

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

VONA VIKTÓRIA

MOSONMAGYARÓVÁR

2021

**SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEM
MEZŐGAZDASÁG- ÉS ÉLELMISZERTUDOMÁNYI KAR
VÍZ ÉS KÖRNYEZETTUDOMÁNYI TANSZÉK ÉS BIOLÓGIAI
RENDSZEREK ÉS ÉLELMISZERIPARI MŰSZAKI TANSZÉK**

Wittmann Antal Növény-, Állat- és Élelmiszer-tudományi
Multidiszciplináris Doktori Iskola

Doktori Iskola vezető:

Prof. Dr. Varga László DSc
egyetemi tanár

Haberlandt Gottlieb Növény-tudományi Doktori Program

Programvezető:

Prof. Dr. Ördög Vince DSc
egyetemi tanár

Tudományos vezetők:

Dr. habil. Kalocsai Renátó
egyetemi docens, tanszékvezető

Dr. habil. Kovács Attila
egyetemi docens, tanszékvezető, Nemzetközi kapcsolatokért felelős
dékánhelyettes

**FOSZFOR, MAGNÉZIUM ÉS CINK MÓDSZEREK
ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA MAGYARORSZÁGI
TALAJJOKON**

Készítette:

VONA VIKTÓRIA
Mosonmagyaróvár

2021

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK

A dolgozat célja az volt, hogy áttekintsük a több évtizedes múlttal rendelkező magyarországi talajvizsgálati módszereinket és összehasonlítsuk ezeket más nemzetközileg alkalmazott eljárásokkal. Jelenlegi talajvizsgálati rendszerünk jól felhasználható eredményeket szolgáltat ma is, azonban a nemzetközi trendeket is követve, az újabb talajvizsgálati eljárások hazai adaptálása új perspektívákat nyújthat a hazai talajvizsgálatok, valamint a tápanyag-gazdálkodás módszertanában. Világszerte többféle talajvizsgálati módszert alkalmaznak, és minden országnak megvannak a saját talajaikra validált módszerei. A talaj, mint erőforrás fenntartható kezelésével és védelmével kapcsolatos módszerek, mérések és indikátorok összehangolása egyre fontosabb annak érdekében, hogy megfeleljünk a szigorodó jogszabályoknak és a fenntartható mezőgazdasági termelés peremfeltételeinek. A harmonizációs folyamatoknak fontos része az alkalmazott módszerek hátterének megismerése és egy olyan módszertan kidolgozása mely segít összehasonlítani és értelmezni a különböző talajvizsgálatok eredményeit.

Jelen dolgozatban a magyarországi talajvizsgálati módszereket az AL (ammónium-laktát), a KCl (kálium-klorid), a KCl-EDTA (kálium-klorid-etilén-diamin-tetraecetsav) hasonlítottunk össze a Mehlich 3, a vizes extrakció, (CoHex) kobalt-hexamín és az XRF (röntgen fluoreszcencia) módszerekkel.

Összehasonlító elemzéseink során foszfor-, magnézium- és cink-méréseket végeztünk 70 magyarországi talajmintán. Az adatok elemzése során először a teljes adathalmazt vetettük össze, majd megvizsgáltuk a kalcium-karbonát, a pH, az Arany-féle kötöttség és az agyagtartalom hatásait.

Célkitűzések:

A disszertáció célja, a hazai talajvizsgálati eljárások nemzetközi módszerekkel történő összehasonlítása volt, melyek új távlatokat nyithatnak a magyar laboratóriumi talajvizsgálati analitika számára.

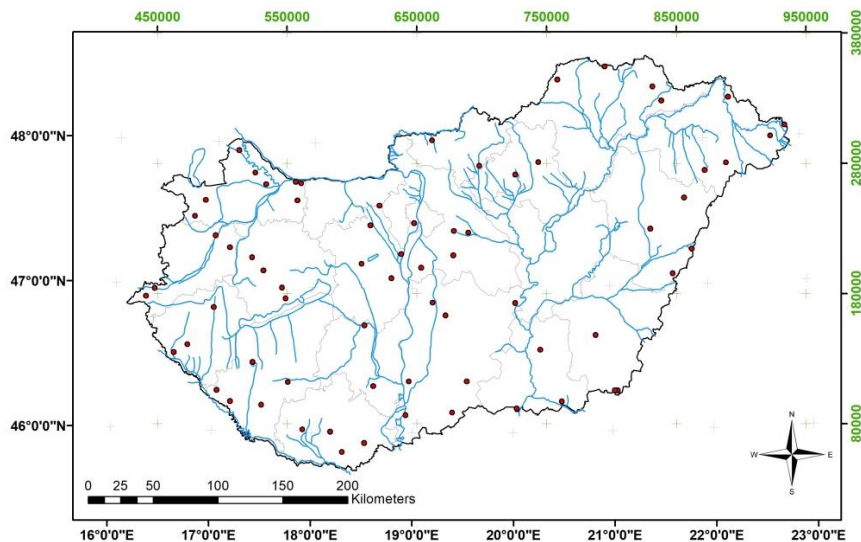
A kutatómunka célja néhány, a talajok tápelemtartalmának vizsgálatára elterjedten alkalmazott analitikai módszer - (AL (ammónium-laktát)-kivonat, KCl (kálium-klorid)-kivonat, KCl-EDTA (kálium-klorid-etiléndiamin-tetraecetsav)-kivonat, Mehlich 3 kivonat, vizes extrakció, CoHex (kobalt-hexamín) kivonat és XRF (röntgen fluoreszcens spektrometria) - extrakciós hatékonyságának összehasonlítása foszfor, magnézium és cink mérésére.

