

I. A KUTATÁS CÉLJA, A MUNKATERVBEN VÁLLALT KUTATÁSI PROGRAM ISMERTETÉSE

BEVEZETÉS

A foszfor a növények, az állatok és az ember számára egyaránt létfontosságú tápelem, ugyanakkor a talaj foszfor trágyázása nem csupán a talaj növények számára felvehető P tartalmát gazdagítja, de egy bizonyos koncentráció fölött környezeti kockázattal járhat.

Ismeretes, hogy az agronómiailag szükséges - a termés-stabilitáshoz fenntartandó - szintet meghaladó foszfor mennyiségek a talajban a felszíni és felszín alatti vízkészletek terhelését idézhetik elő. A foszfor kijuttatás hatékonyságát a környezetkímélő tápanyag-gazdálkodásban növelni kell, a műtrágya hatóanyag érvényesülés javításán és a környezet terhelését okozó veszteségek csökkentésén keresztül (Gartley and Sims 1994). Ennek eléréséhez a mezőgazdasági termelésben a talajok foszfor mérlegét, az agronómiai és környezetvédelmi szempontokat a jelenlegi tudományos ismeretek szintjén ismételtén értékelni kell azért, hogy a terhelések mezőgazdasági eredetű forrásait meghatározhassuk (Sharpley et al. 1994, Logan, 2000).

Bár a növények számára a fő foszfor-forrásnak a szerves foszfor formákat tekintik, a labilis, ezért könnyen átalakulni képes szerves formák mineralizációjára vonatkozóan bebizonyosodott, hogy a különböző termékenységű talajokon egyaránt fontos foszfor-forrást jelentenek (Stewart and Tiessen, 1987). Korábbi kísérleteink során kapott eredményeink is igazolják, hogy az egyes termőhelyeken szignifikánsan eltérő a P vegyületek átalakulása (Stewart and Tiessen, 1987, Sárdi, 2001).

Az elmúlt évtizedekben világszerte nagyszámú kísérletet végeztek a talajok foszfor ellátottságának biológiai módszerekkel történő megállapítására (Kamprath and Watson, 1980). Számos szerző véleménye szerint a talaj foszfor ellátottságának és a foszfor utóhatásának jellemzésére a növényi P felvétel alkalmasabb, mint a termés mennyisége (Mattingly and Widdowson, 1963). Általában a tenyészedény kísérleteket tartják előnyösebbnek e célra, mivel szabadföldi körülmények közt számos tényező kontrollálhatatlan.

A diagnosztikai célú növényvizsgálatok fontos szerepet töltenek be a trágyázási szaktanácsadás megbízhatóságának továbbfejlesztésében. A fiatal gabonanövényeknél a tápanyag-ellátottság jellemzésére általában a bokrosodás, ill. a szárbaindulás kezdeti stádiumát tartják legmegfelelőbbnek, mert ekkor a tápanyagtartalom elég magas (Kádár, 2004). A rendelkezésre álló hazai és külföldi szakirodalom adataiból látható, hogy a tavaszi árpa kielégítő tápanyag-tartalmára, valamint tápanyag-ellátottsági kategóriáira vonatkozó szakirodalmi adatok köre jelenleg sem teljes. Jelentős különbségeket találunk a foszfortartalom tekintetében is. Bergmann és Neubert (1976) 0,29 P%-ot jelölnek meg marginális foszfor koncentrációként. Több szerző (Reuter-Robinson 1988, 1997) véleménye szerint 0,41 P% tekinthető kritikus szintnek a Feekes Skála 2-3 stádiumában bokrosodáskor, a vetést követő 42 nap elteltével (a nemzetközileg elfogadott megjelöléssel 42 DAS =days after sowing). Mills and Jones (1996) a 0,2-0,5 P% közötti foszfortartalmat tekinti kielégítőnek a kalászás kezdetén.

Annak ellenére, hogy a környezetvédelmi szabályozás indokoltan szigorodó előírásai a tápanyag-gazdálkodás környezeti kockázat-felmérését is érintik, hazánkban a talaj foszfor vizsgálatok környezetvédelmi célú adaptációjára a szükségesnél jóval kevesebb kutatás irányult.

A konvencionális talaj P tesztek a talaj növényi által felvehető P tartalmának becslése céljából fejlesztették ki és kalibrálták. Az utóbbi évtizedekben viszont egyre nagyobb az érdeklődés a hagyományos talaj P meghatározási módszerek környezetvédelmi célú alkalmazása iránt. Ennek oka, hogy a kutatók összefüggést találtak a különböző módszerekkel kivonható talaj P tartalom és a felszíni elfolyással, lemosódással távozó víz oldott szervesen ortofoszfát (oldott

reaktív-P), biológiailag felvehető-P valamint összes-P tartalma között. Ezekre az összefüggésekre a talajok többségénél egy törésponttal két különböző meredekségű lineáris szakaszra bontható görbét kaptak. A töréspont alatti talaj-P tartalmakhoz tartozó felületi elfolyásban és drénvízben a P koncentrációja minimális volt, és gyakorlatilag nem változott, fölötte pedig általában meredeken emelkedni kezdett. Ezekben az összefüggésekben irodalmi adatok szerint a felületi elfolyás és a drénvíz P-tartalma a talaj 0,01 M CaCl₂ oldható P tartalmával helyettesíthető.

A mezőgazdasági területek eutrofizációs kockázatának minősítésére, a talajból felszíni és a drénvízbe jutó oldható P potenciáljának jellemzésére egy másik megközelítés a talajok P telítettségi százalékának mérése.

