MAGYAR AGRÁR- ÉS ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

KÖRNYEZETTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA

A talajheterogenitás hatása potenciálisan toxikus elemek növényi felvételére

DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

DÁLNOKI ANNA BOGLÁRKA
Gödöllő
2021

A doktori iskola megnevezése:	Környezettudományi Doktori Iskola
tudományága:	Környezettudományok
vezetője:	Csákiné Dr. Michéli Erika Egyetemi tanár, Intézet igazgató, Tanszékvezető, MATE, Környezettudományi Intézet, Talajtani Tanszék, Környezettudományi Intézet
Témavezető:	Dr. Czinkota Imre Egyetemi docens MATE, Környezettudományi intézet, Talajtani Tanszék, Környezettudományi Intézet

....

Az iskolavezető jóváhagyása A témavezető jóváhagyása

A munka előzményei, a kitűzött célok

Potenciálisan toxikus elemeknek a periódusos rendszerben található elemek közül azokat nevezzük, melyeknek toxikus, illetve hasznos koncentrációja között igen kicsi a különbség, vagy egyáltalán nincs hasznos hatása az élő szervezetekben (Kádár 1993).

Mivel az emberi, illetve állati szervezet közvetlenül ritkán és csak rövid ideig érintkezik a talajjal, a potenciálisan toxikus elemek közvetlen felvétele a talajból az állati, illetve emberi szervezetbe nem számottevő (Kidd et al.2009). Az említett elemek biológiai körforgalomba jutása legnagyobb valószínűséggel a növényeken keresztül történik. Ennek oka, hogy a növények hosszú időn keresztül, közvetlenül és nagy gyökérfelületen érintkeznek a talajjal, azzal intenzív anyagcserében vannak és jelentős mennyiségű tápelemet illetve egyéb elemeket vesznek fel a talajból (Kádár 1993).

A növények elemfelvételét számos paraméter befolyásolja (Kabata-Pendias 2011). Jelenleg még nincs olyan jól használható, a növényi felvételt kellően jól modellező elmélet, amellyel kiszámíthatjuk, „megjósolhatjuk" a növények elemfelvételét. Ezért minden olyan kísérletileg szerzett információ hasznos, amely a potenciálisan toxikus elemek növényi felvételének megismerését elősegíti.

Mindezeket figyelembe véve a kutatásom egy heterogén táblán zajlott, amelynek több pontján vizsgáltam a potenciálisan toxikus elemek felvehetőségét úgy, hogy az egész táblán azonos kezeléseket és agrotechnikai beavatkozásokat végeztek. A heterogén táblákon végzett kísérletekkel nyert információk és adatok birtokában könnyebben megbecsülhető, hogy hogyan változik a különböző kitettségű, lejtésű, összetételű, tápanyag-szolgáltató képességű talajokon a potenciálisan toxikus elemek felvehetősége, azonos egyéb kezelés mellett.

Kitűzött célok:

- A statisztikai elemzések eredményei alapján azt szándékoztam megállapítani, hogy a talaj mért paraméterei hogyan befolyásolják a talajkivonatok elemkoncentrációit és a növények elemfelvételét.
- A vizsgálatok eredményei alapján következtetéseket kívántam levonni, hogy a potenciálisan toxikus elemek felvehetősége milyen kapcsolatban van a talaj mérhető paramétereivel, tápanyagellátásával abban az esetben, ha más külső feltételek adottak, vagyis a teljes táblán ugyanazokat a beavatkozásokat végeztük. Ezek alapján lehetőségünk lesz annak megállapítására, hogy a talajparaméterek változásai hogyan befolyásolják a potenciálisan toxikus elemek felvehetőségét.
- Mindezek mellett laboratóriumi kísérletekkel a talajba juttatott kemikáliák közül a kelátképző EDTA hatását vizsgáltam a potenciálisan káros elemek oldhatóságára és felvehetőségére.

Anyagok és módszerek

Jelen dolgozatban elsőként egy szántóföldi kísérlet és annak eredményi kerülnek bemutatásra, majd ezt követően egy laboratóriumi kísérlet adatainak elemzéséből származó eredmények láthatók. A szántóföldi kísérletre kiválasztott területet nemcsak a domborzati viszonyok és az ahhoz tartozó környezeti viszonyok (lejtőhatás) alakítják, hanem a vizsgálati területen 2 talajtípust is meg lehetet különböztetni. Mindezek mellett a laboratóriumi kísérlet során az alap talajvizsgálati paraméterek közti különbségek alapján választottam ki a három vizsgálati talajmintát.

Minden esetben történtek statisztikai elemzések, melyek segítségével következtetések vonhatók le a talajheterogenitás potenciálisan toxikus elemekre gyakorolt hatásáról.

Szántóföldi kísérlet

A kísérleti terület a dunaszekcsői DUNA GYÖNGYE 2000" Mezőgazdasági Zrt mezőgazdasági területe. A kísérleti területről a következő időpontokban vettem talaj- illetve növénymintákat:

- 2017. 11. 12.;
- 2018. 04. 23.;
- 2018. 06. 22.;
- 2018. 10. 12.;
- 2019. 03. 29.;
- 2019. 07. 10.

A növényminták esetében a kémiai elemzések elkészültek, azonban a kapott eredmények statisztikai elemzését követően a növényminták adataiból nem kerültek a dolgozatomba elemzések azok megbízhatatlansága miatt.

Minden esetben a felső szántott rétegből származnak a talajminták. A megvett mintákból a szükséges talajelőkészítés után meghatározásra került:

- Arany-féle kötöttségi szám,
- Mésztartalom % (Scheibler-féle kalciméterrel),
- Humusz % (Tyurin-módszer),
- Vezetőképesség,
- pH érték (vizes és KCl-lel készült talajszuszpenzióból) (Buzás, 1988),
- Összes nitrogén ezen belül pedig a NO_3^- és NH_4^+ koncentrációk (Parnas-Wagner vízgőzdesztillációval) és
- Könnyen oldódó P_2O_5 és K_2O tartalom ammónium-laktátos oldatból (Egner et al. 1960; Sarkadi et al. 1965).

Mindezek mellett a minták 2 M-os HNO_3-as kivonatából a következő elemek koncentrációját vizsgáltam meg: Sr, Fe, K, Al, Zn, Cd, V, Ba, Cu, Co, Y, Li, Rb, Cr, Na, Ca, Mg, As. (Száková et al., 2009; Hooda, 2010)

Laboratóriumi kísérlet

Kísérleteimben három különböző kötöttségű, ezzel párhuzamosan eltérő adszorpciós képességű talajtípuson vizsgáltam az Na-EDTA hatását 15 potenciálisan toxikus elem mobilizálhatóságára.

