



Doktori (Ph.D.) értekezés tézisei

**Az oldható foszfor koncentráció változása Magyarország mezőgazdasági
használatban lévő talajaiban a rendszerváltástól napjainkig**

Kassai Piroska

DOI: 10.54598/003530

Keszthely

2023

A doktori iskola

megnevezése: Festetics Doktori Iskola
tudományága: Növénytermesztési-és Kertészeti Tudományok
vezetője: Dr. Anda Angéla DSc
egyetemi tanár
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem,
Növénytermesztési-tudományok Intézet

Témavezetők:

Belső témavezető: Dr. Tóth Zoltán PhD
egyetemi docens, tanszékvezető
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem,
Növénytermesztési-tudományok Intézet

Külső témavezető: Dr. Tóth Gergely DSc
főigazgató-helyettes- Felsőbbfokú Tanulmányok Intézete
tudományos tanácsadó- Eötvös Loránd Kutatóhálózat,
Agrártudományi Kutatóközpont, Talajtani Intézet

A jelölt a Magyar Agrár-és Élettudományi Egyetem Doktori Szabályzatában előírt valamennyi feltételnek eleget tett, az értekezés műhelyvitájában elhangzott észrevételeket és javaslatokat az értekezés átdolgozásakor figyelembe vette, ezért az értekezés védési eljárásra bocsátható.



.....
Az iskolavezető
jóváhagyása



.....
A belső témavezető
jóváhagyása



.....
A külső témavezető
jóváhagyása

1. A munka előzményei, célkitűzések

A talajhasználat fenntarthatóságának különböző aspektusai közül a talajok termékenységének a megőrzése az egyik legfontosabb feladat. Mivel a növények számára szükséges tápelemek szintje és hozzáférhetősége nagyban befolyásolja a talajok termékenységét, ezért monitorozásuk és megfelelő szinten tartásuk kulcsfontosságú az intenzíven művelt területeken.

A foszfor a növények által a talajból felvett három legfontosabb tápelem egyike. A növények számára is hozzáférhető formája az intenzíven művelt területeken könnyen kimerülhet, mivel természetes folyamatok révén csak lassan pótlódik vissza a talajokba ill. a mesterségesen visszapótlott foszfor is rövid időn belül valamely, a növények számára nehezen hozzáférhető formában lekötődhet. (Malhotra, 2018). A foszforutánpótlás tervezésekor a növények fajlagos tápelem szükséglete mellett figyelembe kell venni a talajok könnyen oldható foszfor koncentrációját.

Magyarország termőtalajainak foszforutánpótlása nagy változásokon ment keresztül a múlt század közepe óta, s e változásokat nagyrészt tágabb politikai/gazdasági események irányították és befolyásolták. Az 50-es évektől kezdődő egyre növekvő műtrágyahasználat a szocializmus idején, a 70-es 80-as években érte el a maximumát a növénytermesztés valós igényét jócskán meghaladó kijuttatásokkal. A rendszerváltást követően a foszforutánpótlás hirtelen és drasztikus csökkenése figyelhető meg, amely háttérben részben gazdasági (támogatási rendszer átalakulása), részben környezetvédelmi okok állnak. Mivel a rendszerváltás óta az országos foszformérlegek tartósan negatívak ezért a tápelem-kimerülés elkerülése érdekében fontos a mezőgazdasági talajok foszfor koncentrációjának országos szintű elemzése, valamint a foszfor koncentrációt esetlegesen befolyásoló egyéb tényezők feltárása.

Doktori kutatásom célja a fentiek tükrében a mezőgazdasági talajaink foszfor koncentrációjának részletes elemzése volt. Célkitűzéseim megvalósításához országos és európai adatbázisokat elemeztem, valamint országos léptékű térképeket készítettem a digitális talajtérképezés módszereivel. Elemzéseim során az alábbi konkrét kérdésekre kerestem válaszokat:

- A környezeti paraméterek közül az éghajlat és a talajok fizikai és kémiai tulajdonságai miként befolyásolják a talajok oldható foszfor koncentrációját?
- A gazdálkodási jellemzők közül a földhasználat, a műtrágyázás, valamint a területre jellemző állatlétszám miként befolyásolják a talajok oldható foszfor koncentrációját?