Savanyú és közel semleges talajokon a P főleg a reaktív (amorf, nem kristályos) Al és Fe vegyületekhez kötődik. A talajban ezen reaktív Al-és Fe-, és a hozzájuk kötött P- mennyisége (a potenciálisan deszorbeálható-P) a 0,2 M ammónium oxalát módszerrel szintén meghatározható (Al_{ox}, Fe_{ox}, P_{ox}). Ezen adatokból a nem karbonátos talajok P-telítettsége:

$$\text{DPS \%} = (P_{\text{ox}} / \alpha \times (\text{Fe}_{\text{ox}} + \text{Al}_{\text{ox}})) \times 100 \quad (1)$$

A 2. egyenletben szereplő α konstans irodalmi tapasztalatok alapján 0,5 értékkel vettük figyelembe:

$$\text{DPS \%} = (P_{\text{ox}} / 0,5 \times (\text{Fe}_{\text{ox}} + \text{Al}_{\text{ox}})) \times 100 \quad (2)$$

Ahol: $0,5 \times (\text{Fe}_{\text{ox}} + \text{Al}_{\text{ox}}) =$ a talaj P szorpciós kapacitása.

Azonos P feltöltöttségű talajon, azonos feltöltő P adagok alkalmazása mellett a kisebb P szorpciós kapacitású talajon nagyobb P telítettségi százalékokat kapunk, mint a nagy P szorpciós kapacitásún.

A talaj P teszt értékek és a felszíni, ill. felszín alatti vizekbe jutó P mennyisége közötti kapcsolathoz hasonlóan a talajokban meghatározható az a kritikus P telítettségi szint, amely fölött ugrásszerűen megnövekszik az agrár eredetű P környezeti kockázata. Holland, belga, ill. egyesült államokbeli (Delaware) kutatók a 25 és 40% közötti intervallumban határozzák meg ezt a kritikus P telítettségi értéket.

Tenyészedény és inkubációs kísérleteink fő célja az agronómiai és extrém magas P adagok hatásának vizsgálata a foszfor agronómiai és környezetvédelmi szempontú értékelése céljából.

Laboratóriumi analíziseink során vizsgáltuk a konvencionális és a környezetvédelmi célú P vizsgálatok alkalmazhatóságát a környezeti P kockázat becslésében.

Eső-szimulátoros kísérleteinkkel a homoktalajok eróziós veszélyeztetettségét kívántunk számszerű adatokkal alátámasztani.

Vizsgálatainkban az alábbi kérdésekre helyeztük a hangsúlyt:

- hogyan befolyásolja a foszfor utóhatás a frissen kijuttatott foszfor hatását?
- milyen mértékben hat az alacsony és magas hőmérséklet, valamint a különböző időtartamú inkubáció a különböző kivonószerekkel mérhető, felvehető foszfor formákra a kísérleti talajokban?
- hogyan változik a növények foszfor-ellátottsága a növekvő foszfor adagok hatására?
- alkalmasak-e az agronómiai és a környezetvédelmi célú P vizsgálatok a foszfor környezeti kockázatának becsléséhez?
- milyen mértékű eróziós foszfor-veszteség lép fel a homoktalajoknál?

A KUTATÁSI FELADATOK KIDOLGOZÁSA SORÁN ELVÉGZETT KÍSÉRLETEK ISMERTETÉSE

A kísérletek talaja olyan tartam- trágyázási kísérletek célszerűen kiválasztott parcelláiból származott, melyekben 10 évig (1963-73 között) intenzív, növekvő adagú feltöltő foszfor trágyázást végeztek (Balázs-Németh, 2002). Ennek eredményeként a talajban 3 növekvő foszfor ellátottsági szint alakult ki (a továbbiakban P0, P1 és P2 alap trágyázási szintek).

A 10 év során kijuttatott összes hatóanyag mennyisége az alábbi volt:

- P0 alap trágyázási szint: trágyázatlan kontroll, 0 kg/ha,
- P1 alap trágyázási szint: 1032 kg P₂O₅/ha
- P2 alap trágyázás szint: 1986 kg P₂O₅/ha

A kísérleti talajok származási helye:

- A.) **Keszthely**, Ramann féle barna erdőtalaj (homokos vályog), 17 % agyag, 1,9 % humusztartalom
- B.) **Szentgyörgyvölgy**, pszeudogleyes barna erdőtalaj (agyagos vályog), 21 % agyag, 2,3 % humusztartalom

A talajmintavétel a 10 évig folytatott trágyázás beszüntetése után 30 év elteltével történt.

A kísérletek beállítása előtt meghatároztuk a talajminták legfontosabb agrokémiai jellemzőit. A talajvizsgálatok eredményeit az 1. táblázatban foglaltuk össze.

1. táblázat A talajok főbb agrokémiai jellemzői a kísérletek beállításakor

TALAJ	Alap-szint	pH		Olsen- P	AL- P	Vizes - P	AL- K ₂ O	N _{min}
		pH _{H2O}	pH _{KCl}	(P ₂ O ₅ mg kg ⁻¹)	(P ₂ O ₅ mg kg ⁻¹)	(P ₂ O ₅ mg kg ⁻¹)	mg kg ⁻¹	Mg kg ⁻¹
Keszthely homokos vályog	P0	6.88	5.93	14.53	19.4	9.58	114.8	31.8
	P1	6.96	5.98	10.93	14.33	8.34	117.4	19.8
	P2	7.05	6.14	16.63	25.81	10.52	126.6	17.2
Szentgyörgy völgy agyagos vályog	P0	6.72	6.14	22.96	44.77	8.8	112.8	10.7
	P1	6.54	5.93	39.16	66.76	10.7	117.4	12.6
	P2	6.60	6.16	40.62	69.30	13.17	105.4	12.1

A talajvizsgálatok eredményeiből látható, hogy a foszfor ellátottság mindkét kísérleti talajban nagyon gyenge volt.