További cél az extrakció hatékonyságát befolyásoló talajtulajdonságok szerepének értékelése volt. Ehhez egyes, kiválasztott talajparaméterek szerint osztályoztuk a vizsgált talajmintákat és a statisztikai elemzés során elvégeztük az osztályok összehasonlítását annak feltáráshoz, hogy ezek hogyan befolyásolják a talaj P, Mg és Zn mérési eredményeit.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER**Mintavételezés**

Magyarországon hetven georeferált talajmintát vettünk a 0-20 cm-es felső rétegből (1. ábra). A mintavételi helyszínek kijelölésénél olyan tényezőket vettünk figyelembe, mint a területhasználat, a talajtípus, a jellemző klíma, a megközelíthetőség és a piaci

érték.



1. ábra: A talajmintavételi helyszínek Magyarországon

Laboratóriumi vizsgálatok

A vizsgálati módszerek kiválasztása kompromisszumot jelentett a mezőgazdasági relevancia/vásárlói elvárások és a több jellemző egyidejű elemzése között. A különböző tápanyagkészletek meghatározásához a legelterjedtebb analitikai eljárásokat (extrakciós módszereket és analitikai eszközöket) választottuk ki. A talajparaméterek meghatározására szolgáló lehetséges analitikai módszerek listáját a WEPAL (Wageningen Evaluating Programmes for Analytical Laboratories) által szervezett Nemzetközi Talajanalitikai Csereprogram (ISE) (International Soil-Analytical Exchange Programme) által készített negyedéves jelentéseiből (minden jelentés 2011-től) vettük ki. Ebben a laboratóriumi jártassági vizsgálati programban a világ minden tájáról vesznek részt talajvizsgáló laboratóriumok, rutin- és tudományos-kutató laboratóriumok is. A résztvevők száma a legnépszerűbb eljárások esetében 80 laboratóriumig terjed.

A tanulmány alapján, a következő módszerek kerültek kiválasztásra:

- Mehlich 3 (M3) kivonat
- Kobalt-hexamin-triklorid (CoHex) kivonat
- Vizes extrakció (WA)
- Röntgen fluoreszcencia spektrometria (XRF)

A **Mehlich 3** módszert választottuk, mint sokelemes extrakciós eljárást a tápanyagok biológiailag hozzáférhető készletének meghatározásához. A Mehlich-3 analitikai módszert világszerte használják és elfogadják, továbbá a módszer pontossága és precizitása a különböző módszerekhez hasonlítva nagyon alacsony laboratóriumok közötti eltérést mutat. A Mehlich-3 módszert az Egyesült Államok északkeleti részén alkalmazandó ajánlott talajvizsgálati eljárások 5. fejezetét követve alkalmazzák.

A **kobalt-hexamin-trikloridos** módszer viszonylag egyszerű, és lehetővé teszi több kicserélhető kation és a kationcsere-kapacitás meghatározását egy eljárásban a pontosság megmaradásával. A vizsgálatokat az ISO 23470:2007 szabvány szerint végezték.

A **vizes extrakciót** elsősorban a pH és az EC meghatározására, valamint a talajban lévő egyes komponensek vízben oldódó formáinak mérésére választottuk.

A tápanyagok teljes mennyisége az **XRF** módszerrel lett meghatározva mivel a módszer kényelmes, viszonylag olcsó, kevés munkaerőt igényel, felhasználó- és környezetbarát. Az XRF kompromisszumot jelent a kinyerhető információk, a költségek, a környezeti hatások és a pontosság között. Az XRF-elemzés az ISO 18227:2014 szabvány szerint történt.

A talajminták foszfortartalmának vizsgálata a magyar laboratóriumban az MSZ 20135:1999 szabvány szerint **ammónium-laktát (AL)** kivonatból történt.

A talajminták Mg-tartalmának elemzése 1 mol dm^{-3} **kálium-klorid (KCl)** kivonathól történt a hagyományosan elfogadott szabvány (MSZ20135:1999) szerint.

A cink meghatározása **KCl-EDTA** módszerrel történt a magyar szabvány (MSZ 20135:1999) szerint.

A 2. ábra mutatja a vizsgált extrakciós oldatokat, melyek erősségükben különböznek egymástól. A gyenge extrakciós oldatokkal a növények számára könnyen felvehető tápanyagokat, míg a nagyon erős reagensekkel a kötöttebb a tápanyagokat tudjuk meghatározni.

oldható	WA	KCl, KCl-EDTA, AL, M3	
könnyen kicserélhető			CoHex XRF
lassan kicserélhető			
strukturális formák			

WA – vizes kivonat, KCl – kálium-kloridos kivonat, KCl-EDTA – kálium-klorid-EDTA-kivonat, AL – ammónium-laktát-kivonat, M3 – Mehlich 3 kivonat, CoHex – kobalt-hexamín kivonat, XRF – röntgen fluoreszcencia spektrometria

2. ábra: Egyes módszerekkel vizsgálható tápelem frakciók

A kémhatás (pH [KCl]) meghatározás a magyar szabvány (MSZ-08-0206-2:1978) szerinti potenciometriás módszerrel történt.