- Magyarországon a műtrágyázás mértéke és a talajok oldható foszfor koncentrációja közötti összefüggés mennyire erős országos szinten és az elmúlt 50 év trágyázási gyakorlatát illetően látunk-e bármilyen változást ebben a tekintetben?
- Magyarországon a foszfor koncentráció változásában az 1980-as évek végétől 2009 valamint 2015 között milyen egyéb tényezők játszottak szerepet a megváltozott trágyázási gyakorlat mellett?
- Magyarország mezőgazdasági területeinek oldható foszfor koncentrációja milyen térbeli mintázatot mutatott a rendszerváltás előtt és mit mutat napjainkban?
- Magyarország taljai növénytermesztési szempontból jelenleg milyen foszfor-ellátottsággal jellemezhetőek.

2. Anyag és módszer

2.1. Felhasznált adatbázisok

Vizsgálataimat az AIIR (Agrokémiai Irányítási és Információs Rendszer), a TIM (Talaj Információs és Monitoring Rendszer) valamint a LUCAS (Land Use/Land Cover Area Frame Survey) adatbázisok talaj oldható foszfor koncentráció adatain végeztem. A talajok foszforszintjét befolyásoló tényezők közül kontinentális léptékben elemeztem az European Environmental Agency által fejlesztett térkép agroklímikus zónái (Ceglar et al. 2019), valamint a WordClim adatbázis bioklímikus változói és a LUCAS foszfor koncentrációjának az összefüggéseit. A földhasználat és a talaj oldható foszfor kapcsolatát ugyancsak a LUCAS adatbázis földhasználati adatain elemeztem, az állatlétszámmal való összefüggéseket pedig az EUROSTAT adatain vizsgáltam kontinentális léptékben.

Országos léptékben elemeztem a műtrágyahasználat és a talajok oldható foszfor koncentrációjának a kapcsolatát a KSH megyei műtrágyakijuttatási adatainak elemzésével, valamint ugyancsak országos léptékben a talajok egyéb fizikai és kémiai tulajdonságainak hatásait az AIIR, valamint a LUCAS adatbázis adatainak segítségével.

2.2. Adatharmonizáció

Mivel az oldható foszfor koncentráció méréseket tartalmazó adatbázisokban (AIIR, TIM, LUCAS) részben különböző módszerekkel mért foszfor értékek szerepelnek, ezért azokhoz az elemzésekhez, amelyekben az adatbázisokat egymással összehasonlítva vagy együtt elemeztem, harmonizálnom kellett az adatokat. Az

adatharmonizációhoz az alábbi konverziós egyenletet használtam (Loncaric et al. 2006):

$$\text{OLSEN-P} = 77.75 + 0.412 \times \text{AL-P} - 9.86 \times \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$$

2.3. A térképezés lépései

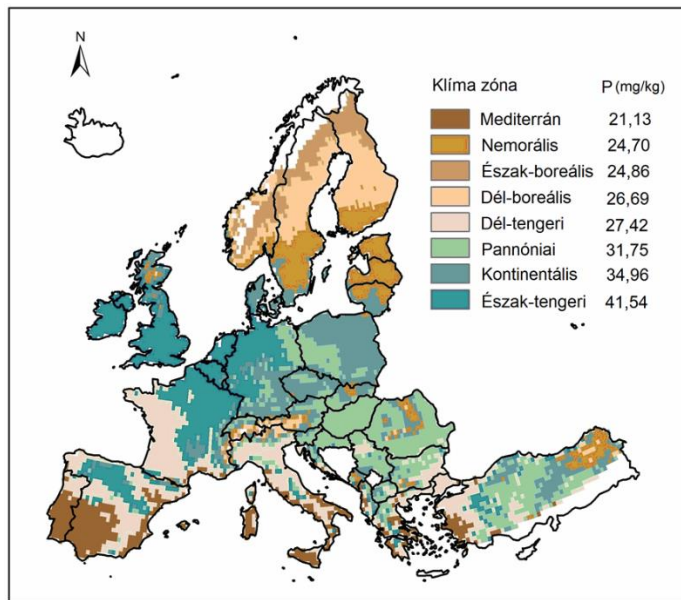
A térképeket geostatistikai módszerek segítségével (krigelés és regresszió krigelés) készítettem öt egymásra épülő lépésben:

1. Az országos foszfor koncentráció térkép készítéséhez az AIIR adatbázis adta a legmegbízhatóbb alapot a nagy adatsűrűsége miatt. Az AIIR adatokkal való térképezés során a végső térkép elkészítéséhez nem használtam segédváltozókat
2. Az AIIR alapján készült térkép segítségével kiszámoltam a LUCAS adatbázis pontjain az adatbázisok foszfor értékeinek különbségeit.
3. A számított különbségeket regresszió krigeléssel - a pH, mint segédváltozó-bevonásával végeztem el.
4. Az AIIR-ból készült raszter térkép és a változást mutató raszter térképek összeadásával a 2009-es és a 2015-ös időszakokra jellemző koncentráció értékeket mutató térképek készültek.
5. Az AIIR-ból készült 1985-89 időszakot reprezentáló, valamint a LUCAS 2009 és 2015 évet reprezentáló koncentráció térképekből ellátottsági kategória térképeket készítettem Antal et al (1979) határérték rendszerének megfelelően.

3. Eredmények

3.1. A talajok oldható foszforkoncentrációja és az éghajlat kapcsolata

Az EEA által publikált agroklimatikus zónatérkép és a LUCAS adatbázis foszforadatai alapján az egyes klímazónák között statisztikailag igazolható szignifikáns különbségek figyelhetők meg. Azokban a klímazónákban magasabb a talajok foszfor koncentrációja, ahol a klíma intenzív növénytermesztést tesz lehetővé, míg a klímát tekintve szélsőségesebb, a növénytermesztés szempontjából kedvezőtlen területek talajain alacsonyabb a foszfor koncentráció (1.ábra). A klímát részletesebben leíró WordClim adatbázis bioklimatikus változóival már nem sikerült szorosabb összefüggéseket kimutatni.



1. ábra: Az egyes klímazónákra jellemző átlagos Olsen foszfor koncentráció (mg/kg).

3.2. A talajok oldható foszfortartalmának kapcsolata a földhasználattal

Összességében elmondható, hogy az átlagos foszforértékek alacsonyabbak a természetes vagy természetközeli (nem trágyázott) területek esetében, míg a trágyázott területek (gyep és termőföldek) illetve mesterséges (városi, ipari) területek lényegesen magasabb foszfor koncentrációval jellemezhetőek.

A LUCAS felszínborítási adatbázis fő kategóriái közül a termőföldek alkategóriáit tovább elemezve az egyes növénykultúra csoportok talajain mért oldható foszfortartalom összehasonlításával érdekes összefüggéseket találtam. Az elemzés azt mutatta, hogy messze a gyök gumós növények (burgonya, cukorrépa) talajaiban található a legtöbb foszfor, ami azért is meglepő mert az említett növényeknek lényegesen alacsonyabb a fajlagos foszfor tápanyag igényük, mint pl. az egyéb szántóföldi növényeknek (napraforgó, gabonafélék). A LUCAS adatbázis mintapontjainak eloszlásából azonban kiderült, hogy ezeknek a gyök gumós növényeknek a reprezentáltsága jóval magasabb az intenzívebb művelésű pedoklimatikus zónákban, ahol eleve jóval magasabb szinten trágyáznak. Emellett az is kiderült, hogy egyes foszforigényesebb növények (pl. napraforgó) kevésbé intenzív művelésű területeken (melegebb klímazónákban) jellemzőek inkább, s ezért alacsony foszfor koncentrációval jellemezhetőek a természetű növények talajai.

3.3. A talajok oldható foszfortartalmának kapcsolata az állatlétszámmal

Az eredmények azt mutatták, hogy a szarvasmarha-félék sűrűsége és a talajok oldható foszfortartalma között egyértelmű pozitív irányú kapcsolat figyelhető meg. A sertés állatsűrűség és a foszfor szint kapcsolata közepes, míg a juh és a kecske sűrűség nem hozható összefüggésbe a talajok oldható foszfor koncentrációjával.