Kutatási feladataink kidolgozása során az alábbi kísérleteket végeztük el:

- A.) Laboratóriumi körülmények között végzett inkubációs kísérletek
- B.) Üvegházi körülmények között végzett kísérletek
- C.) Az erózió mértékének vizsgálatára végzett eső-szimulátoros kísérletek

A.) Laboratóriumi körülmények között végzett kísérletek

Laboratóriumi inkubációs kísérletek

A szabadföldi kísérletek talajmintáival 2 eltérő hőmérsékleten 2, ill. 60 napig inkubációs kísérleteket folytattunk, melyben a tenyészedeny kísérletekkel azonos P kezeléseket alkalmaztunk.

Az inkubációs kísérletek fő jellemzői:

Hőmérséklet:	10°C	40 °C
Időtartam:	2 nap 60 nap	2 nap 60 nap

Frissen adott kezelések: 0, 100, 500 és 1000 mg/kg P₂O₅

A foszfor adagokat finomra őrölt szuperfoszfát műtrágyában (18 % P₂O₅) kevertük a talajmintákhoz. Az inkubáció kísérleteket MIM LP-123/1 típusú bakteriológiai hűtő-fűtő termosztátban, 100 g talaj befogadására alkalmas üveg-edényekben végeztük.

A talajminták nedvességtartalmát a kísérletek időtartama alatt 70 % vízkapacitás értéken tartottuk.

A kísérletek lebontásakor meghatároztuk a talajminták „felvehető” foszfor tartalmát, 3 eltérő tulajdonságú kivonószerezrel: vízdoldható-P (Murphy-Riley, 1962), Olsen-P (Olsen and Sommers, 1982), valamint AL-oldható P tartalmát (Egner et al., 1960).

Az egyes talajkivonatokban mérhető foszfor mennyiségét az általánosan alkalmazott kolorimetriás módszerrel, a kék színű foszfor-molibdenát komplex 660 nm hullámhosszúságon történő mérésével határoztuk meg.

Az elért eredmények ismertetése

Az inkubációs kísérletek során kapott eredményeket az 1.- 6. ábrákon mutatjuk be.

Általánosságban megállapítható volt, hogy a 3 kivonószerezrel meghatározott P mennyiségek az alábbi sorrendet követték:

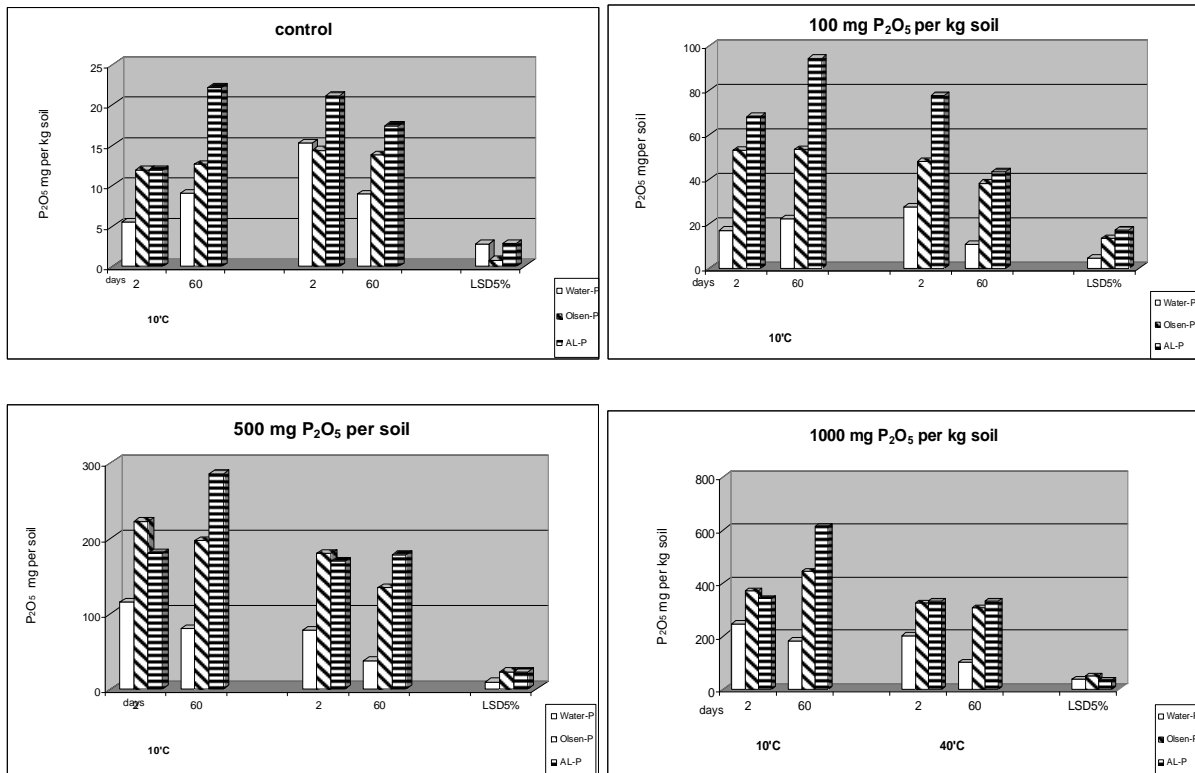
Vízdoldható-P < Olsen-P < AL-P

Ugyancsak általánosan jellemző volt, hogy a P utóhatása még 30 év elteltével is érvényesült, amely mindhárom kivonószereznel megmutatkozott a foszfor mennyiségek alakulásában.