A CaCO_3 -tartalmat Scheibler gázvolumetrikus módszerével határoztuk meg (MSZ-08-0206-2:1978).

A textúra indexet, az **Arany-féle kötöttséget** a magyar szabvány (MSZ-08-0205:1978) alapján határoztuk meg.

A **részecskeméret-eloszlást** lézer diffraktometriával (Fritsch Analysette 22 Microtech Plus) mértük.

A foszfor-, magnézium- és cinkkivonás hatékonyságát befolyásoló talajtulajdonságok szerepének értékeléséhez a mintákat pH, CaCO_3 -tartalom, Arany-féle kötöttség és agyagtartalom szerint csoportosítottuk.

Statisztikai értékelés

A talaj tulajdonságait és az extrakciós módszereket leíró statisztika segítségével ismertettem.

Lineáris regressziót használtam a P, Mg, Zn vizsgálati módszerek közötti lineáris kapcsolat meghatározására, ahol az R^2 a modell által magyarázott variancia százalékos arányát mutatja. A választott szignifikancia szint 5% volt.

Pearson korrelációelemzést használtam az extrakciós módszerek és a talajparaméterek (pH, CaCO_3 , KA, agyag) közötti kapcsolat meghatározására.

A különböző extrakciós módszerek adatsorainak normalitását Kolmogorov-Smirnov teszttel vizsgáltam. Ahol az elemzési módszerek adatai nem voltak normális eloszlásúak, ott a nem-parametrikus Friedmann ANOVA-tesztet alkalmaztam. Abban az esetben, pedig ha az elemzési módszerek adatai normális eloszlást mutattak, akkor parametrikus, ismételt méréses ANOVA-tesztet használtam.

A Wilcoxon-féle előjeles rang tesztet, egy nem parametrikus statisztikai hipotézisvizsgálatot használtam a vizsgálati módszerek (WA, EDTA, M3, CoHex, KCl, Al) összehasonlítására és annak megállapítására, hogy az adatsorok átlagban különböznek-e egymástól.

A pH (KCl), CaCO_3 -tartalom, Arany-féle kötöttség, agyagtartalom hatásának vizsgálata, páronkénti összehasonlítással történt (pairwise comparison).

A foszfor-, magnézium- és cink meghatározási módszerek eltéréseinek bemutatására nem-parametrikus Boxplot diagramot alkalmaztam.

3. EREDMÉNYEK

A foszfor meghatározási módszerek összehasonlítása

Összehasonlítva a mért foszfor különböző százalékos arányait, amelyeket az egyes extrakciós módszerek a teljes foszformennyiségből (XRF) mérni tudtak, az ammónium-laktát-oldattal történt a legnagyobb mennyiségű foszfor kivonás.

A hat különböző módszerrel kivont foszfor mennyiségek alapján a következő sorrend állapítható meg: P-WA < CoHex < P-WA(PO₄) < M3 < AL < XRF

A P-WA és az M3 módszerekkel meghatározott P-tartalom közötti lineáris kapcsolat szignifikáns volt, a P-WA(PO₄) vs. M3 determinációs együttható 0,72, a P-WA vs. M3 esetében pedig 0,67 volt.

Az 5 különböző P-mérési módszer páronkénti elemzésének eredményei az alapján, (hogy az egyes módszerek hány százalékot tudtak mérni a teljes P-mennyiségből (XRF)), megállapítható, hogy az M3 nem különbözik az AL-tól éppúgy, mint a P-WA(PO₄), a P-WA és a CoHex is hasonló értékeket mutatott, de a két csoport (M3 és AL vs. P-WA(PO₄), P-WA és CoHex) között szignifikáns különbség volt.

Az 5 különböző foszforelemzési módszer statisztikai elemzése két külön csoportot mutatott. (M3, AL versus CoHex, P-WA, P-WA(PO₄))

A foszfortartalmak, magyarországi szaktanácsadásban alkalmazott két mézskategória szerinti értékelése alapján megállapítható, hogy a vizsgált talajminták esetében az 1 m/m%-nál magasabb CaCO₃-tartalom az AL módszer esetén magasabb foszfortartalmat eredményezett az 1 m/m%-nál alacsonyabb mézstartalmú talajokhoz képest. Minél magasabb a mézstartalom, annál nagyobb a kötött foszfátok mennyisége, tehát ez azt jelenti, hogy az AL módszer nemcsak a növények számára felvehető foszfor mennyiséget, hanem a kötött foszfátokat is kivonja.

A mézszentes illetve alacsony mézstartalmú talajokon (CaCO₃ < 1 m/m%) a Magyarországon is alkalmazott AL-foszfor módszer mérései a P-WA(PO₄), P-WA, CoHex, M3 módszerek eredményeivel gyenge

szignifikáns lineáris kapcsolatot mutattak, és 39–57%-os variáciát magyaráztak ($0,39 \leq R^2 \leq 0,57$).