A vizsgálatok beállítását megelőzően a kísérleti talajokból megfelelő előkészítés után 0,5 - 0,5 kg-ot mértem ki, majd a talajok 100%-os víztelítettséggel érlelődtek 2 héten keresztül állandó szobahőmérsékleten. A kontroll talajok esetében a nedvesítés desztillált vízzel, míg a mesterségesen elszennyezett talajok esetében az adott potenciálisan toxikus elem 100 mg/kg-os oldatával történt. Ehhez az oldat 1000 mg/l-es potenciálisan toxikus elem koncentrációjú törzsoldatból készült. A törzsoldat tartalmazta az előzetesen meghatározott elemek könnyen oldódó sóit. Ezek közé tartoznak a NO_3^- és a Cl^- sók.

Felhasznált vegyszerek:

$Co(NO_3)_2*6\ H_2O$,	$Cd(NO_3)_2 * 4\ H_2O$,	$Pb(NO_3)_2$,
$BaCl_2*2\ H_2O$,	$AlCl_3 * 6\ H_2O$,	$ZnCl_2$,
$FeCl_2*4\ H_2O$,	$Cr(NO_3)_2 * 9\ H_2O$,	$Ni(NO_3)_2 * 6\ H_2O$,
$SrCl_2*6\ H_2O$,	$Cu(NO_3)_2 * 3\ H_2O$,	$MnCl_2 * 4\ H_2O$,
$Sn_2Cl_2*2\ H_2O$,	$CaCl_2$,	$Mg(NO_3)_2 * 6\ H_2O$,

Az érlelést követően a feltört és átszitált talajokból bemérésre került 2-2 g centrifugacsövekbe, majd 20-20 ml került a mintákra a megfelelő EDTA koncentrációjú oldatból. Az EDTA kivonószer hatásának vizsgálata 8 különböző koncentrációs szinten történt, melyek a következő koncentrációkat jelentették: 0; 1; 5; 10; 50; 100; 500; 1000 mg/l. Ezek a koncentrációk 1:10 aránynál (1 g talajhoz 10 ml megfelelő koncentrációjú kivonószer) 0; 10; 50; 100; 500; 1000; 5000; 10000 mg/kg-os koncentrációt jelentettek a talajokra.

Mindezek mellett a magas mész tartalmú talajok esetében a potenciálisan toxikus elemek mennyiségének meghatározásában problémák merülhetnek fel a mész és az EDTA reakciója révén, azaz az oldódó kalcium ionok az EDTA molekulákkal komplexet képeznek és kompetíció alakulhat ki a vizsgált potenciálisan káros elem és a kalcium ionok között. Ezt kiküszöbölendően (a pH beállítása érdekében) a talajoldatokhoz szódabikarbóna adagolása történt ($pH \geq 8$). Ezt követően a talajkivonat potenciálisan toxikus elem koncentrációi 4210 MP-AES Mikrohullámú Plazma Atomemissziós Spektrométerrel kerültek meghatározásra.

A kísérletből származó adatok elemzése mellett a VisualMinteq3.1 termodinamikai modellező program segítségével az EDTA potenciálisan toxikus elemekre gyakorolt oldhatóságot befolyásoló hatása modellezhető. A modellszámításoknál az az egyensúlyi állapot feltételezhető, hogy a talajszemcsék felületéről minden anyag az oldatba került, majd ebből csapadék képződik oldhatatlan formában. Vagyis az EDTA hatására a modellből származó adatoktól kisebb oldatkoncentrációk alakulnak ki az oldatban.

Adatok kiértékelésének módszerei

A kísérletek alatt gyűjtött adatokat elsőként varianciaanalízis segítségével elemeztem, mely vizsgálatok alapján az adatcsoportoktól eltérő vagy kiugró értékeket tudtam kiszűrni. Mindezek mellett az elemzés segített megállapítani, hogy az egyes csoportok milyen mértékben különböznek egymástól. Ebben az esetben az idő és egyes potenciálisan toxikus elemek csoportjait vizsgálatam. A varianciaanalízis eredménye esetében az elemek mintavételi idő szerint tovább csoportosíthatónak bizonyultak, ezért elsőként lineáris regresszióval végeztem a további elemzéseket. A laboratóriumi kísérlet esetében a lineáris regresszió elégnek bizonyult, mivel a kísérlet beállításainak köszönhetően az egyes talajparaméterek potenciálisan toxikus elem visszatartó képessége elhanyagolhatóvá vált, továbbá a talajokhoz adott mesterséges szennyezés esetében az elemkoncentrációk ismertek és azonosak voltak, melyek hatására a talajoldatokban az egyes elemek mennyisége azonos változást mutatott a kezelések hatására. A szántóföldi kísérlet esetében szintén elvégeztem a lineáris regressziót. Azonban a talaj és környezeti hatásoknak, valamint az elemtartalmak különbségeinek köszönhetően a vizsgált összefüggések nem minden esetben mutattak lineáris összefüggést. Ezt kezelendő, SPSS program segítségével rang korrelációt végeztem az adatokkal, melyek idő szerint voltak csoportosítva. A csoportosítás szükségességét az évenkénti és évszakonkénti különbségek indokolták, továbbá a varianciaanalízis alapján elmondható volt a műtrágyázás befolyásoló hatása is.

Utolsó elemzéstípusom a klaszter analízis, melyet csak a szántóföldi kísérleti eredményeken végeztem el. Az elemzés szükségességét az egyes potenciálisan toxikus elemtartalmak mintavételi pont szerinti eloszlásai indokolták.

Eredmények értékelése

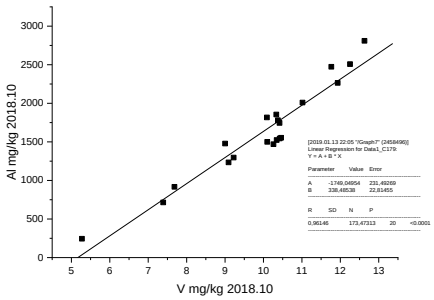
Szántóföldi kísérletből származó eredmények

Klaszteranalízis

A klaszterelemzés eredményeként megállapítható volt, hogy a dombtetőkön viszonylag gyenge eróziós erők vannak, melyek hatására a talajképző folyamatok túlsúlyba kerültek, vagyis a talajképződés sebessége nagyobb, mint a talajpusztulásén (3. klaszter). Ezzel szemben a „közepes magasságokon”, melyek a lejtők és emelkedők, az eróziós folyamatok dominálnak és a meszes altalaj felszínre került (2. klaszter). Az utolsó kategória az eróziós bázisok, melyekbe a lejtőkről származó talajrészek kerültek és ezek mésztartalma elkezdett felhalmozódni (1. klaszter).

Lineárisregresszióanalízis

A kémiai analízisből származó alap talajparaméterek és a potenciálisan toxikus elemek koncentrációs értékei közötti összefüggéseket korrelációs mátrix segítségével vizsgáltam, mely korrelációs mátrix lineáris regresszión alapult.