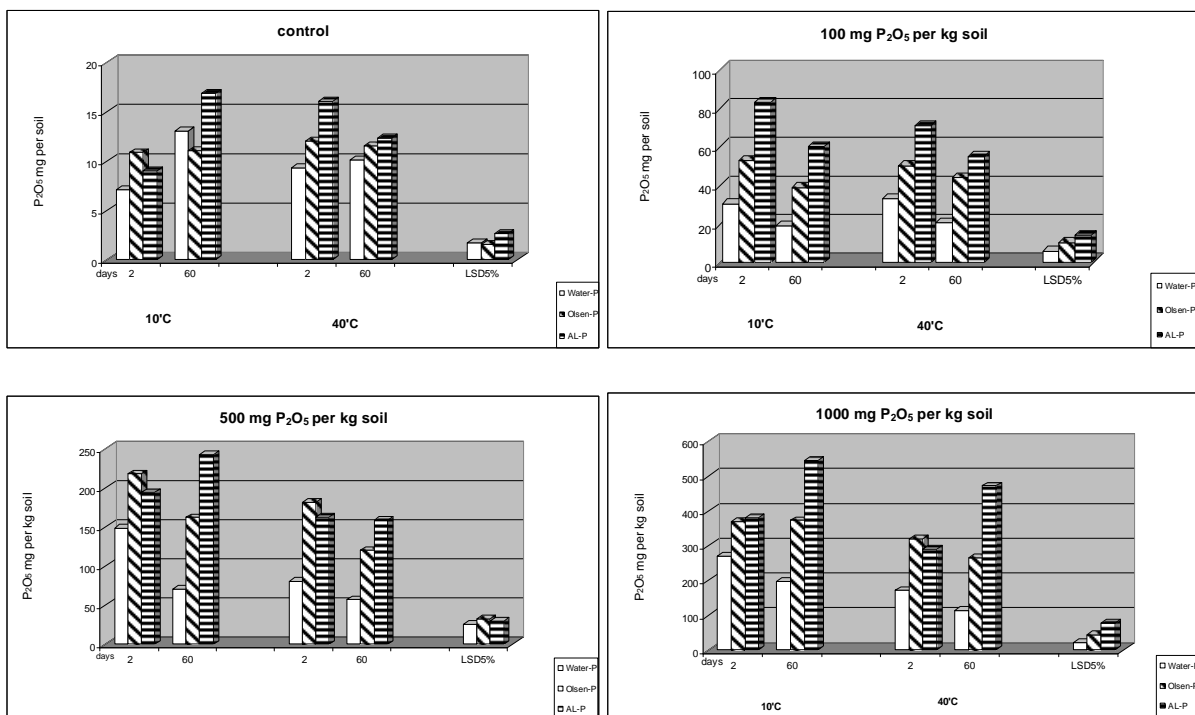
A frissen adott kezelések hatását egyértelműen mutatták az inkubációt követő talajvizsgálatoknál kapott értékek ugrás-szerű növekedései.

Az eltérő hőmérséklet és inkubációs időtartam jelentős, legtöbb kezelésnél statisztikailag igazolható különbségeket eredményezett a 3 különböző módszerrel meghatározható felvehető foszfor tartalomban. Az alacsonyabb hőmérsékleten a savas kémhatású AL oldattal kapott értékek jelentősen magasabbak voltak. Az eredmények azt mutatták, hogy a magasabb hőmérséklet kedvezett a talajban a foszfor immobilizációjának (lásd 1.- 6. ábra).

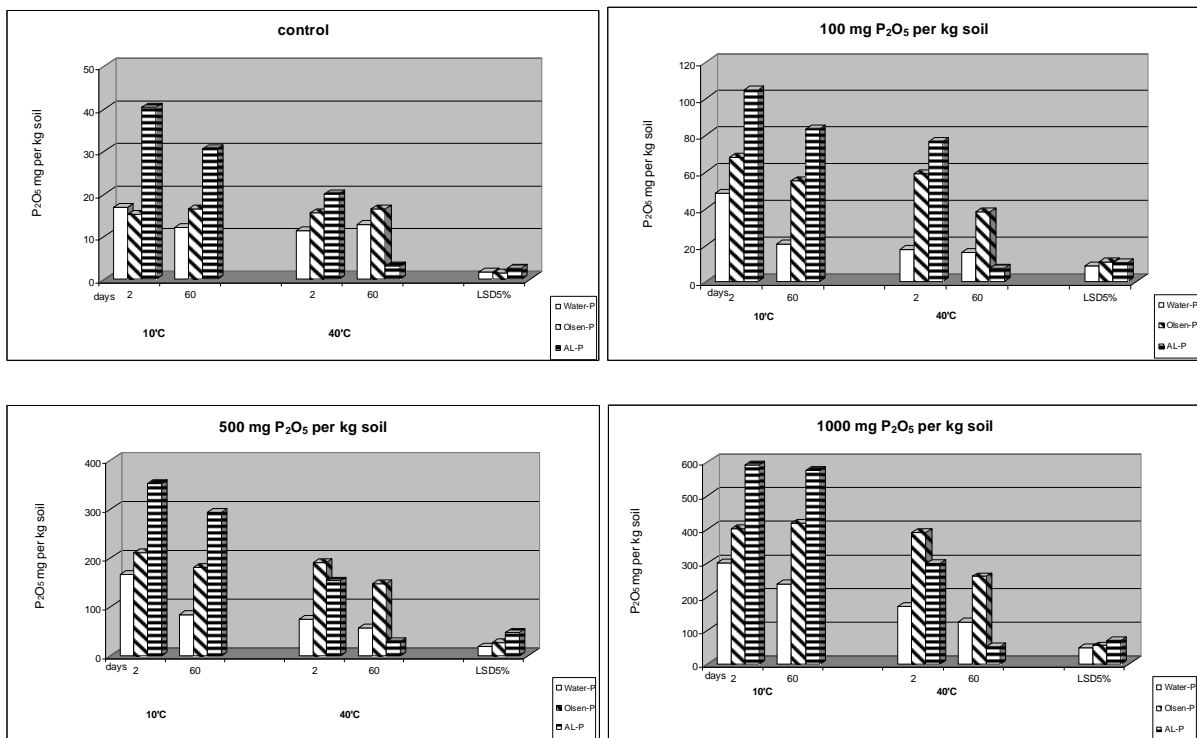
1. ábra A keszhelyi talaj felvehető P tartalmának változása az inkubáció hatására a P0 alapszinten