A magasabb mésztartalmú talajokon ($\text{CaCO}_3 > 1 \text{ m/m\%}$) az egyetlen szignifikáns kapcsolat a CoHex és az AL között volt megállapítható ($p=0,02$), amely a variancia 20%-át magyarázta. Az összes többi módszerpár kapcsolata nem volt szignifikáns ($R^2 < 0,2$; $p \geq 0,05$).

A pH, CaCO_3 , KA és agyagtartalom csoportok külön-külön történő elemzése során is megvizsgáltuk a mért foszfor százalékos arányait az összes foszformennyiséghez képest. Ez alapján megállapítható, hogy a páronkénti elemzések kisebb különbségeket mutattak a módszerek között, de az eredmények összehasonlíthatóak voltak azzal, amikor összes adatot egyben vizsgáltuk páronkénti elemzéssel. A szignifikáns eredmények számának átlaga és a négy befolyásoló tényező alapján a legnagyobb szignifikáns különbség a P-WA és az AL módszerek között volt. A P-WA(PO_4) vs. P-WA és a P-WA vs. CoHex nem különbözött szignifikánsan egymástól.

Figyelembe véve a páronkénti összehasonlítás szignifikancia szintjeinek átlagait az egyes befolyásoló talajtényező-csoportoknál (pH, CaCO_3 , KA, Agyag), a foszfor meghatározási módszerek között a következő sorrend állítható fel. (1 – legkisebb 8 – legnagyobb különbség)

1. P-WA(PO_4) vs P-WA, P-WA vs CoHex
2. P-WA(PO_4) vs CoHex
3. AL vs M3
4. CoHex vs AL
5. CoHex vs M3
6. P-WA(PO_4) vs AL
7. P-WA(PO_4) vs M3, P-WA(PO_4) vs M3
8. P-WA vs AL

Az összes paraméteren alapuló különbségek értékelése alapján megállapítható, hogy a P-WA(PO_4) vs. P-WA és a P-WA vs. CoHex nem különbözött szignifikánsan egymástól. A legnagyobb szignifikáns különbség a P-WA vs. AL módszer között volt.

A magnézium meghatározási módszerek összehasonlítása

A fizikai-kémiai tulajdonságok és a választott osztályozási módszertan befolyásolták a magnéziummérések értékelését.

A Mehlich 3 oldat a többi extrakciós oldattal összehasonlítva nagyobb Mg kivonási képességet mutatott a talajból.

Az öt módszerrel mért magnéziumtartalom a következő sorrendet eredményezte: WA < KCl < CoHex < M3 < XRF

A lineáris összefüggés az összes Mg-tartalom mérési módszerpár között szignifikáns, de csak 4 módszerpár esetén magyarázza a teljes variancia több mint 60%-át. A KCl és a CoHex módszerek közötti lineáris kapcsolat rendelkezik a legmagasabb determinációs együtthatóval ($R^2=0,96$), ezt követi a WA - M3 ($R^2=0,68$), M3 - CoHex ($R^2=0,66$) és M3 - KCl ($R^2=0,60$).

A CoHex és a KCl módszerek nem várt erős kapcsolatot mutattak. Ennek a két módszernek azonban jobban el kellene térnie egymástól, mivel a KCl módszer "csak" a talajban lévő oldható és könnyen kicserélhető magnéziumot méri, míg a CoHex módszer a lassan kicserélhető frakciót is képes kioldani.

A KCl és az M3 módszereknek hasonló magnézium mennyiségeket kellett volna mérnie a talajban, de mégis gyengébb kapcsolatot mutattak ($R^2=0,60$). Az M3 és a CoHex módszerek hasonlóan alacsony, 0,66-os determinációs együtthatóval rendelkeztek.

A páronkénti elemzés eredményei az alapján, hogy az egyes módszerek hány százalékot tudtak mérni a teljes Mg-mennyiségből (XRF), azt bizonyították, hogy az M3 és a CoHex módszerek kivételével minden módszer szignifikánsan különbözött egymástól.

Az Arany-féle kötöttségi kategóriák alapján a mért magnéziumszázalékok és a teljes magnéziummennyiség (XRF) páronkénti elemzése azt mutatta, hogy az agyagos vályog textúrájú

talajokban (42-50 KA) az egyes módszerek által mért magnéziumtartalom magasabb volt a homokos textúrához képest.

A hazai szaktanácsadási rendszerekben alkalmazott KCl módszer és a többi módszer összehasonlítása a két textúracsoport között eltérő lineáris kapcsolatokat eredményezett. A homokos és vályog textúrájú (KA 30-42) talajban, a CoHex és a KCl magnézium-meghatározási módszereknek volt a legmagasabb determinációs együtthatója ($R^2=0,94$), amely a variancia 94,1%-át magyarázta, ezt követte az M3 - CoHex páros 66,3%-kal és az M3 - KCl 56,3%-os varianciával. Az összes többi páros szignifikáns lineáris kapcsolatot mutatott, de a megmagyarázott variancia kisebb százalékkal.