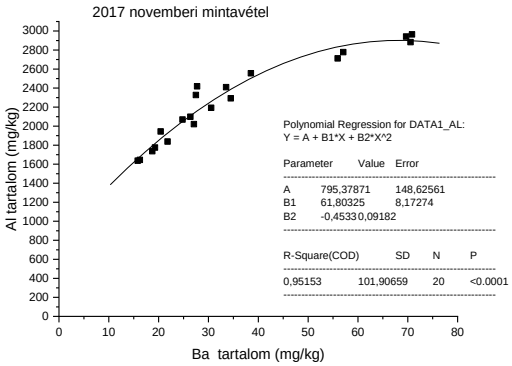


1. ábra. 2018 októberében vett talajminta Al és V koncentrációinak összefüggése.

A 1. ábra a 2018 októberében vett talajminta Al és V koncentrációinak lineáris összefüggését mutatja. A két elem koncentrációja egyenes arányosságban áll egymással, miszerint a magasabb V tartalmú talajmintákban az Al mennyisége is magas volt. A mért eredményekre illesztett egyenes determinációs koefficiense 0,96. Ez azzal magyarázható, hogy a háromértékű Al^{3+} és V^{3+} ionok kémiailag hasonlóan viselkednek egymáshoz mind szorpciós, mind komplex képzési tulajdonságaikban.

Az összefüggések elemzésének második lépéseként a nem lineáris kapcsolatokat más függvényekkel is jellemeztük. Erre kiváló példa a fentiekben említett 2017-es évben vett talajminták Ba és Al tartalma. A 2. ábrán látható, hogy az adott paraméterek adataira illesztett másodfokú

függvény jobban illeszkedik az adatokra, itt a determinációs koefficiens R^2 = 0,95. Ebben az esetben az alacsonyabb koncentrációknál nagyobb meredekség jellemzi az összefüggést, mint nagyobb koncentrációknál, ennek oka a többi paraméterben keresendő, azonban jelen munkában nem vizsgáltam alaposabban az okokat, megmaradtam a jelenség leírásánál.



2. ábra. 2017 októberében vett talajminta Ba és Al koncentrációinak polinomiális összefüggése.

A nem lineáris összefüggések vizsgálatát rangkorrelációval végeztem az egyes mintavételi időpontokban. A rangkorreláció a valószínűségi változók közötti kapcsolatot vizsgálja monoton függvény alapján az adatok eloszlását figyelmen kívül hagyva. A dolgozatomban a Sperman-rhó rangkorrelációs együtthatót használtam az SPSS program segítségével.

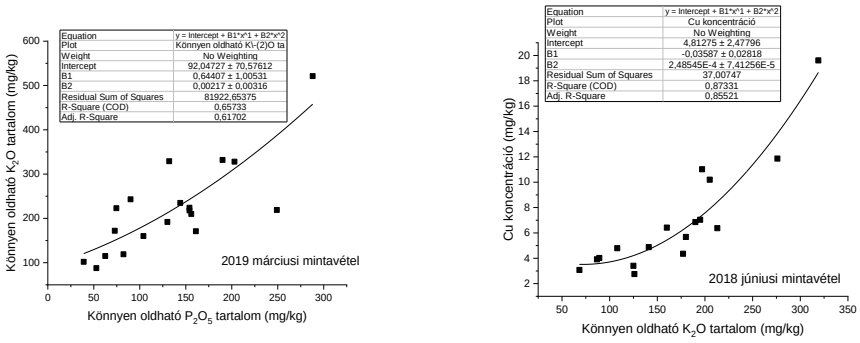
Rangkorreláció

Az értékelésnél nem vettem figyelembe a monotonitást, mivel csak a különböző paraméterek összefüggéseinek meglétét figyeltem. Az adatok minden esetben a $P > 0,01$ hibavalószínűséggel korreláltak egymással. A korrelációs táblázatokban szereplő korrelációs együtthatókat átlagoltam a különböző időpontokban vett minták vizsgálati paramétereik összefüggésének és az összefüggés ismétlődésének jellemzésére.

Összefüggést találtam a talajok pH értékei és a mésztartalmak és a szervesanyag-tartalomnak között. A talaj mésztartalma a talaj pH értékének növekedéséhez vezet oly módon, hogy a $CaCO_3$ oldódása és disszociációja során H^+ ionok kötődnek meg (Fekete 1958). Mindezek által kijelenthető, hogy a magasabb mésztartalommal rendelkező talajok esetében a pH érték is ezzel arányosan növekszik. Mindezek mellett szeretném kiemelni, hogy a pH érték és a talajok humusz-tartalmának összefüggése az erózióval kapcsolható össze, amikor is a talajok szervesanyag készlete gyorsabban pusztul, mint ahogy képződik. Ekkor a meszes talajok pH értéke növekedik, míg a

humusztartalom lecsökken, vagyis a két vizsgált paraméter között fordított arányosság áll fenn.

A rang korreláció gyenge kapcsolatot mutatott a talaj különböző nitrogénformái között. Mindezek mellett a nitrogénformák a már vizsgált paraméterekkel sem mutattak szoros összefüggést, mely a műtrágyahasználat következménye, hiszen a nitrogén az adott növénykultúra igényeinek megfelelően a folyamatosan pótolt elemek közé tartozik. Ez a könnyen oldható káliumra és foszforra is igaz, azonban ezen elemek esetében már láthatók összefüggések (R^2 = 0,6-0,8). Mint a 3. ábrán is látható, különösen erős kapcsolat (R^2 = 0,86) van a könnyen oldható kálium és a talajok Cu tartalma között.



3. ábra. A talajok könnyen oldható K_2O, P_2O_5 és Cu tartalmának kapcsolata.

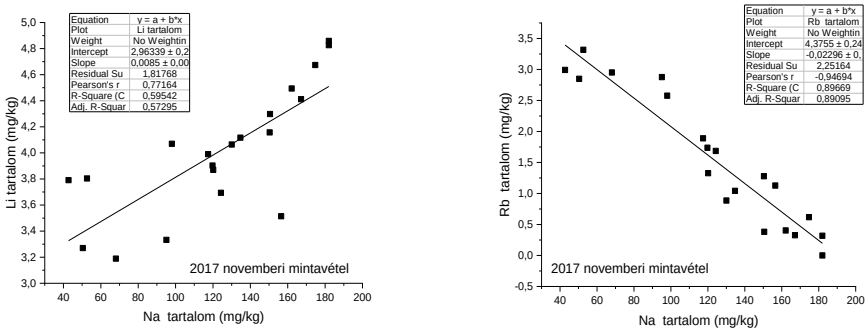
Az összefüggések nem lineáris kapcsolata ebben az esetben már könnyebben indokolhatók, mivel ezek a vizsgált paraméterek különböző töltésekkel rendelkeznek, melyek hatására az általuk alkotott molekulákban más mennyiségi arányban vesznek részt. Erre igen jó példa a K^+, mint egyszeresen pozitív töltésű ion és a Cu^{2+}, mint kétszeresen pozitív töltésű ion.

