. 1 M ammónium-acetát oldat, pH=4,8 (Gupta-Häni, 1975)
4. 0,5 M NaHCO₃ oldat, pH = 8,5 (Cartwright et al, 1983)
5. 0,5 M ammónium-acetát + 0,02 M EDTA oldat, pH=4,65 (Lakanen-Erviö, 1971)
6. 0,01 M CaCl₂ oldat
7. 0,01 M CaCl₂ + 0,025 M EDTA oldat
8. 0,01 M CaCl₂ + 0,025 M DTPA oldat
9. 0,01 M CaCl₂ + 0,05 M mannit oldat, pH = 8,5 (Cartwright et al, 1983)
10. 5 % glicerin oldat
11. 0,1 M Na-szalicilát oldat

A felhasznált talajok karakterisztikus jellemzői az alábbiak voltak:

Paraméter	Minimum	Maximum	Átlag
Kötöttség, K _A	20	66	34
Hidrolitos acid., y ₁	0	22,5	15,3
pH-KCl	3,6	8,9	6,1
pH-víz	4,4	8,8	6,9
Össz-N %	0,019	0,25	0,11
AL-P ₂ O ₅ mg/kg	74	1030	205
AL-K ₂ O mg/kg	10	630	240
AL-Ca mg/kg	20	3560	730
AL-Mg mg/kg	4	350	132

A megvizsgált talajok forró vízben oldható bórtartalma 0,28 és 1,76 µg/g között változott. A forró 0,01 M/dm³ koncentrációjú, semleges kémhatású CaCl₂ oldatban 0,30 és 1,73 µg/g bórtartalom intervallumot, míg az 1,0 M/dm³ koncentrációjú (pH=4,8) ammónium-acetát oldattal 0,08 és 0,97 µg/g közötti mennyiséget tudunk szobahőmérsékleten extrahálni. A 0,5 M/dm³ töménységű NaHCO₃ oldat, amelynek a pH-ját 8,5-re állítottuk be, méréseink szerint 0,20 és 1,80 µg/g mennyiségű bört vont ki ezekből a talajokból..

Az egyes kivonószerekkel kapott borkoncentráció értékeket a forró vízzel kivonható bórértékekkel vetettük össze. Tettük ezt azért, mert az egész világon még ma is ez a legelfogadottabb bór vizsgálati eljárás.

Az egy tényezős regresszióanalízis eredményeit az alábbi táblázatban foglaljuk össze. A kapcsolat szorosságának jellemzésére feltüntettem a korrelációs koefficiens nagyságát és annak a négyzetét is.

Tekintettel a minták nagy számára, csak azokat az r értékeket fogadtuk el statisztikailag igazoltnak, ahol a szignifikanciaszint eléri a P = 0,1 %-ot.

Egy tényezős regresszió analízisek I.	r	r ²
NH ₄ OAc-B = 0,496 * forró víz-B - 0,009	0,798	0,637 ***
NaHCO ₃ -B = 0,252 * forró víz-B + 0,446	0,165	0,027
forró CaCl ₂ -B = 0,991 * forró víz-B + 0,002	0,982	0,964 ***
Lak-Erv-B = 0,512 * forró víz-B + 0,008	0,759	0,576 ***
CaCl ₂ +mannit-B = 0,124 * forró víz-B + 0,157	0,212	0,045
Glicerín-B = 0,321 * forró víz-B + 0,098	0,192	0,037
Na-szalic-B = 0,411* forró víz-B - 0,021	0,387	0,150

A forró vizes és a forró kalcium-kloridos, továbbá a szobahőmérsékletű kalcium-kloridos és ammónium-acetátos extraktumok csak enyhe mértékben voltak sárgás színűek, így itt a saját fényabszorpció korrekcióba vételével megbízható mérési eredményeket kaptunk. Meg kell azonban jegyeznünk, hogy a nátrium-hidrogénkarbonátos extraktumok igen eltérő mértékben mutattak sárga elszíneződést, abszorbanciájuk esetenként megközelítette a mérendő komplex fényelnyelését.

A szobahőmérsékletű, 0,01 M M CaCl₂ oldat viszont olyan kis mennyiségű bórt von ki a talajokból, hogy az - az általunk használt analitikai metodikának a méréshatára alá esett. Hasonló eredményekhez jutottunk a 0,01 M CaCl₂ + 0,025 M EDTA oldat, illetve a 0,01 M CaCl₂ + 0,025 M DTPA oldat használatával is. Ezért ezeket az extraháló szereket a további vizsgálatokból kizártuk.

Annak megállapítására, hogy az egyes talajparaméterek és a forró vízzel extrahálható bórtartalom között milyen összefüggés van, szintén regresszóanalízist végeztünk, amelynek az eredményét a következő táblázat tartalmazza.