A mésztartalom hatását a magnézium mérési módszerekre is vizsgáltam. A magasabb mésztartalom mind a négy módszerrel alacsonyabb kivont magnéziumot eredményezett.

Minden mész kategóriában a CoHex vs. KCl módszerek közötti lineáris kapcsolat szignifikáns volt, és a variancia több mint 95%-át magyarázta. ($R^2>0,95$ $p<0,001$).

A többi módszerpár (WA vs. M3, WA vs. CoHex, WA vs. KCl, M3 vs. CoHex, M3 vs. KCl) mérési eredményei közötti összefüggések jobban függték a mész kategóriától.

A magasabb CaCO_3 -tartalom ($\text{CaCO}_3 >0,1$ m/m%) alacsonyabb determinációs együtthatót mutatott az M3 vs. CoHex és az M3 vs. KCl módszer esetében. A WA vs. M3, WA vs. CoHex és WA vs. KCl párosok eredményei eltérő eredményeket mutattak; a mészmentes talajokban nem volt szignifikáns kapcsolat, e módszerek között, de a magasabb mésztartalom ($\text{CaCO}_3 >0,1$ m/m%) szignifikáns lineáris kapcsolatot és magasabb determinációs együtthatót eredményezett.

Az extrakciós módszereket befolyásoló talajtényezők, mint a pH, a mésztartalom, a textúra és az agyagtartalom alapján történő adatelemzések mutatták ki igazán a különböző módszerek közötti különbségeket.

A lineáris regresszió és a Pearson-féle korrelációs elemzés a CoHex és a KCl között mutatta a legerősebb kapcsolatot.

A páronkénti elemzés más szempontokat is megmutatott. A legkevésbé szignifikáns különbségek az M3 vs. Cohex és a KCl vs. M3 módszerek eredményei között voltak.

Figyelembe véve a páronkénti összehasonlítás szignifikancia szintjeinek átlagait az egyes befolyásoló talajtényező-csoportoknál (pH, CaCO₃, KA, Agyag), a magnézium meghatározási módszerek között a következő sorrend állítható fel. (1 – legkisebb 6 – legnagyobb különbség)

1. M3 vs CoHex
2. M3 vs KCl
3. CoHex vs KCl
4. WA vs CoHex
5. WA vs KCl
6. WA vs M3

Az összes paraméteren alapuló különbségeket értékelve megállapítható, hogy az M3 és a CoHex nem különbözött jelentősen egymástól. A legnagyobb szignifikáns különbség a P-WA vs. M3 módszer eredményei között volt.

A cink meghatározására szolgáló módszerek összehasonlítása

A Mehlich 3 oldat a többi extrakciós oldathoz képest nagyobb Zn extrakciós kapacitást mutatott.

A hat módszerrel mért cinktartalom a következő sorrendet eredményezte: CoHex < WA < EDTA < M3 < XRF.

Az EDTA és az M3 Zn-meghatározási módszerek közötti kapcsolat 71%-os varianciát magyaráz ($R^2=0,71$ $p<0,001$), az összes többi determinációs együttható 0,2-nél kisebb vagy nem szignifikáns.

A cink-tartalmak értékelése a magyar tanácsadási rendszer alapján a két Arany-féle kötöttség kategória szerint, azt mutatta, hogy vályog és agyagos vályog textúrában (38-50 KA), a mért cink mindegyik módszerrel alacsonyabb volt, mint a homokos vályog textúrában.

A módszerek közötti lineáris kapcsolat sokkal gyengébb volt a vályog/agyagos vályogtalajok esetében.

A KA<38 kategóriában a Zn extrakciós módszerek közül az EDTA és M3 módszer közötti kapcsolat esetén volt a legmagasabb determinációs együttható, amely a teljes variancia több mint 84%-át magyarázta. Az EDTA vs. WA kapcsolat a teljes variancia 67,3%-át, a WA vs. M3 50,6%-át, a CoHex vs. WA pedig 47,4%-át magyarázta. A KA 38-50 kategóriában a párok közötti determinációs együtthatók kisebbek voltak a KA<38 kategóriához képest.

Az összes adat elemzése alapján megállapíthatjuk, hogy minden Zn mérési módszer különbözik egymástól. A módszerek összehasonlítása során a befolyásoló tényezők, mint például a pH, a mésztartalom, az Arany-féle kötöttség és az agyagtartalom alapján végzett további elemzések azonban bebizonyították, hogy bizonyos esetekben hasonlóságok is vannak a módszerek között, és így bővebb ismereteket szerezhetünk a mérésekről és a szolgáltatott eredményekről.

A Pearson-féle korrelációelemzés és a mérések négy befolyásoló tényező (pH (KCl), CaCO₃, Arany-féle kötöttségi szám és agyagtartalom) mentén végzett összes páronkénti elemzés szignifikancia szintjének átlaga alapján megállapítható, hogy a Zn meghatározására szolgáló módszerek közül az EDTA és az M3 extrakciós módszerek különböznek a legkevésbé egymástól.