A talajok potenciálisan toxikus elem koncentrációi között elvégzett rang a következő esetekben mutatott szoros kapcsolatot (3. ábra).

Ca, Mg, Ba és Sr elemtartalmak között szoros, 0,8 feletti a determinációs koefficiens, továbbá a mintavételekből csupán a 4. mintavételi Ba és az 5. mintavétel esetén a Ca koncentrációi nem mutattak kapcsolatot. Ez a szoros kapcsolat ezen elemek hasonló kémiai viselkedésének köszönhető (mindegyik elem az alkáliföldfémek csoportjába tartozik), továbbá a magas mészt-artalommal, mely hatására ezek az elemek esetlegesen nagyobb koncentrációban vannak jelen a vizsgálati talajok esetében, mint a mészben szegény talajok esetében.

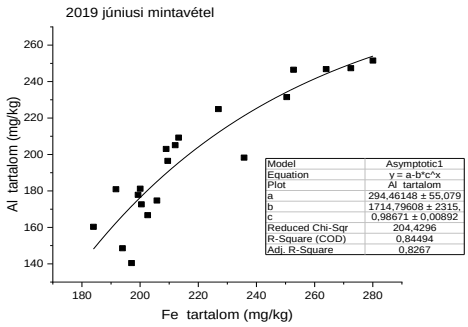
Az 1-3 mintavételi időpontból származó minták esetében kapcsolatot találtam a Na, Li és Rb elemek koncentrációi között (4. ábra). Ezek az alkálifémek nagyfokú kémiai hasonlóságot mutatnak egymással,

gyakorlatilag az összes sójuk oldható és adszorpciójuk is kismértékű a talajkolloidokon. A kapcsolatok determinációs koefficiense jellemzően 0,6-0,8 közötti értékek.



4. ábra. A talajok Na, Li és Ru tartalmának kapcsolata.

Az Al a Fe és a pH értékek közötti kapcsolat ezen elemek oldhatóságát mutatják, amikor is az Al és a Fe savas közegben található meg az oldatban, így a pH emelkedésével ezen elemek koncentrációja lecsökken a talajoldatban. Ekkor viszont kompetíció alakul ki az elemek között és a talajfelületéről leszorítják a H^+ ionokat (pH emelkedése) vagy csapadék formájában jelennek meg ezen kationok.



5. ábra. A talajok Fe és Al koncentrációjának kapcsolata.

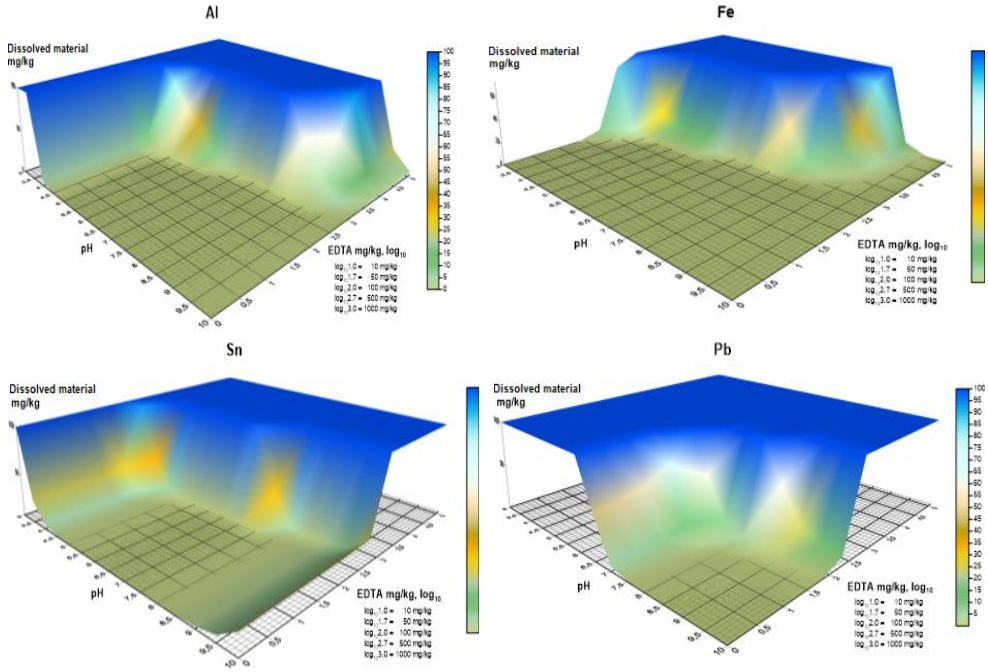
A 5. ábrán szereplő adatok esetében egy telítési görbe látható melynek illeszkedése $R^2 = 0,83$.

A telítési görbe alapján a rang korrelációt alkalmazva szorosabb összefüggés állapítható meg a két vizsgált paraméter között. Mindezeket figyelembe véve a vizsgált paraméterek esetében megállapítható, hogy a lineáris összefüggés alkalmazása nem célravezető, továbbá megtévesztő eredményeket produkálhat. Ezért ezekben az esetekben a rang korreláció alkalmazása a javasolt.

Mindezek mellett a korrelációs táblázatok alapján kijelenthető, hogy szoros kapcsolat van a mésztartalom/Ca^{2+} ion koncentráció a magnézium koncentráció és az alábbi elemek között: Al, V, Co, Y, Cr, Na, V, Fe és Co.

Laboratóriumi kísérletből származó eredmények

Alumínium, vas, ón és ólom eredményeinek bemutatása

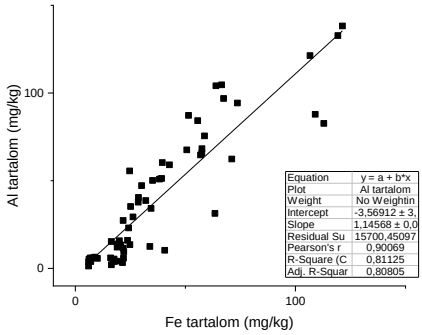


6. ábra. Az Al, Fe és Sn oldhatóságának 3D-s modellezett diagramja a pH és az EDTA koncentráció függvényében.

A modellezésből származó eredmények háromdimenziós ábrákon szerepelnek, ahol az x tengely az EDTA koncentráció logaritmusát, az y tengely a pH értékeket mutatja be és a z tengely a számított fémion koncentrációt ábrázolja (6. ábra).