Egy tényezős regresszió analízisek II.	r	r ²
forró víz-B = 0,039*K _A - 0,478	0,837	0,700 ***
forró víz-B = 0,0267*hidrac + 0,404	0,292	0,085
forró víz-B = 0,171*pH-KCl - 0,207	0,476	0,226 ***
forró víz-B = 0,169*pH-KCl - 0,366	0,395	0,156
forró víz-B = 7,35*össz-N - 0,150	0,781	0,610 ***
forró víz-B = -0,00061*AL-P ₂ O ₅ + 0,778	0,194	0,038

forró víz-B =0,00076*AL-K ₂ O + 0,474	0,334	0,112	
forró víz-B =0,00020*AL-Ca + 0,51	0,519	0,269	***
forró víz-B =0,00208*AL-Mg + 0,45	0,726	0,527	***

A közölt kísérleti eredményekből az alábbi következtetések vonhatók le:

- A standard eljárásnak tekintett forró vizes extrakcióval gyakorlatilag azonos eredményt szolgáltat a forró 0,01 M kalcium-klorid oldat alkalmazása
- A szobahőmérsékleten alkalmazott kivonószerek közül a legjobb eredményt az 1 M ammónium-acetát (pH=4,8) alkalmazásával kaptuk.
- Hasonlóan jól használhatónak találtuk a Lakanen-Erviö módszert, amelynél az extrakciót 0,5 M ammónium-acetát és 0,02 M EDTA közös oldatával (pH=4,65) végezzük el.

Megállapítottuk ugyanakkor, hogy a forró vízzel extrahálható bórtartalom szorosan szignifikáns kapcsolatot mutat több talajparaméterrel is. A szorosság mértéke a P = 0,1 %-os szinten szignifikáns mértéket elérte a kötöttség, a pH-KCl, az összes nitrogén, az AL-oldható Ca, valamint az AL-oldható Mg között.

Az egyes extraháló szerekkel kivont bórtartalmak közötti kapcsolat szorossága javulhat, ha az összefüggések kiszámításába valamely talajparamétert is bevonjuk. Megfontolásra javasoljuk viszont ezen tényezők gondos megválogatását, mert a bórtartalom – mint láttuk – az egyes talajparaméterekkel is szorosan szignifikáns mértékben összefügg, így felléphet az eredményeket torzító belső korreláció veszélye.

A kéttényezős regresszió analízis eredményeit a következő táblázatban találjuk.

2 tényezős regressziós analízis	r	r ²	
NH ₄ OAc-B = 0,531 * forró víz - 0,00232*K _A + 0,026	0,805	0,648	***
NaHCO ₃ -B = 0,491 * forró víz - 0,0132*K _A + 0,676	0,315	0,099	
forró CaCl ₂ -B = 0,966 * forró víz-B - 0,0003*K _A + 0,023	0,999	0,999	***
NH ₄ OAc-B = 0,389 * forró víz-B + 0,076*pH-KCl - 0,330	0,859	0,738	***
NaHCO ₃ -B = 0,092 * forró víz-B + 0,121*pH-KCl - 0,056	0,407	0,166	
forró CaCl ₂ -B = 0,959 * forró víz-B - 0,001*pH-KCl - 0,014	0,999	0,999	***
NH ₄ OAc-B = 0,404 * forró víz-B + 0,093*pH-H ₂ O - 0,520	0,867	0,753	***
NaHCO ₃ -B = 0,174 * forró víz-B + 0,085*pH-H ₂ O - 0,012	0,326	0,106	

forró $\text{CaCl}_2\text{-B} = 0,962 \cdot \text{forró víz-B} - 0,002 \cdot \text{pH-H}_2\text{O} - 0,030$ 0,999 0,999 ***

Látható, hogy – várakozásainknak megfelelően – egy talajparaméter bevonása az egyenletbe javítja az összefüggés szorosságát, de az alapvető tendenciákat nem változtatja meg.

Annak eldöntésére, hogy melyik extrahálószer reprezentálja a legjobban a talajok felvehető tápelem-tartalmát, úgy dönthetjük el, ha megállapítjuk az adott talajon nőtt növény tápelem koncentrációja és az egyes talajvizsgálati módszerekkel mért tápelemek közötti összefüggést.

Ennek érdekében 2005-ben és 2006-ban tenyészedeny-kísérleteket állítottunk be, mindkét évben 30-30 talajjal. Ehhez tavasszal magyarországi termőhelyekről nagyobb mennyiségű talajmintákat gyűjtöttünk össze. A kiválasztásnál fontos szempont volt most is, hogy minél szélesebb tulajdonságú talajokat vonjunk be a kísérletekbe.