Figyelembe véve a páronkénti összehasonlítás szignifikancia szintjeinek átlagait az egyes befolyásoló talajtényező-csoportoknál (pH, CaCO₃, KA, Agyag), a cink meghatározási módszerek között a következő sorrend állítható fel. (1 – legkisebb 6 – legnagyobb különbség)

1. EDTA vs M3
2. CoHex vs WA
3. WA vs EDTA
4. WA vs M3
5. CoHex vs EDTA
6. CoHex vs M3

Összefoglalva, nemcsak az extrakciós módszer, hanem a talaj egyes fizikai-kémiai tulajdonságai és a választott osztályozási módszer is befolyásolja a cinkmérések értékelését. Ezekből az eredményekből levonható egy fontos következtetés: az összes adat, egyben történő elemzése igen erős és szignifikáns különbségeket eredményezhet az alkalmazott módszerek között, de félrevezető is lehet, mivel a részletes (osztályozott) talajtulajdonságok alapján történő elemzés ennek ellenkezőjét is bizonyíthatja.

4. ÖSSZEFOGLALÁS ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

A jelenlegi talajvizsgálati rendszerünk jól használható eredményeket szolgáltat ma is, azonban a nemzetközi trendeket is követve az újabb talajvizsgálati módszerek hazai adaptálása új perspektívákat nyújthat a magyar talajvizsgálat módszertanában is. Mint láthattuk, világszerte többféle talajvizsgálati módszert alkalmaznak, talaj, mint erőforrás fenntartható kezelésével és védelmével kapcsolatos módszerek, mérések és indikátorok összehangolása egyre fontosabb annak érdekében, hogy megfeleljünk a szigorodó jogszabályoknak és a fenntartható mezőgazdasági termelés peremfeltételeinek. A harmonizációs folyamatoknak fontos része, a meglévő módszereink hátterének

megismerése, és egy módszertant kidolgozása mely segít összehasonlítani és értelmezni a különböző talajvizsgálati módszereket, majd azokat összehangolja.

Disszertációm alapadatbázisát hetven, Magyarországon vett, georeferált talajminta képezte, amelyeknek talajtípusa textúrája és kémhatása különbözött egymástól. A talajmintákat különböző extrakciós módszerekkel elemeztük laboratóriumban. Összehasonlítottam és értékeltem a meglévő magyar talajvizsgálati módszereket (AL, KCl, KCl-EDTA módszerek) a Mehlich 3, vizes extrakciós, kobalt-examin és XRF módszerekkel foszfor, magnézium és cink mérésére.

Az összehasonlítás újdonsága, hogy a különböző analitikai módszerekkel mért P, Mg és Zn mennyiséget összehasonlítottam az XRF módszerrel mért teljes mennyiségekkel. Az adatelemzés alapján nyilvánvaló volt, hogy az XRF módszer lényegesen nagyobb mennyiséget, akár ezerszer többet mért, mint a többi módszer.

Az adatokat először a teljes adathalmazra, majd a CaCO_3 -tartalom, a pH, az Arany-féle kötöttség és az agyagtartalom alapján meghatározott csoportokra vonatkozóan hasonlítottam össze.

Bebizonyosodott, hogy a befolyásoló tényezők kategorizálása más korrelációs erősségeket eredményezett, mint a teljes adatállomány elemzése, feltételezve, hogy az agyagtartalom, az Arany-féle kötöttségi szám és a mésztartalom, valamint a pH-értékek növekvő tendenciája nem áll arányban a mérések hatékonyságának növekedésével vagy csökkenésével.

Az elemzett csoportok azt is kiemelhetik, hogy hol volt erős, gyenge vagy semmilyen korreláció, rávilágítva arra a tartományra, ahol a befolyásoló tényezőnek (pH, CaCO_3 , KA, agyag) jelentősége volt.

Az eredmények alapján, arra a következtetésre jutottunk, hogy az összesített adatok elemzése nagyon erős és szignifikáns különbségeket eredményezhet az alkalmazott módszerek között. Ez azonban félrevezető

lehet, mivel a részletesebb, osztályozott elemzés ennek ellenkezőjét is bizonyíthatja.

A módszerek összehasonlítása a befolyásoló tényezők alapján bebizonyította, hogy bizonyos esetekben hasonlóságok vannak a módszerek között, és így több ismeretet szerezhetünk a mérésekről és a szolgáltatott eredményekről.

A hagyományos vizsgálati eredmények óriási számban állnak rendelkezésre, és ha az új szemléletű interpretációjuk révén többet tudhatunk meg a talajokról, akkor ez jelentős lépéssel viheti előre a magyar talajtant. Következtetésként elmondhatjuk, hogy az általunk alkalmazott extrakciós módszerek, a kiválasztott osztályozási módszerek és a statisztikai elemzések (minden adatot vagy bizonyos csoportot vizsgálva) is hatással vannak a foszfor, magnézium és cink mérésekre. Ezzel disszertációm olyan összehasonlító-elemző tanulmány is egyben, amely útmutatást nyújthat a különböző talaj-vizsgálati eljárások értelmezéséhez, a harmonizáció útján.