2. ábra A keszhelyi talaj felvehető P tartalmának változása az inkubáció hatására a P1 alapszinten



3. ábra A keszhelyi talaj felvehető P tartalmának változása az inkubáció hatására a P2 alapszinten

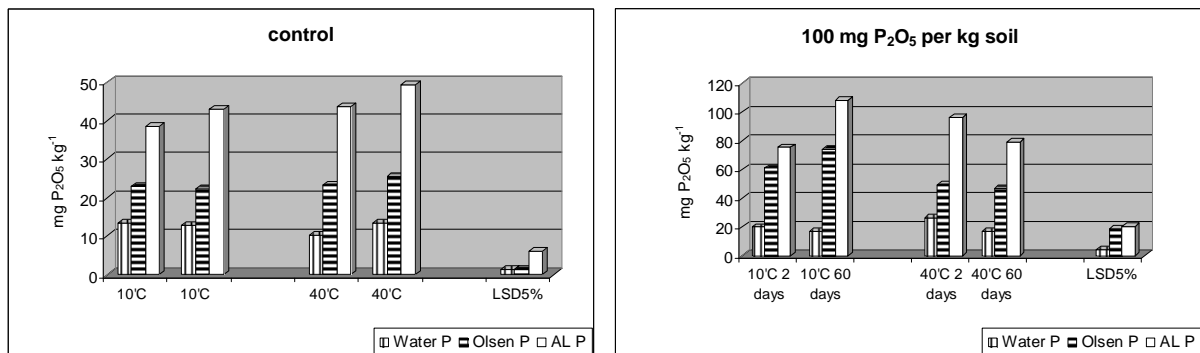


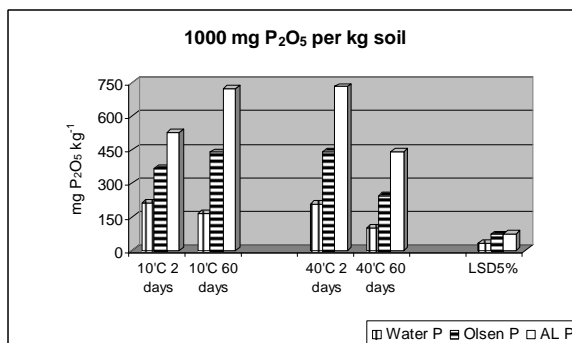
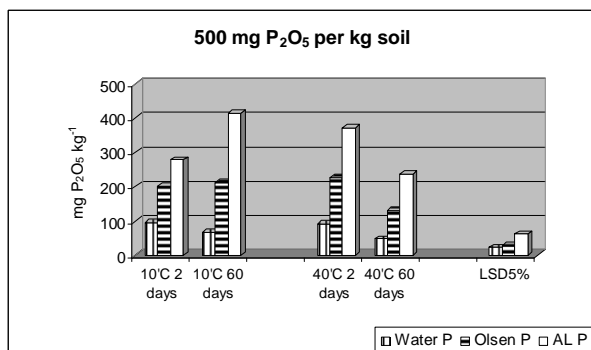
Megfigyelhető, hogy ezen a talajon az AL-P tartalomban mért csökkenés a magas hőmérsékleten a frissen kijuttatott foszfor adagok növekedésével együtt nőtt és különösen a P2 alap trágyázási szinten volt jelentős.

A vízoldható foszfor formák csökkenése az Olsen-P és AL-P értékekhez képest jelentősebb mértékű volt, jelezve, hogy a rövid távú inkubáció alatt is jelentős az immobilizáció.

A szentgyörgyvölgyi pseudoglejes barna erdőtalajjal végzett inkubációs kísérlet eredményei több tekintetben hasonló tendenciát mutattak a keszhelyi kísérleti talajjal kapott eredményekhez. A frissen adott kezelések hatására azonban a P0 alapszinten általában kisebb mértékű volt a foszfortartalom emelkedése.