A 3D-s ábrákon az Al, Fe, Sn és Pb modellezett oldhatósági értékei szerepelnek. Az ábrákról leolvasható, hogy mind a 4 elem esetében a csak alacsony pH érték esetén vagy magas EDTA koncentrációnál vannak jelen az oldatban az adott potenciálisan toxikus anyagok. Ez az eredmény nagy hasonlóságot mutat a különböző elemek pH értéktől való függésével, ahol a 3 elem nagyságrendileg azonos pH érték mellett mobilizálódik a talajban (Papp 2011).

A Fe és Al mért adatait ábrázolva hasonló lefutású görbéket kaptunk (7. ábra). Ekkor mindegyik típusú és kezelésű vizsgálati talajon hasonló koncentrációs növekedés volt látható adott EDTA koncentráció mellett. A mérési adatokkal elvégzett lineáris regresszió eredményeként elmondható, hogy 9 esetben a 12-ből a Fe és az Al determinációs koefficiense magasabb, mint 0,9, vagyis a két elem között erős kapcsolat van.



7. ábra. A kontroll és kezelt talajok Al és Fe tartalmának lineáris kapcsolata.

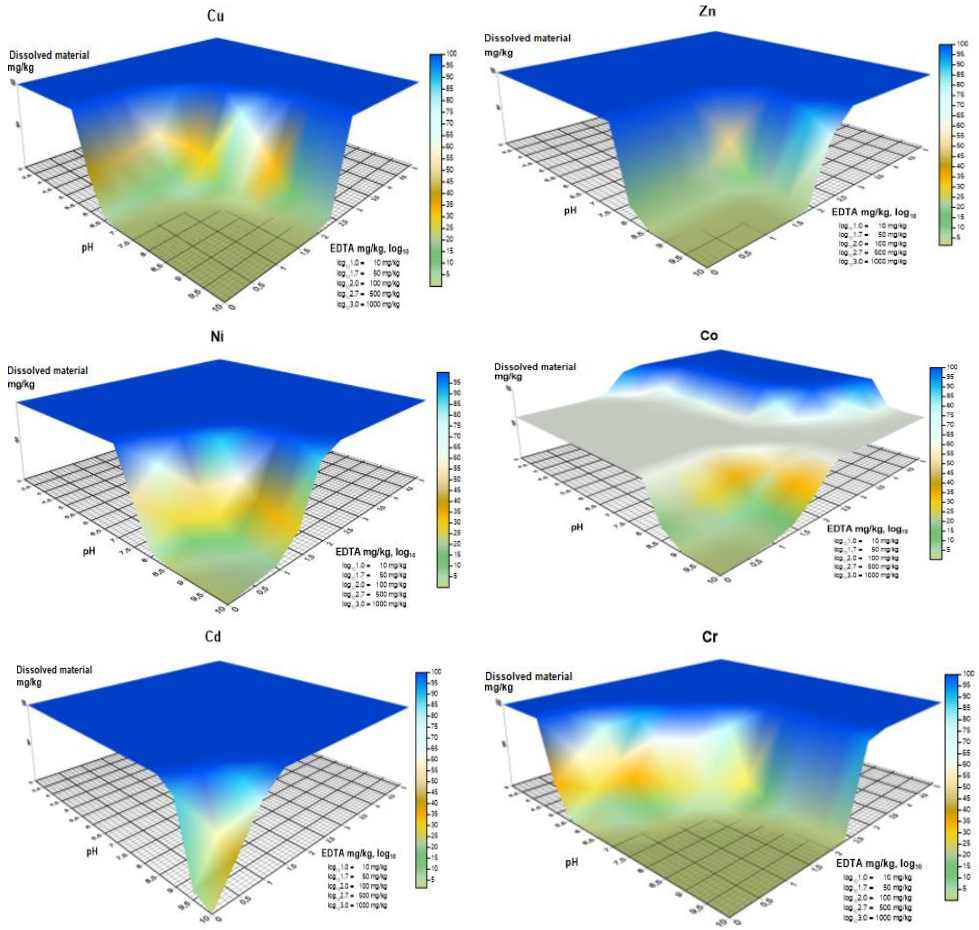
Az Pb és Al kapcsolata (8. ábra) hasonlóan alakult, miszerint a determinációs koefficiens 0,62-0,99 is terjed szintén 9 esetben és a Fe és a Pb kapcsolatánál 8 esetben volt 0,7-0,99 között a determinációs koefficiens. Azonban az Al és az Pb koncentrációkat egy koordinátarendszerben ábrázolva láthatóvá válik, hogy a kapcsolat minden esetben egy kiugró érték miatt feltételezhető.

Mindezek mellett a későbbiekben bemutatott Cu, Ni és Co ionkoncentrációk is kapcsolatot mutatnak a Fe mennyiségekkel, azonban ez csak a mesterségesen elszennyezett talajok esetében igaz (R^2 = 0,62-0,99).

A mért Sn értékek a méréshatáron mozogtak, mely következtében (maximálisan mért Sn koncentráció 4,67 mg/kg volt) bizonytalannak mondhatók. Ezt támasztja alá a magas szórásértékek is

Koncentrációváltozás hiányát tapasztaltam a Mg esetében, ahol a vizsgált talajok és kezelések nem okoztak változást a kezdeti értékekhez képest. A korrelációs mátrixok alapján továbbá megállapítható, hogy a Mg csupán csak az esetek 41%-ban mutatta a legszorosabb kapcsolatot (R^2 = 0,72-0,97) a Fe-vel.

Réz, cink, nikkel, kobalt, kadmium és króm eredményeinek ismertetése

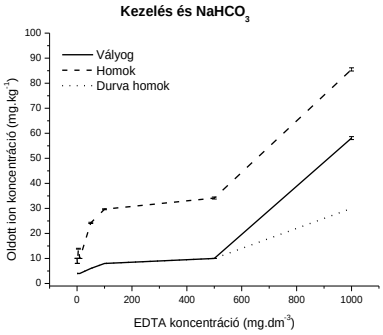


9. ábra. Az cink, nikkel és kobalt oldhatóságának 3D-s modellezett diagramja a pH és az EDTA koncentráció függvényében.