5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK (TÉZISEK)

1. Megerősítettem, hogy nemcsak az extrakciós talajvizsgálati módszerek, hanem a talajparaméterek osztályozása és a statisztikai adatelemzés (az összes adat vagy bizonyos osztályok elemzése) is befolyásolják a talaj foszfor, magnézium és cink mérési eljárásainak kiértékelését.
2. A foszfor-, magnézium- és cink-mérések extrakciós hatékonyságának nagyságrendjeit az alábbi módszerek kiértékelése alapján határoztam meg: WA – vizes extrakció, KCl – kálium-klorid, KCl-EDTA – kálium-klorid- etilén-diamin-tetraecetsav, AL – ammónium-laktát, M3 – Mehlich 3, CoHex – kobalt-hexamin, XRF – röntgenfluoreszcencia.

Vizsgálati eredményeim alapján megállapítottam, hogy a különböző módszerekkel kivont foszfor mennyiség alapján a következő sorrend állapítható meg:

$P-WA < CoHex < P-WA(PO_4) < M3 < AL < XRF$

Vizsgálati eredményeim alapján megállapítottam, hogy a különböző módszerekkel kivont magnézium mennyiség alapján a következő sorrend állapítható meg:

$WA < KCl < CoHex < M3 < XRF$

Vizsgálati eredményeim alapján megállapítottam, hogy a különböző módszerekkel kivont cink mennyiség alapján a következő sorrend állapítható meg:

$CoHex < WA < EDTA < M3 < XRF$

3. Figyelembe véve a páronkénti összehasonlítás szignifikancia szintjeinek átlagait az egyes befolyásoló talajtényező-csoportoknál (pH, CaCO₃, KA, agyagtartalom), a foszfor meghatározási módszerek között a következő sorrend állítható fel. (1 – legkisebb 8 – legnagyobb különbség)

1. P-WA(PO₄) vs P-WA, P-WA vs CoHex
2. P-WA(PO₄) vs CoHex
3. AL vs M3
4. CoHex vs AL
5. CoHex vs M3
6. P-WA(PO₄) vs AL
7. P-WA(PO₄) vs M3, P-WA(PO₄) vs M3
8. P-WA vs AL

Figyelembe véve a páronkénti összehasonlítás szignifikancia szintjeinek átlagait az egyes befolyásoló talajtényező-csoportoknál (pH, CaCO₃, KA, agyagtartalom), a magnézium meghatározási módszerek között a következő sorrend állítható fel. (1 – legkisebb 6 – legnagyobb különbség)

1. M3 vs CoHex
2. M3 vs KCl
3. CoHex vs KCl
4. WA vs CoHex
5. WA vs KCl
6. WA vs M3

Figyelembe véve a páronkénti összehasonlítás szignifikancia szintjeinek átlagait az egyes befolyásoló talajtényező-csoportoknál (pH, CaCO_3 , KA, agyagtartalom), a cink meghatározási módszerek között a következő sorrend állítható fel. (1 – legkisebb 6 – legnagyobb különbség)

1. EDTA vs M3
 2. CoHex vs WA
 3. WA vs EDTA
 4. WA vs M3
 5. CoHex vs EDTA
 6. CoHex vs M3
4. A P-WA és az M3 módszerrel meghatározott P-tartalom között szignifikáns lineáris kapcsolat van, a P-WA(PO_4) és az M3 közötti determinációs együttható 0,72, míg az M3 és P-WA között 0,67 volt.
5. A mészmentes, illetve alacsony mésztartalmú talajokon (CaCO_3 m/m% < 1) az AL-foszfor módszer mérései a P-WA(PO_4), P-WA, CoHex és M3 módszerek eredményeivel gyenge szignifikáns lineáris kapcsolatot mutattak, amelyek 39–57%-os varianciát magyaráztak ($0,39 \leq R^2 \leq 0,57$).

A magasabb mésztartalmú talajokon (CaCO_3 m/m% > 1) az egyetlen szignifikáns kapcsolat a CoHex és az AL között volt megállapítható ($p=0,02$), amely a variancia 20%-át magyarázta.

6. A magnéziumtartalom meghatározásánál, a KCl és a CoHex módszerek közötti lineáris kapcsolatnak volt a legmagasabb determinációs együtthatója ($R^2=0,96$ $p<0,001$), melyet a WA és az M3 ($R^2=0,68$, $p<0,001$), az M3 és a CoHex ($R^2=0,66$, $p<0,001$) és az M3 és a KCl ($R^2=0,60$, $p<0,001$) közötti lineáris kapcsolat követett.

7. A magnéziumtartalom meghatározásánál a CoHex és a KCl módszerek közötti lineáris kapcsolat minden mészkategóriában szignifikáns volt, és több mint 95%-os varianciát magyarázott ($R^2>0,95$ $p<0,001$).

A magasabb CaCO_3 -tartalom (CaCO_3 m/m% $>0,1$) alacsonyabb determinációs együtthatót mutatott az M3 vs. CoHex és az M3 vs. KCl módszer esetében az alacsony mésztartalmú talajokhoz képest. A WA vs. M3, WA vs. CoHex és WA vs. KCl párosok ezektől eltérő eredményeket adtak; a mészmentes talajokban nem volt szignifikáns kapcsolat e módszer párok között. A magasabb mésztartalmú minták (CaCO_3 m/m% $>0,1$) ugyanakkor szignifikáns lineáris kapcsolatot és magasabb determinációs együtthatót mutattak.