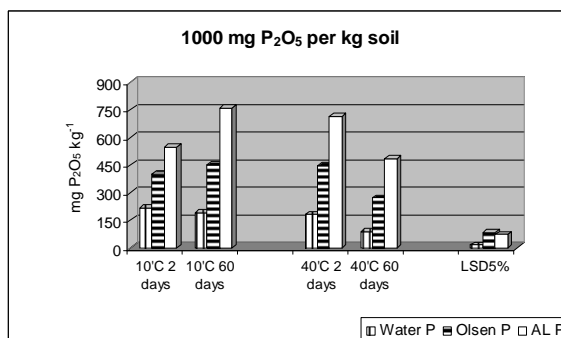
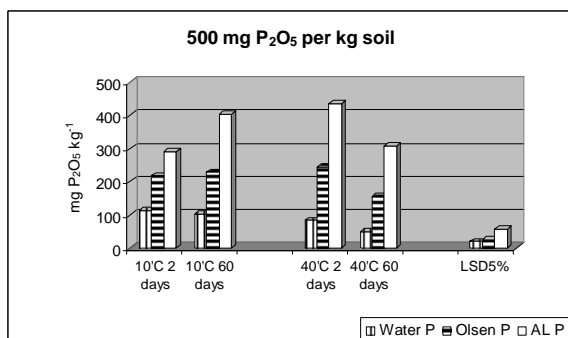
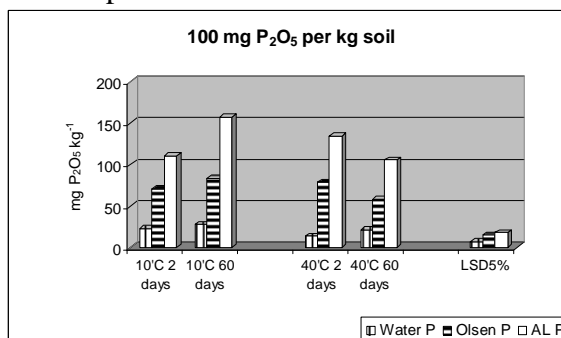
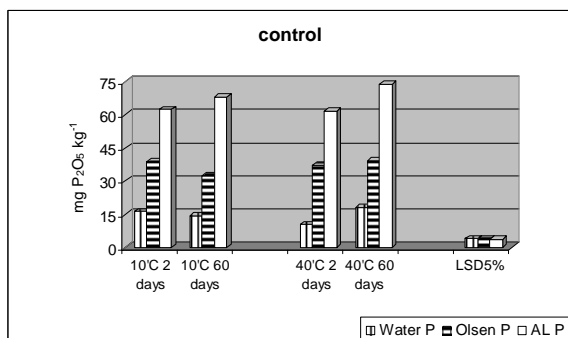
4. ábra A szentgyörgyvölgyi talaj felvehető P tartalmának változása az inkubáció hatására a P0 alapszinten





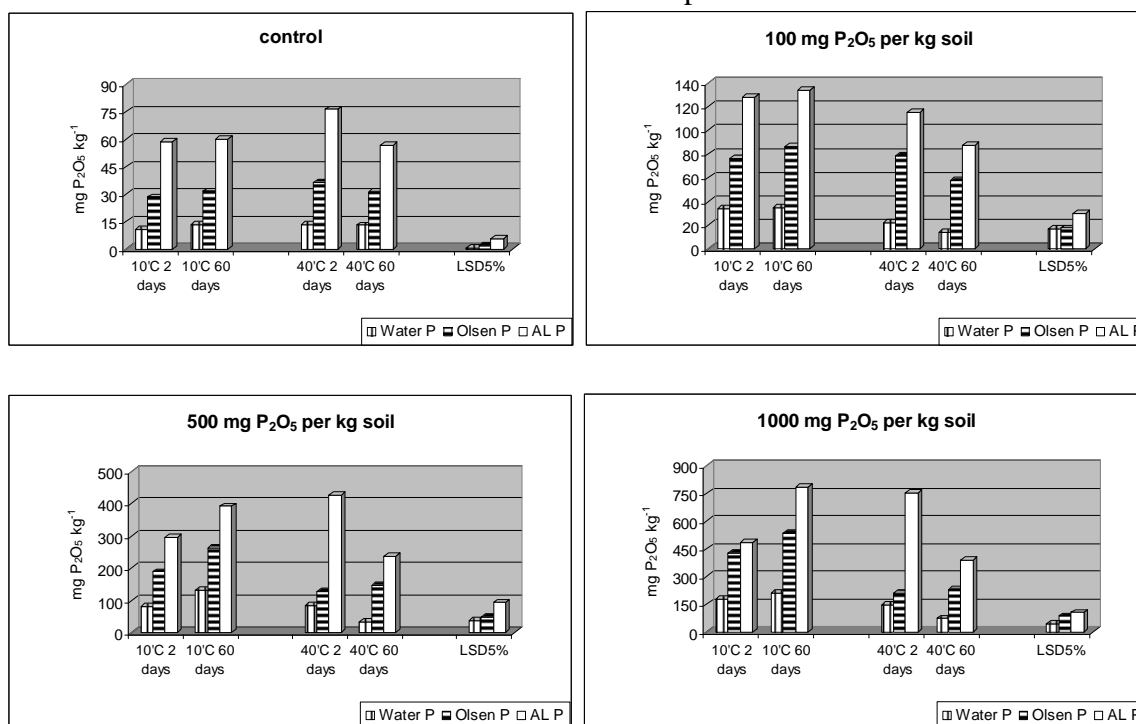
A P1 és P2 alap trágyázási szinten - a foszfor utóhatás eredményeképpen – ugyanazok a frissen adott foszfor- kezelések jóval nagyobb mértékű növekedést idéztek elő a foszfortartalomban, mint a keszthelyi talajon. A 60 napos inkubációt követően mutatkozó csökkenés mértéke is különböző volt. Az Olsen-P mennyiségeknél esetenként még növekedés is mutatkozott, ami elsősorban az alacsonyabb hőmérsékleten figyelhető meg.