3.4. A talajok oldható foszfor tartalmának kapcsolata egyéb talajtulajdonságokkal

Az AIIR adatbázis elemzése során minden esetben szignifikáns kapcsolat figyelhető meg a talaj foszfor tartalma és az egyéb talajparaméterek között, azonban a különböző irányú kapcsolatok többségében gyengék. A pH és a mésztartalom az, ami kiemelkedik a kapcsolat erőssége szempontjából (Pearson korrelációs együttható $r=0,46$ és $r=0,33$ értékekkel).

A LUCAS adatbázis talajparaméterei és a foszfor koncentráció között szintén csak gyenge kapcsolat figyelhető meg, figyelemre méltó viszont, hogy a pH-val és a mésztartalommal való, az AIIR esetén megfigyelt pozitív irányú kapcsolat a LUCAS esetén negatívba fordult át, és bár gyenge a kapcsolat, de statisztikai értelemben szignifikáns.

3.5. A KSH megyei műtrágya kijuttatás adatai, valamint az AIIR- és a LUCAS adatbázisban mért talaj foszfor koncentráció megyei átlagainak összefüggései

A KSH adatai alapján az ország foszfor műtrágya felhasználása a rendszerváltást követően a korábbi intenzív műtrágyahasználat kb. 25%-ára esett vissza. Mindez jól látszik az AIIR és a LUCAS talaj oldható-foszfortartalom adatai alapján is. A két oldható foszfor adatokat tartalmazó adatbázis (AIIR, LUCAS) mérési éve előtti 20 éves periódus (1970-1989, valamint 1990-2009) műtrágya kijuttatás megyei adatait összehasonlítottam az AIIR (1985-89) valamint a LUCAS 2009-es talaj foszfor adatainak megyei átlagaival. A Pearson-féle korreláció vizsgálat eredménye $r=0,68$ lett az AIIR adatbázis foszfor adatai és a KSH foszforműtrágya-kijuttatás megyei átlagai (1970-1989) között és $r=-0,31$ a LUCAS 2009-es adatbázis foszfor adatai és a foszforműtrágya-kijuttatás megyei átlagai (1990-2009) között.

3.6. Az AIIR a LUCAS és a TIM adatbázisok országos adatainak összehasonlítása

Magyarország mezőgazdasági talajainak foszfor koncentrációját és annak változását a három adatbázis (AIIR, TIM és LUCAS) adatain részletesen is megvizsgáltam. Az adatbázisok leíró statisztikai vizsgálatánál szembevetendő, hogy a TIM adatbázis foszfor adatai (1992-től 2010-ig háromévente) az AIIR adatbázishoz hasonló vagy azt akár meghaladó foszfor koncentrációkat mutat országosan (1. táblázat), ami az 1989-utáni műtrágya kijuttatás drasztikus csökkenésének ismeretében nem tűnik reálisnak. Feltételezhetően a TIM őszi -az alaptrágyázással egyidőben zajló- mintavételezése miatt a mérések túlbecsülik a talajok oldható foszforkészletét. Emiatt a foszforszintek térképezéséhez csak a két nyári mintavételezésű adatbázis (AIIR és LUCAS) adatait használtam.

1 táblázat: Az AIIR a TIM és a LUCAS adatok AL-P₂O₅-ra átkonvertált értékeinek leíró statisztikai elemzése (magyarország mezőgazdasági talajainak eredményei)

Adatbázis	minimum	maximum	átlag	medián	szórás
AIIR 1985-89	2,50	550,00	190,29	175,90	91,29
TIM 1992	3,00	8890,00	270,60	161,50	555,70
TIM 1995	11,00	9073,00	300,37	160,00	652,98
TIM 1998	7,00	9433,00	286,72	161,00	562,07
TIM 2000	7,00	5705,00	260,79	147,00	470,92
TIM 2004	6,60	9540,14	290,84	154,77	646,19
TIM 2007	6,37	12636,00	314,80	174,00	639,24
LUCAS 2009	19,41	1072,81	107,90	83,45	106,81
TIM 2010	10,20	14500,00	339,98	165,00	889,60
LUCAS 2015	17,47	517,38	105,18	79,96	81,28

3.7. A térképezés eredményei

Az AIIR és a LUCAS adatokból készült foszfor koncentráció, illetve a foszfor koncentráció változást bemutató térképek azt mutatják, hogy a foszfor koncentráció legnagyobb mértékben az ország középső részén csökkent. A foszfor koncentráció csökkenés átlagos értéke országosan -82,78 mg/kg 1989 és 2009 között, valamint -82,92 mg/kg 1989 és 2015 között. Ez az eredmény összhangban van azzal a ténnyel, hogy a műtrágyázás az 1989 előtti 80 kg/ha átlagos hatóanyag kijuttatásról a 2010-es évekre 20 kg/ha alá csökkent.