8. A KCl-EDTA és az M3 módszerrel meghatározott Zn-tartalom közötti lineáris kapcsolat szignifikáns, 0,71-es determinációs együtthatóval ($R^2=0,71$, $p<0,001$).

6. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEIM LISTÁJA

Magyar nyelvű lektorált folyóiratban megjelent publikáció

VONA, V., BAKOS, I. A., GICZI, ZS., KALOCSAI, R., VONA, M., KULMÁNY, I. M., CENTERI, CS. (2020): MÚLT-JELEN-JÖVŐ a hazai mezőgazdasági talajvizsgálatokban. *Agrokémia és Talajtan*.69.1-2: 127-151.

DORKA-VONA, V., KALOCSAI, R., TÓTH, E., GICZI, ZS., KOVÁCS, A. (2019): Spektroszkópiai módszerek alkalmazása a talaj tápanyagtartalmának meghatározására: szakirodalmi feldolgozás. *Acta Agronomica Óváriensis*.60.1: 140-164.

TÓTH, E. A., KALOCSAI, R., DORKA-VONA, V., GICZI, ZS. (2018): Az esszenciális mikroelemek szerepe a növények élettani folyamataiban. *Acta Agronomica Óváriensis*.59.2: 126-150.

DORKA-VONA, V., KALOCSAI, R., SARJANT, S., GICZI, ZS., VAN, ERP P., KOVÁCS, A. J. (2018): Talajvizsgálat Magyarországon: az infravörös és röntgen-fluoreszcenz analízis alkalmazásának lehetőségei. *Acta Agronomica Óváriensis*.59.2: 32-43.

Idegen nyelvű folyóiratban megjelent publikáció

VONA, V., CENTERI, CS., GICZI, ZS., KALOCSAI, R., BIRO, ZS., JAKAB, G., MILICS, G., KOVACS, A. J. (2020): Comparison of magnesium determination methods on Hungarian soils. *Soil and Water Research*.15.3:173-180.

VONA, V., TÓTH, E. A., CENTERI, CS., GICZI, ZS., BIRÓ, ZS., JAKAB, G., MILICS, G., KULMÁNY, I., KALOCSAI, R., KOVÁCS, A. J. (2021): The effect of soil physicochemical characteristics on zinc analyses methods. *Soil and Water Research*. 16.3:180-190.

Teljes terjedelemben megjelent konferencia közlemény

VONA, V., SARJANT, S., LULEVA, M., KULMÁNY, I. M., VONA, M. (Can local samples improve the accuracy of mid-infrared (MIR) and X-ray fluorescence (XRF)-based spectral prediction models? *Precision Agriculture '21 /*, Stafford, J.V.. - Wageningen: Wageningen Academic Publishers. ISBN: 978-90-8686-363-1. 443 - 449.

VONA, V., KALOCSAI, R., SARJANT, S., KOVÁCS, A., VAN, ERP, P. (2018): Routine soil testing in Hungary: perspectives of the use of Infrared and X-ray fluorescence sensor technology. In: Milics, Gábor (szerk.) *Prega Science Scientific Conference on Precision Agriculture and Agro-Informatics*. Budapest, Magyarország: Agroinform Média Kft.: 48-49.

Absztrakt formában megjelent konferencia közlemény

VONA, V., VAN ERP, P., CENTERI, CS., KALOCSAI, R., VONA, M. (2018): Perspectives of Agrocates soil testing concept in Hungarian soil nutrient management services, 21 World Congress of Soil Science, 2018. Rio de Janeiro, Brazil (abstract, poster presentation).

Könyv

MALDA, J. T., **DORKA-VONA, V.**, RUTGERS, R. (2015): III. Tápanyag -
gazdálkodás, energianövények In: Gelencsér G., Farkas D., Vona
M.(szerk.): Fenntartható természeti erőforrás gazdálkodás kötetsorozat
Tananyag a SEE-REUSE Projekt keretében Völgy Hangja Fejlesztési
Társaság Közhasznú Egyesület Törökkoppány.:124. (ISBN 978-615-
80209-0-9)

Ismeretterjesztő közlemény

ERDÉLYI M., **VONA V.** (2019): Miért fontos a pontos talajvizsgálat?
Agrárágazat (1586-3832):100-140.

KALOCSAI, R., GICZI, ZS., **VONA, V.**, TÓTH, E. A. (2018): Az „elfeledett
világ” – azaz a mezo- és mikroelemek szerepe a kukorica tápanyag-
ellátásában. Agrofórum Extra.12.77: 42-45.

KALOCSAI, R., GICZI, ZS., **VONA, V.** (2018): Talajegyetem gyakorló
gazdáknak - avagy hogyan ismerjük meg a talajainkat?
Talajvizsgálatok jelentősége a talajok tápelemszolgáltató
képességének megítélésében és a talajvizsgálati eredmények
értelmezése – I. Rész. Agro Napló. 22: 39-42.

További közlemények

<https://m2.mtmt.hu/api/author/10071935>