5. ábra A szentgyörgyvölgyi talaj felvehető P tartalmának változása az inkubáció hatására a P1 alapszinten



Az AL-kivonatban mért foszfor mennyiségek változása tendenciájában hasonló volt, a 60 napos inkubáció után az alacsony hőmérsékleten emelkedést, míg 40 °C-on statisztikailag igazolható csökkenést tapasztaltunk. Kivételt csak a kontroll kezelés jelentett a P1 alap-szinten.

6. ábra A szentgyörgyvölgyi talaj felvehető P tartalmának változása az inkubáció hatására a P2 alapszinten



A kapott eredményekből korrelációs számítással elemeztük és értékeltük a 3 kivonószerezettel kapott eredmények közti kapcsolatát (2. táblázat).

2. táblázat A különböző kivonószerezettel mért értékek közti kapcsolat (P = 0.000)

10 °C	2 nap	R ²	60 nap	R ²
	Egyenlet (n = 48)		Egyenlet (n = 48)	
Vizes P – Olsen P	y = 1.786x + 10.265	0.8844	y = 2.3579x + 4.6105	0.9469
Vizes P - AL P	y = 2.2685x + 19.798	0.9143	y = 3.5678x + 18.452	0.8959
Olsen P - AL P	y = 1.1985x + 12.235	0.9205	y = 1.5199x + 10.869	0.9546
40 °C				
Vizes P – Olsen P	y = 1.9118x + 10.872	0.8394	y = 2.6925x + 3.8034	0.9143
Vizes P - AL P	y = 3.653x + 24.696	0.8796	y = 4.7935x + 6.1502	0.9178
Olsen P - AL P	y = 1.6359x + 24.054	0.7682	y = 1.7476x + 1.0939	0.9672

Az eredmények azt mutatták, hogy az egyes kivonószerezettel mérhető értékek korrelációja szignifikáns volt a P = 0.000 %-os szinten is. Az R² értékek 0.7682 és 0.9672 között változtak, n = 48.

Legszorosabb kapcsolatot az AL P- Olsen P módszerek között figyelhetünk meg (2 napos inkubáció után R² = 0.9205), 60 napos inkubációt követően pedig R² = 0.9672.

Hasonló eredményeket közöl Wolf and Baker (1985), akik különböző talajokra végezték el az agronómiai célú talajvizsgálatoknál használatos kivonószerek összehasonlítását.

B.) Üvegházi körülmények között végzett kísérletek

A 2003. évben a keszthelyi, majd 2004-ben a szentgyörgyvölgyi tartamkísérletből származó talajmintákkal állítottuk be tenyésztedény kísérletünket

A tavaszi árpa (Jubilant fajta) fiatalkori fejlődését és tápanyag-felvételét a növekvő foszfor adagok hatására tenyésztedény kísérleteink első részében tanulmányoztuk. Keléstől számított 5 héten keresztül edényenként nyolc növényt neveltünk 2 kg talajt tartalmazó edényekben, a talajnedvességet napi öntözéssel heti egyszeri alkalommal súlyraöntözéssel 70 % VK értéken tartottuk.

A tenyésztedény kísérletekben mindhárom alap-trágyázási szinten (P0, P1 és P2) alkalmazott kezelések az alábbiak voltak (mg P₂O₅ /kg talaj):

N0-P0-K0, N200-P0-K200, N200-P100-K200, N200-P500-K200, N200-P1000-K200.

A kezeléseket finomra őrölt műtrágyákkal juttattuk az előzetesen kimért légszáraz talajhoz, alapos átkeveréssel.

E kezelések alkalmazásával tanulmányozni tudtuk mind az agronómiai, mind a környezetvédelmi célú P adagok hatását.

A kísérletek lebontásakor meghatároztuk az átlagos növénymagasságot, majd ezt követően a legfontosabb mutatókat (edényenkénti átlagos zöld tömeg és szárazanyag-termelés, NPK tápelem koncentráció, edényenkénti kivont tápanyagmennyiségek stb.).

Eredmények és értékelésük

Eredmények - Keszthely

A kapott eredményekből látható volt, hogy a fiatal árpa növények átlagos növénymagassága jelentősen megnőtt. A P1 alapszinten adott P₁₀₀ kezelés hatására 100%-os növekedés volt megfigyelhető a kontrollhoz képest (3. táblázat). A P₅₀₀ kezelésnél tovább nőtt, bár a különbség nem szignifikáns. A P₁₀₀₀ kezelés hatására pedig már bekövetkezett bizonyos csökkenés. A P2 alapszinten ez a csökkenés hamarabb felismerhető volt. A P2 alapszinten adott kezelések hatására viszont ugyanaz a tendencia érvényesült, mint a P1 alapszintnél.

A kapott eredményeket összegezve megállapítható, hogy a kezelések hatására a növények szárazanyag-termelése és a felvett P tápanyag-mennyiségek jelentősen megnövekedtek. A kezelések hatásában mutatkozó különbségek többségükben szignifikánsak.

Az eredményekből megállapítottuk, hogy a kezelésenkénti átlagos szárazanyag-termelés minden P alapszinten növekedést mutatott, kivétel nélkül minden új kezelés hatására. A kapott különbségek azonban nem minden esetben bizonyultak statisztikailag igazolhatónak. A kontrollhoz viszonyítva a P₁₀₀ kezelésnél minden P alapszinten szignifikánsan megnőtt a szárazanyag-tömeg, a P₅₀₀ kezelés hatására azonban csak a P1 alapszinten. A P₁₀₀₀ kezelésnél további mérsékelt növekedés volt megfigyelhető.