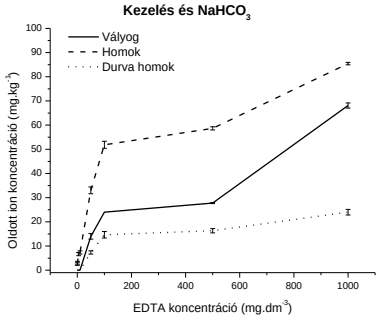
A modelleredmények 3D-s ábrái alapján megállapítható, hogy a Cu, Zn, Ni, Cd, Cr és Co oldhatósága nagymértékben különbözik egymástól (9. ábra). Kifejezetten különböző a kobalt esetében a lépcsős modell, miszerint a pH érték és EDTA koncentrációktól függetlenül egy jelentős tartományban nem jelenik meg a talajoldatban nagy koncentrációban a Co^{2+} ion. Ezzel szemben a Zn, Cu, Cd, Cr és a Ni esetében nem látható lépcsőzetes oldhatóság. Mindezek mellett mind a kadmium kivételével a Cu, Zn, Cr, és Ni potenciálisan toxikus elemek hasonló tartományban - igen magas pH érték esetén (pH 9 körül) és jelentősen alacsony EDTA koncentráció mellett – képez csak oldhatatlan csapadékot. A kadmium a modelleredmények alapján csak nagyon szűk EDTA és pH tartományban válik oldhatatlan csapadékká, mely a környezeti terhelés szempontjából nem kedvező tulajdonság.

A mért eredmények azonos EDTA koncentráció mellett azonos koncentrációs változásokat mutatnak, melyet a lineáris regresszióval

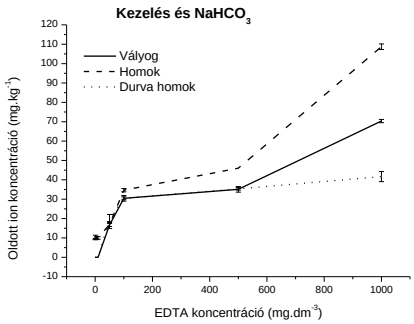
igazoltam. Azonban ezeknél az elemeknél megfigyelhető összefüggések csak a mesterségesen elszennyezett talajok esetében figyelhetők meg, mivel az eredeti kontroll talajok esetében ezen potenciálisan toxikus elemek koncentrációi nagyon alacsonyak voltak. Mindezek mellett a különböző koncentrációkat vizsgálva megállapítható, hogy az oldatokhoz adott szódabikarbóna ezeknek az elemeknek az oldhatóságát lecsökkentette. Ez azt jelenti, hogy a $NaHCO_3$ és mesterséges szennyezés esetében talált összefüggések hasonlóak az elszennyezett talajoldatok eredményeihez, azonban a kisebb koncentrációk miatt esetenként a mérés bizonytalansága is szerepet játszhat az adatokban.



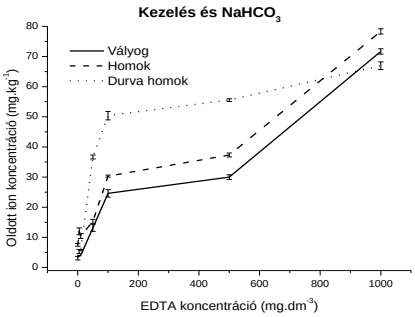
Ni



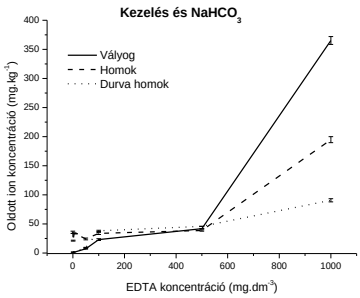
Co



Zn



Cu



Mn

10. ábra. A Ni, a Co, a Zn, a Cu és a Mn mérési eredményei

A kísérleti eredmények alapján megállapítható, hogy a nikkel, kobalt, cink, Cu és Mn nagyságrendileg azonos EDTA koncentráció és pH érték mellett mobilizálódhatnak a környezetben. Ezt támasztja alá a lineáris regresszió is miszerint a felsorolt 5 elemközt kapcsolat áll fenn (kezelt talajminták esetén) és ezen esetekben a determinációs koefficiens magasabb volt mint 0,8. A modellezett értékek között szereplő kadmium és króm mérési eredménye a nullához közelítenek, így ezeknek az elemeknek a koncentrációi nem kerülte elemzésre.

A Cr-hoz és Cd-hoz hasonlóan más elemeknél sem volt tapasztalható az egyes kezelések függvényében bekövetkező változás. Ezek közé az elemek közé tartozik a Sr és a Ba is. A Sr és a Ba hidroxidja igen erős bázis, ezért erős savval képzett sóinak oldódásakor nem jellemző a hidrolízis jelensége, vagyis az oldatban ezek a kationok nem reagálnak jelentős mértékben az oldatban található hidroxid ionokkal. Ebből következik, hogy az oldat OH^- ion koncentrációjának változása (ezzel a pH változása, illetve bázikus pufferelés) nem változtatja meg számottevően az oldatbelei fémion koncentrációt.

Új tudományos eredmények

1. Klaszter analízis és varianciaanalízis kombinációjának alkalmazásával sikerült olyan paramétereket találni a vizsgált területen, melyeken hasonló módon viselkedik sok vizsgált potenciálisan toxikus elem. Így beazonosíthatóvá vált például az erózió, mely jelentős hatással van sok potenciálisan toxikus elem mobilizálhatóságára.
2. A mért eredmények vizsgálati eredményeit összehasonlítva sokféle típusú összefüggést találtam az egyes vizsgált elemkoncentrációk között, ezért a Spearman féle rang korrelációs vizsgálatokat alkalmaztam az egyes vizsgált elemkoncentrációk egymáshoz képest monoton változásának megállapítására. Ezzel a megoldással egymástól nagyon eltérő típusú összefüggéseket is sikerült azonosítani. Mivel az ezek az összefüggések lineáris kapcsolattal nem minden esetben írhatók le, ezért alkalmaztam rang korrelációt.
3. A vizsgált potenciálisan toxikus elem koncentrációk alapján számos kémiai, és geokémiai tulajdonságot azonosítottam, melyek alapján típusokra oszthatók a potenciálisan toxikus elemek a talajban észlelhető mobilizálhatóság alapján. Ilyen pl., alkáli, alkáliföldfémek, hármas töltésű elemek hasonló viselkedése.
4. Vizsgálataimban termodinamikai modellezéssel meghatároztam a pH és EDTA koncentráció hatását a potenciálisan toxikus elemek oldhatóságára. Három jellemző talajtípuson, és két különböző pH értékre pufferelt rendszerekben vizsgáltam az oldható potenciálisan toxikus elem koncentrációkat, ebből tényleges mérési adatokat szolgáltattam az EDTA mobilizáló hatásáról eltérő típusú és pH-jú talajokon.

Következtetések, javaslatok

Jelen disszertáció két típusú (szántóföldi és laboratóriumi) vizsgálatot tartalmaz, mely kezelések és kísérletek során adott talajokra jellemző specifikus összefüggések kerültek megállapításra.