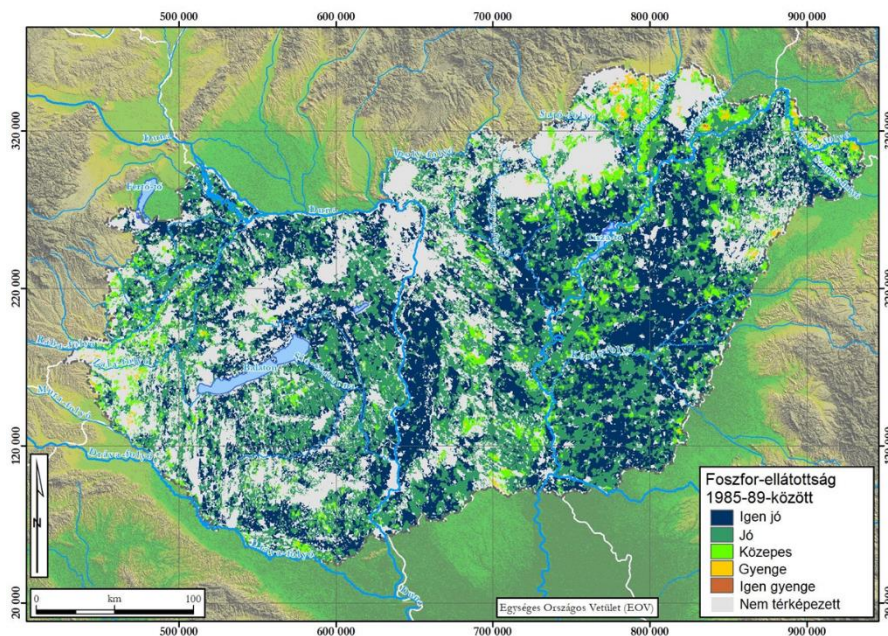
A változás összefüggésbe hozható néhány talajtulajdonsággal, elsősorban a talaj pH-val és a mésztartalommal. A foszfor koncentráció változásának kapcsolata az egyes talajtulajdonságokkal a 2. táblázatban látható.

2. táblázat Az AIIR (1989) és a LUCAS (2009 és 2015) adatbázisok talaj oldható foszfor értékei közötti változások AL-P₂O₅-ban (mg/kg) kifejezve (

	P ₂ O ₅ változás 1989-2009	P ₂ O ₅ változás 1989-2015
agyag	0,21**	0,26**
por	0,00	0,00
homok	-0,12*	-0,15*
pH	-0,41**	-0,43**
mész tartalom	-0,36**	-0,37**
szerves szén	-0,04	-0,06

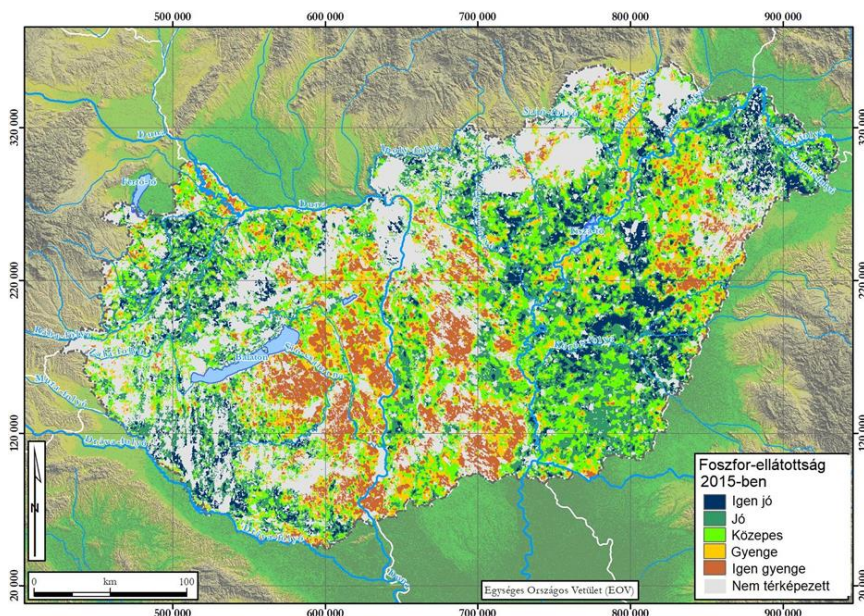
Magyarország mezőgazdasági talajainak foszfor-ellátottsági térképe 1985-89 között (Antal et. al, 1979 határérték rendszerének megfelelően) a 2.ábrán látható.