A tenyészedenyes kísérletekhez begyűjtött talajmintákat légszáraz állapotba hoztuk, aprítottuk, megszitáltuk, majd négy-négy ismétlésben a tenyészedenyekbe 2,5 kg talajt bemértük. Az edények száma így mindkét évben $30 \cdot 4 = 120$ volt. Kalcium-nitrát, illetve kálium-dihidrogén-foszfát és kálium-szulfát tartalmú oldatok hozzákeverésével megnöveltük a talajok tápanyagtartalmát. A nitrogénforrásként felhasznált kalcium-nitrát használatát két szempontból is indokoltnak tartjuk: egyrészt a kalcium-nitrát csírázás stimuláló hatású vegyület, másrészt a választott jelzőnövényünk, a lucerna közismerten kalcium igényes. Meghatároztuk a talajok gravitációval szembeni nedvesség visszatartó képességét, ezt az értéket tekintettük a talajok 100 %-os vízkapacitásának ($\text{VK} = 100 \%$). Az edényekben az egyes talajokat tömegre méréses módszerrel $\text{VK} = 75 \%$ -os nedvességi állapotig naponta öntöztük ioncserélt vízzel. Az edényekbe 0,5 g lucerna magot vetettünk. Vetőmagként a Dr. Vágó Mihály által nemesített „Kisvárdai homoki lucerna” fajtát választottuk, azzal a céllal, hogy a homoktalajokon is nagyobb eséllyel teremjen megfelelő mennyiségű lucerna száraztömeg. Az edényeket sínen mozgatható kocsikra helyezve éjszakánként és az esős napokon műanyag tető alatt tartottuk, a többi időben a szabadba toltuk ki. A lucerna növények vízfelhasználásából és a párolgásból adódó evapotranszpirációs vízvesztésüket az edények kiszámolt tömegre való öntözésével naponta pótoltuk. A fejlett növényállománynál, illetve a különösen forró napokon a tömegre öntözést naponta kétszer is elvégeztük. A termelt lucerna növényt két alkalommal vágtuk, edényenként meghatározva a termelt növény zöldtömegét és a szárazanyag-termelést.

A növényekkel végzett tenyészedeny-kísérleteknek tehát az volt a célja, hogy megmérjük a növények szárazanyagában a bórkoncentrációt és megállapítsuk, hogy az egyes extraháló szerekkel mért talaj bórtartalommal milyen mértékű a korreláció szorossága, illetve mely extrahálószerrel kivont bórtartalommal mutatkozik legszorosabbnak a korreláció.

A kapott korrelációs eredményeket az alábbi táblázatban láthatjuk:

Egy tényezős regresszió analízisek	r	r ²
Lucerna-B = 9,74 * forró víz-B + 19,33	0,754	0,569 ***
Lucerna-B = 14,73 * NaOAc-B + 21,42	0,729	0,531 ***
Lucerna-B = 12,54 * NaHCO ₃ -B + 19,42	0,110	0,012
Lucerna-B = 9,85 * forró CaCl ₂ -B + 19,94	0,749	0,561 ***
Lucerna-B = 13,01 * Lak-Erv-B + 24,83	0,708	0,501 ***
Lucerna-B = 28,46 * CaCl ₂ -mannit-B + 16,2	0,129	0,017
Lucerna-B = 19,54 * glicerín-B + 18,2	0,103	0,011
Lucerna-B = 15,02 * Na-szalíc-B + 20,1	0,298	0,089

Megállapítható, hogy a lucerna bórtartalma a legszorosabb összefüggést a talaj forró vízzel extrahálható bórkoncentrációjával mutatja. Gyakorlatilag ezzel azonos eredményt szolgáltat a forró 0,01 M CaCl₂ használata. Jól jellemzi a lucerna bórfelvételét mind az 1 M ammónium-acetát oldat (pH=4,8), mind pedig a Lakanen-Erviö extrahálószer (0,5 M ammónium-acetát + 0,02 M EDTA oldat; pH=4,65).

Miután a forró 0,01 M CaCl₂ oldat éppen annyira alkalmatlan a sorozatvizsgálatra, mint a forró víz, el kell tekintenünk attól, hogy ez szolgáltatta a forró vízzel a legszorosabb összefüggést. Felmerül az a kérdés is, hogy egyáltalán van-e értelme két eltérő módszerről beszélni, ha közöttük ilyen nagy a hasonlóság.

Végső következtetésként megállapítható, hogy a talajok mobilis bórkészletének a meghatározására mind az 1 M ammónium-acetát oldat (pH=4,8), mind pedig a Lakanen-Erviö extrahálószer (0,5 M ammónium-acetát + 0,02 M EDTA oldat; pH=4,65) eredményesen felhasználható..

Irodalomjegyzék:

AITKEN, R. L. - JEFFREY, A. J. - COPMTON, B.L. (1987): Evaluation of selected extractants for boron in some Queensland soils. Aust. J. Soil Res. 25, 263–273.

BERGER, K. C. – TRUOG, E. (1939): Boron determination in soils and plants. Ind. Eng. Chem. 11. 10. 540-545.

CARTWRIGHT, B. - TILLER, K. G. - ZARCINAS, B. A. - SPOUNCER, L. R. (1983): The chemical assessment of the boron status of soils. Aust. J. Soil Res., 21, 321–332.

GUPTA, S. K. – HÄNI, H. (1975): Response of spinach to applied boron in a boron deficient soil. Schweiz. Landw. Forschung, 14. 2-3. 153-169.

LAKANEN, E. - ERVIÖ, R. (1971): A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils. Acta Agric. Fenn. 123: 223-232.

VÁGÓ I. (1994): A talajok bórtartalmának és a növények bórfelvételének vizsgálata. Kandidátusi értekezés, Debrecen.