A szántóföldi kísérletből származó adatok és azok értékelése elsőként varianciaanalízissel kezdődött, mely eredményeként megállapítható volt, hogy az egyes vizsgált paraméterek esetén mely minták esetében voltak szignifikáns különbségek. Az adatokat táblázatba rendezve és kiemelve a szignifikáns különbségeket láthatóvá vált, hogy egyes talajparaméterek és mintapontok esetében kapcsolat feltételezhető, ezért az rendelkezésre álló adatokból SPSS program segítségével elkészítettem azok klaszterelemzését.

A klaszterelemzés során felhasználtam a varianciaanalízisből származó alapos megfontoláson alapuló tapasztalatot, miszerint a talajok mésztartalma jelentős hatást gyakorol az egyes vizsgált talajparaméterekre. Ezért az adatok csoportokba történő rendezésekor a mésztartalom vált meghatározóvá. Azonban a terület domborzati viszonyai a mésztartalomra jelentős hatás gyakoroltak, miszerint az eróziós folyamatok a dombtetőkön nagyságrendileg azonos arányban játszottak szerepet, mint a talajképző folyamatok. Ezzel szemben a lejtőkön jelentkező eróziós erők a talajfelszín völgyi rezervoárokba történő szállítását eredményezték. Ekkor a lejtőkön a feltalaj elmozdult és szabaddá vált a nagyobb mésztartalmú altalaj, továbbá a völgyekben. Ezért az klaszterelemzés során a figyelembe vettem tengerszint feletti magasságot és a mésztartalmat. Ekkor eredményül kaptam az ideális klaszterszámot, mely segítségével az összes vizsgálati paramétert felosztottam 3 csoportba, majd a csoportokat ANOVA statisztikai elemzésnek vetettem alá. Ekkor láthatóvá vált, hogy a 3 csoport nem minden esetben fedi a valóságot, miszerint az esetek egy részében a csoportok között nem találtam szignifikáns különbséget. Ezért az SPSS segítségével újabb klaszteranalízist végezetem, mely vizsgálatkor túlnyomó részben 2 csoportra oszlottak az adatok. Ekkor már szignifikáns különbségek voltak észlelhetők a csoportok között, továbbá a csoportokon belül az adatok között továbbra sem fordult elő jelentős különbség. Ezen összefüggések alapján megállapítható, hogy a mésztartalomnak jelentős hatása van az egyes potenciálisan toxikus elemek mennyiségére, azonban nem olyan mértékben, hogy a legkisebb mésztartalom változás indikátorává váljon az egyes potenciálisan toxikus elemek különböző koncentrációjának.

Mindezeket figyelembe véve a továbbiakban a mért talajparamétereket egymással is összevetettem elsőként lineáris regresszióval. A regresszió elvégzése után a kapott összefüggéseket ábrázolva láthatóvá vált, hogy nem minden esetben lineáris a kapcsolat az egyes talajparaméterek között. Ekkor szintén az SPSS program segítségével elkészítettem az adatok rang korrelációs tábláját a különböző mintaidőpontokban vett minták

különválasztásával. Erre az előzőekben említett műszaki problémák késztettek, továbbá az emberi hatások mellett az évenkénti más-más időjárási viszonyok miatt is szükség volt. A rang korreláció eredményeként megállapítható volt az egyes elemek koncentrációinak összefüggése. Azonban ahhoz, hogy ezek az összefüggések a későbbiekben felhasználhatóak legyenek további mintavétek és vizsgálatok szükségesek, melyek alátámaszthatják és kiegészíthetik a dolgozatban szereplő megállapításokat.

Hasonló összefüggéskeresés történt a laboratóriumi kísérlet során is, mely a környezetbe kikerülő EDTA hatását volt hivatott prezentálni ismert körülmények között. Az EDTA mint potenciálisan toxikus elem mobilizáló hatása miatt szükséges vizsgálati anyag. A laboratóriumi kísérlet során három típusú talajmintát – melyek fizikai tulajdonságaikban különböztek egymástól – azonos kezeléseknek vetettem alá, mely hatására összehasonlíthatóvá váltak az egyes alaptalajparaméterek potenciálisan toxikus elemek mobilizálhatóságára gyakorolt hatása. Mindezek mellett az egyes elemek koncentrációit is megvizsgáltam lineáris regresszióval, mely eredményéül hasonló összefüggéseket kaptam, mint a szántóföldi kísérletből származó talajok adatainak kapcsolata.

Ahhoz, hogy messzemenő következtetések kerüljenek levonásra további kísérletek szükségesek más talajtípusok bevonásával és más szántóföldi terület bevonása is szükséges lenne, melyet folyamatosan több éves vizsgálat alá kellene vetni. Az így gyűjtött adatok segítségével nemcsak a klimatikus tényezők hatása lehetne előrejelezhető, hanem az esetleges mikroelem utánpótlásban is segítséget lehet nyújtani.

Publikációk jegyzéke

1. Tudományos folyóiratokban megjelent (közlésre elfogadott), lektorált, teljes szövegű tudományos közlemény

1.1. Idegen nyelvű, impakt faktoros folyóiratban (WEB OF SCIENCE szerint):

1.1.1. Hazai kiadású

1.1.2. Külföldi kiadású

Czinkota, Imre; Filep, Tibor; Rétháti, Gabriella; Tolner, László; Gulyás, Miklós; Sebők, András; **Dálnoki, Boglárka**. (2021). Derivation and application of a generalised exchange-adsorption isotherm for the adsorption of hydrophobic compounds on soils. SOIL AND WATER RESEARCH 16:2 pp. 67-73. **(18 pont)**

1.2. Idegen nyelvű, nem impakt faktoros folyóiratban

1.2.1. Hazai kiadású

1.2.2. Külföldi kiadású

1.3. Magyar nyelvű, nem impakt faktoros hazai folyóiratban

SEBŐK, András; CZINKOTA, Imre; NYIRI, Balázs; BOSNYÁKOVICS, Gabriella; GULYÁS, Miklós; **DÁLNOKI, Anna Boglárka** (2018). A talaj szervesanyag minőségének vizsgálata UV-VIS spektrumban – az Exponenciális Illesztés Módszere (EFA). NÖVÉNYTERMELÉS 67: 4 pp. 59-71. **(5 pont)**

2. Szakmai folyóiratokban megjelent (közlésre elfogadott), teljes szövegű szakmai, népszerűsítő közlemény, tanulmány

2.1. Szakmai folyóiratban megjelent közlemény

2.2. Népszerűsítő folyóiratban megjelent közlemény

3. Lektorált könyv/jegyzet (részlet) (nyomtatott formában v. elektronikus adathordozón), népszerűsítő könyv

3.1. Könyvírás, idegen nyelvű

3.2. Könyvírás, magyar nyelvű

3.3 Könyvszerkesztés, nemzetközi (idegen nyelvű)

3.4. Könyvszerkesztés, hazai (magyar nyelvű)

3.5. Jegyzetírás, egyetemi / főiskolai jegyzet (idegen nyelvű)

3.6.Jegyzetírás, egyetem, főiskolai jegyzet (magyar nyelvű)