A térkép alapján az 1989-et megelőző időszakban az ország 0,03%-án igen gyenge, 0,83%-án gyenge, 8,42%-án közepes, 47,08%-án jó és 43,65%-án igen jó foszfor-ellátottság volt tapasztalható. A gyengébb ellátottságú területek zömében az ország észak-keleti felében található, elsősorban a Duna-Tisza közti területen, valamint a nyugati határ mentén.



2.ábra: Magyarország mezőgazdasági területeinek foszfor-ellátottsága 1985-89-ben.

Magyarország mezőgazdasági talajainak foszfor-ellátottsági térképe 2015-ben a 3.ábrán látható. A térkép alapján az ország mezőgazdasági területeinek 13,57%-án igen gyenge, 16,01%-án gyenge, 30,25%-án közepes, 29,22%-án jó és 11,94%-án igen jó foszfor-ellátottság tapasztalható.



3. ábra: Magyarország mezőgazdasági területeinek foszfor-ellátottsága 2015-ben.

Összegezve, az ország kb. 60%-án közepes vagy annál rosszabb az ellátottság a 2015-ös adatok alapján, míg 1989 előtt alig 10% volt a közepes és gyengébb ellátottsággal jellemezhető területek összessége

4. Következtetések és javaslatok

Talajaink foszfor tartalma számos olyan tényező eredője, amelyek különböző léptékekben érvényesülnek. Kontinentális léptékben a klíma, országos léptékben a földhasználat (beleértve a trágyázott területeken történő növénytermesztési gyakorlatot) befolyásolja leginkább a talajok foszfor koncentrációját. Emellett egyes talajtulajdonságok hatása (pH, mész) is többé-kevésbé megfigyelhető.

Magyarország mezőgazdasági területe az EU tagállamainak értékeivel összevetve közepes foszfor koncentrációval jellemezhető. A rendszerváltás előtti (1985-89) adatok alapján Magyarország mezőgazdasági területeinek több mint 90%-a jó vagy igen jó ellátottsággal rendelkezett (Antal et al. 1979 határérték rendszere szerint), köszönhetően a 70-es és 80-as évek feltöltő jellegű trágyázási gyakorlatának. A műtrágyázás szintje '89 után körülbelül a korábbiak 25%-ára csökkent, ami tartósan mérleghiányos tápanyag-gazdálkodáshoz vezetett, így nem meglepő, hogy ezzel

párhuzamosan talajaink foszfor-ellátottsága is jelentős csökkenésnek indult. Jelenleg csupán talajaink 40%-án jó vagy igen jó a foszforellátottság, és sajnos a 2009 és 2015-ös LUCAS adatai alapján a csökkenés tendenciája továbbra is folytatódik. A KSH adataiból is látszódik, hogy az országos foszformérleg nem javult, jelenleg is negatív és a műtrágyaárak hirtelen és erőteljes növekedése (2022-ben) valószínűleg tovább ront majd a helyzeten. Ha megnézzük az országos foszfor-ellátottsági térképeket, akkor azt látjuk, hogy a legérzékenyebb/leggyengébb ellátottságú területek az ország középső részén találhatók. Ezeken a területeken csökkent a legnagyobb mértékben a talajok foszfor koncentrációja és itt mérhetjük jelenleg is a legalacsonyabb foszforértékeket. A csökkenés egyértelműen összefüggésbe hozható a talajok pH értékével és mésztartalmával, ami arra enged következtetni, hogy a magasabb mésztartalmú, bázikus pH-val jellemezhető területeken a korábban kijuttatott foszfor különböző Ca-ásványok formájában kötődhetett le. Ez nem jelenti azt, hogy ez a foszfor teljesen eltűnt a talajainkból, hanem a növények számára nehezebben hozzáférhető alakba került át. Ezeken a területeken érdemes lenne olyan alternatív megoldásokat is alkalmazni, amelyek a talajban lekötődött foszfortöke újra aktivizálásával segítik a foszfor-ellátottság javulását.

5. Új tudományos eredmények

1. Az EEA agroklimatikus zónái és a LUCAS adatbázis talaj oldható foszforkoncentráció között elsőként állítottam fel statisztikai összefüggést és megállapítottam, hogy a klímazónák közül a szélsőséges hőmérsékletű kevésbé intenzív művelésű zónák (Mediterrán, Észak-boreális, Dél-boreális) alacsonyabb talaj foszfor tartalommal jellemezhetőek, magasabb foszfor tartalom az intenzívebben művelt (Észak-tengeri, Kontinentális) zónákban tapasztalható.

2. Az állatsűrűség és a talajok oldható foszfor koncentrációjának összefüggései alapján kimutattam, hogy a szarvasmarha-félék sűrűsége áll legszorosabb kapcsolatban a talajok foszfor koncentrációjával (korrelációs együttható=0,61)

3. AIIR adatbázis és a LUCAS adatbázis statisztikai elemzésének eredményei alapján megállapítottam, hogy országos viszonylatban igen jelentős AL-P₂O₅ csökkenés figyelhető meg a rendszerváltás előtti, valamint a 2009 és 2015-ös állapotok között. Az átlagos csökkenés az AIIR adatok, valamint a 2009-es és a 2015-ös LUCAS adatbázis között egyaránt -83 mg/kg, míg ugyanez medián értékkel számolva -91 mg/kg az AIIR és a 2009-es LUCAS és -92 mg/kg az AIIR és a 2015-ös LUCAS között.

4. Az AIIR és a LUCAS adatbázisok alapján megfigyelhető P₂O₅ változás vizsgálatának eredményei néhány talajtulajdonság függvényében azt mutatják, hogy az 1989 és 2009, valamint az 1989 és 2015 között megfigyelhető jelentős talaj P₂O₅ változás (csökkenés) statisztikailag igazolhatóan függ a talaj pH-tól (-0,43) valamint a mésztartalomtól (-0,37). Mindez azt jelenti, hogy azokon a területeken csökkent nagyobb mértékben a talaj oldható foszfor koncentrációja, ahol a talajban magasabb mésztartalom és bázikus pH jellemző.

5. Az AIIR és a LUCAS adatbázisok talaj oldható foszfor adatainak felhasználásával, regresszió krigelés eljárással országos léptékű térképek készültek az 1985-89, 2009 és 2015-ös AL-P₂O₅ koncentrációk térbeli mintázatának reprezentálására.

6. Az AIIR (1985-89) és a LUCAS (2015) adatokból készült AL-P₂O₅ adatok alapján foszfor-ellátottsági térképeket készítettem. A térképek alapján megállapítottam, hogy az 1989-et megelőző időszakban az ország 0,03%-án növénytermesztési szempontból igen gyenge, 0,83%-án gyenge, 8,42%-án közepes, 47,08%-án jó és 43,65%-án igen jó foszfor-ellátottság volt tapasztalható. Az 2015-ös ellátottság szerint az ország mezőgazdasági

területeinek 13,57%-án igen gyenge, 16,01%-án gyenge, 30,25%-án közepes, 29,22%-án jó és 11,94%-án igen jó foszforellátottság tapasztalható.

Irodalomjegyzék

Antal, J., Buzás, I., Debreczeni, B., Nagy, M., Sipos, S. & Sváb, J. (Szerk.: Buzás, I., Fekete, A., Buzás I-né, Csengeri P-né & Kovács Á-né), 1979: A műtrágyázás irányelvei és üzemi számítási módszer. I. rész. N, P, K műtrágyázási irányelvek. MÉM Növényvédelmi és Agrokémiai Központ, Budapest 1–47 p.