3.7.Jegyzet szerkesztés

3.8. Népszerűsítő könyv

4. Kongresszusi kiadványokban megjelent közlemények (nyomtatott formában v. elektronikus adathordozón – kizárólag az ISBN, ISSN vagy más, hitelesített kiadványaira vonatkozóan)

4.1. Teljes szövegű közlemény, alkalmi (nem periodika jellegű) kongresszusi kiadványban, idegen nyelven, lektorált formában megjelentetve:

Boglárka, Anna Dálnoki; András, Sebők; János, Grósz; Gabriella, Rétháti; László, Tolner. (2018). Rapid bioteszt for fertiliser's effects. In: Zoltán, Kende (szerk.) 17th Alps-Adria Scientific Workshop : Abstract book. Gödöllő, Magyarország : Szent István Egyetem Egyetemi Kiadó 172 p. pp. 138-139. **(5 pont)**

4.2. Teljes szövegű közlemény, alkalmi (nem periodika jellegű) kongresszusi kiadványban, magyar nyelven, lektorált formában megjelentetve

Dálnoki, Anna Boglárka; Huszár, Szilvia; Sebők, András; Fekete, György; Czinkota, Imre (2017). Talaj és növény beltartalmi paramétereinek változása trágyakazelések hatására. TALAJVÉDELEM Különszám 2017 pp. 363-370. **(3 pont)**

Sebők, András; Czinkota, Imre; Fekete, György; **Dálnoki, Anna Boglárka**; Grósz, János (2017). Humuszoldat adszorpciós és deszorpciós kinetikájának meghatározása homokos talajon oszlopkísérlet segítségével. TALAJVÉDELEM Különszám 2017 pp. 251-260. **(3 pont)**

Dálnoki Anna Boglárka; Sebők András; Grósz János; Borka György; Rétháti Gabriella; Tolner László; Czinkota Imre. (2018). Sertéshígtrágya hatásának vizsgálata a növényi tömegre gyors tenyészedény kísérletben. In (szerk) Füleky GyörgymXIV. Kárpát-medencei környezettudományi konferencia Gödöllő, Magyarország: MAG Mezőgazdaságért Alapítvány. pp. 77-81 **(3 pont)**

András, Sebők; Imre, Czinkota; **Boglárka, Anna Dálnoki**; István, Waltner; János, Grósz (2019). Long-term reduction effects to the extractable soil chemicals. In: Jakab, Gusztáv; Csengeri, Erzsébet (szerk.) XXI. Századi vízgazdálkodás a tudományok metszéspontjában : II. Víztudományi Nemzetközi Konferencia. Szarvas, Magyarország : Szent István Egyetem Agrár- és Gazdaságtudományi Kar (2019) 380 p. pp. 349-355. **(3 pont)**

Dálnoki, Anna Boglárka; Rózsa, László; Borka, György, Balogh, Eszter Erika; Rétháti, Gabriella; Czinkota, Imre (2019). Potenciálisan toxikus elemek megkötésének vizsgálata adszorpciós izotermával és spektrofotométeres

méréssel. In: Bihari, Erika; Molnár, Dániel; Szikszai-Németh, Ketrin (szerk.) Tavaszi Szél 2019 Konferencia = Spring Wind 2019: Konferenciakötet I. **(3 pont)**

Dálnoki, Anna, Boglárka; Gulyás, Miklós; Rétháti, Gabriella; Sebők, András; Tolner, László; Köles, Péter; Czinkota, Imre. (2021). Az EDTA hatása a talaj potenciálisan toxikus elemtartalmára. In: Rétfalvi, Tamás (szerk.) „TERMELJÜNK EGYÜTT A TERMÉSZETTEL! – AZ AGRÁRERDÉSZET, MINT ÚJ KITÖRÉSI LEHETŐSÉG": PROJEKTZÁRÓ TANULMÁNYKÖTET. Sopron, Magyarország: Soproni Egyetem Kiadó 914 p. pp. 487-490. **(3 pont)**

4.3. Megtartott előadás vagy bemutatott poszter alapján készített egy oldalas idegen vagy magyar nyelvű összefoglaló, szerkesztett tudományos folyóiratban, vagy annak különszámában

Czinkota, Imre; Rétháti, Gabriella; Tolner, László; **Dálnoki, Anna Boglárka**; Sebők, András (2017). Széles körben használatos adszorptívum csere izoterma levezetése és használati lehetőségei In: [s n,] (szerk.) 6. Környezetkémiai Szimpózium: Program és előadáskivonatok. Bakonybél, Magyarország 50 p. p. 31 **(1 pont)**

5. Kongresszusi kiadványokban megjelent közlemények (nyomtatott formában v. elektronikus adathordozón – nem hitelesített kiadványokra vonatkozóan

5.1. Teljes szövegű közlemény idegen nyelven
5.2. Teljes szövegű közlemény magyar nyelven
5.3. Egy oldalas idegen vagy magyar nyelvű összefoglaló

Irodalomjegyzék

Buzás I. (szerk.) (1988). Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv. 1-2. Mezőgazdasági kiadó. Budapest.

Egner, H., Riehm, H., Domingo, W. (1960). Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden II. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor- und Kaliumbestimmung. Kungl. Lantbrukshögsk. Ann. 26. 199–215.

Fekete Z. (1958). Talajtan és Trágyázástan, Mezőgazdasági kiadó, Budapest

Hooda P. S. (szerk). (2010). Trace Elements in Soils. Blackwell Publishing Ltd. pp 62.

Kabata-Pendias A. (2011). Trace elements in soils and plants. 4th edition. CRC Press, Boca Raton, 505 pp.

Kádár I. (1993). Talajaink mikroelem ellátottságának környezeti összefüggései. In: MTA Agrártudományok Osztályának Tájékoztatója. 102-106. p

Kidd P., Barceló J., Bernal M.P., Navarri-Izzo F., Poschenrieder C., Shilev S., Clemente R., Monterosso C. (2009). Element behaviour at the root-soil interface: Implications in phytoremediation. Environmental and Experimental Botany. 67: 243-259.

Papp S. (2011). Környezeti kémia. Akadémiai Kiadó, Budapest.

Sarkadi, J., Krámer, M., Thamm, Fné. (1965). Kálcium- és ammóniumlaktátos talajkivonatok P tartalmának meghatározása aszkorbinsav-ónkloridos módszerrel melegítés nélkül. Agrokémia és Talajtan. 14: 75–86.

Száková J., Tlustos P, Goessler W., Frková Z., Najmanová J. (2009). Mobility of arsenic and its compounds in soil and soil solution: The effect of soil pretreatment and extraction methods. Journal of Hazardous Materials Vol. 172 (2–3), pp 1244-1251.