Ceglar, A., Zampieri, M., Toreti, A. & Dentener, F. 2019. Observed Northward Migration of Agro-Climate Zones in Europe Will Further Accelerate Under Climate Change. *Earth's Future*, 7, 1088–1101.

Loncaric, Z., Popovic, B., Teklc, T., Engler, M., Karalic, K., 2006. Comparison of two soil phosphorus analytical methods in Croatia. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 37, 2867–2881. <https://doi.org/10.1080/00103620600832845>.

Malhotra H, Sharma S, Pandey R., 2018. Phosphorus nutrition: plant growth in response to deficiency and excess. In: *Plant Nutrients and Abiotic Stress Tolerance*. Singapore: Springer, 171–190

Az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációk

Lektorált folyóiratban megjelent publikációk:

Kassai Piroska - Tóth Gergely (2020): Agricultural soil phosphorus in Hungary: High resolution mapping and assessment of socioeconomic and pedological factors of spatiotemporal variability. *Sustainability* 12:13 Paper: 5311, 12 p (Q1)

Tóth Gergely - Kismányoky Tamás - Kassai Piroska* - Hermann, Tamás - Fernandez-Ugalde Oihane - Szabó, Brigitta (2020): Farming by soil in Europe: status and outlook of cropping systems under different pedoclimatic conditions. *PeerJ* 8 :5 Paper: 8984, 18 p (Q1)

Kassai Piroska - Sisák István (2018): The role of geology in the spatial prediction of soil properties in the watershed of Lake Balaton, Hungary. *Geologia Croatica* 71: 1 pp. 29-39., 11 p. (Q2)

Kocsis Mihály - Szatmári Gábor - Kassai Piroska* - Kovács Gábor - Tóth János - Krámer Tamás - Torma Péter - Homoródi Krisztián - Pomogyi Piroska - Szeglet Péter - Csermák Kálmán - Makó András (2022): Soluble phosphorus content of Lake Balaton sediments. *Journal of maps* 18: 2 pp. 142-150., 9 p. (Q1)

Konferencia-kötetben teljesen terjedelemben megjelent publikációk:

Kassai Piroska - Tóth Gergely: Hazai talajaink foszfor ellátottsága és annak változása 1989 és 2009 között. In: Hermann Tamás – Kassai Piroska – Tóth Gergely (szerk.) Földminősítés és földértékelés: az aranykorona alternatívái. Keszthely, Magyarország: Pannon Egyetem (2019) 77 p. pp. 68-72., 5 p.

Kassai Piroska (2016) - Spatial structure analysis of a geological map for digital soil mapping purposes. Congress Book: 8th Croatian-Hungarian and 19th Hungarian Geomathematical Congress. pp. 75-82

Kassai Piroska – Sisák István (2017): Az 1:100 000-es felszíngeológiai térkép, mint környezeti segédváltozó felhasználásának lehetőségei a Balaton vízgyűjtő digitális talajtérképezésében - Nagy Z B. LIX. Georgikon Napok. A múlt mérföldkövei és a jövő kihívásai: 220 éves a Georgikon. (2017) ISBN:9789639639898

Konferencia absztrakt:

Kassai Piroska - Braun, Péter - Cerkasova, Natalja - Nemes Attila - Witing Felix – Strauch Michael - Volk, Martin - Szabó, Brigitta: Hiányzó talajadatok származtatása és harmonizálása SWAT+ modellezéshez európai kisvízgyűjtőkön (2022). In:

Talajtani Vándorgyűlés, absztraktfüzet: Szegedi Tudományegyetem - Mezőgazdasági Kar, Hódmezővásárhely, 2022. szeptember 1-3. pp. 18-19.

Benő András - Kocsis Mihály - Bakacsi Zsófia - Szatmári Gábor, Kassai Piroska - Szabó Brigitta - Laborczy Annamária – Pásztor László (2022): A LUCAS és TIM talajtani adatbázisok összehasonlító elemzése országos prediktív térképezéshez. In: Talajtani Vándorgyűlés, absztraktfüzet: Szegedi Tudományegyetem – Mezőgazdasági Kar, Hódmezővásárhely, 2022. szeptember 1-3. 68 p. pp. 26-27. Paper: 9, 1 p.