A fiatal növények NPK tápelem koncentrációja szintén egyértelműen tükrözte a kezelések hatását (3. táblázat). A foszfor tartalom (P %) már az első kezelésnél is szignifikánsan megnőtt, a további adagok hatására pedig szinte ugrás-szerűen emelkedett. Még az N₂₀₀P₁₀₀₀K₂₀₀ kezelésben is statisztikailag igazolhatóan nőtt az N₂₀₀ P₅₀₀ K₂₀₀ kezeléshez képest (3. táblázat).

3. táblázat Az 5 hetes tavaszi árpa fontosabb mutatói, Keszthely

	Kezelés	Magasság (cm)	Szárz.a. (gr)				felvett	felvett	K/P	K/N	N/P
				N%	P%	K%	P	K			
							mg/edény		Arány		
P0 szint	N0-P0-K0	15,00	0,63	2,44	0,33	4,24	1,99	25,99	13,01	1,75	7,58
	N200-P0-K200	18,25	0,61	4,15	0,25	4,56	1,50	27,45	18,03	1,10	16,51
	N200-P100-K200	30,00	1,94	3,98	0,41	5,17	7,76	98,47	12,65	1,30	9,72
	N200-P500-K200	34,50	3,57	3,77	0,70	5,55	24,80	194,66	7,99	1,48	5,41
	N200-P1000-K200	29,00	3,75	3,93	0,80	5,61	29,81	209,56	7,01	1,43	4,92
	SZD5%	8,72	1,205	0,26	0,07	0,777	6,07	60,297	2,03	0,22	1,776
P1 szint	N0-P0-K0	17,50	0,83	2,84	0,29	4,47	2,37	37,03	15,67	1,58	9,95
	N200-P0-K200	18,25	0,94	4,50	0,31	5,00	2,78	47,64	17,21	1,11	15,37
	N200-P100-K200	29,50	2,79	3,80	0,42	5,67	11,68	158,67	13,57	1,49	9,10
	N200-P500-K200	27,50	3,33	3,81	0,61	5,69	20,35	190,25	9,32	1,50	6,24
	N200-P1000-K200	26,25	3,85	4,12	0,82	5,64	31,59	218,44	6,88	1,37	5,02
	SZD5%	3,66	0,68	0,24	0,07	0,68	3,53	51,30	3,52	0,47	2,49
P2 szint	N0-P0-K0	18,50	0,83	3,13	0,41	4,60	3,38	36,48	11,23	1,47	7,65
	N200-P0-K200	22,50	1,15	3,90	0,28	5,11	3,21	59,06	18,44	1,31	14,18
	N200-P100-K200	29,50	3,67	3,89	0,47	6,14	17,01	224,68	13,21	1,57	8,38
	N200-P500-K200	30,00	4,47	3,39	0,57	4,97	25,39	222,42	8,73	1,47	5,99
	N200-P1000-K200	29,00	4,59	3,03	0,73	5,29	33,37	242,16	7,27	1,79	4,18
	SZD5%	5,49	1,24	0,28	0,05	0,93	3,86	39,08	1,87	0,21	1,44

A fiatal árpa növények foszfor koncentrációja mindhárom P alapszinten szignifikánsan megnőtt a frissen adott kezelések hatására. A növekedés (0,57 %-ról 0,73 % P-ra) még a P2 alapszinten adott legmagasabb P adag esetében is statisztikailag igazolható. A trágyázatlan kontroll növények foszfortartalma a keszthelyi talajnál már a 100 mg/kg-os kezelésnél elérte a kritikusnak tekintett 0,41 P%-os szintet. A foszfor utóhatása itt is egyértelműen kimutatható,

A N koncentráció növekedése nem mutat egyértelmű hatást, az átlagos K tartalom viszont minden P szinten emelkedő tendenciát tükröz annak ellenére, hogy a kezelésekben alkalmazott K adagja állandó volt. A növények által felvett edényenkénti tápanyag-mennyiségek egyértelműen mutatják a kezelés-hatásokat (lásd a 3. és 4. táblázatok adatait). Említést érdemel, hogy az edényenként felvett tápanyagok mennyisége (N, P és K mg/edény) mindhárom fő tápelemnél lépcsőzetesen növekvő értékeket mutat, amely a tápelem-koncentrációk emelkedésével is magyarázható.

Figyelemre méltó, hogy még a P2 alap trágyázási szinten frissen adott legnagyobb foszfor adag (1000 mg P/kg) hatására is nőtt a növények foszfor felvétele. A mért tápelem-koncentrációkból kiszámítottuk a tápelem-arányokat, ezek irodalmi adatokkal történő összevetését a további feldolgozás során elvégezzük.

Eredmények - Szentgyörgyvölgy

Az 5 hetes árpa növények átlagos növénymagassága szignifikánsan megnőtt a kisebb P adagú kezelések hatására, a legmagasabb P adag hatására viszont már csökkenés mutatkozott. Ez minden alapszinten megfigyelhető volt (4. táblázat).

4. táblázat Az 5 hetes tavaszi árpa fontosabb mutatói, Szentgyörgyvölgy

	Kezelés	Magasság Száraz.a.					felvett P	felvett K	K/P	K/N	N/P
		(cm)	(gr)	N%	P%	K%	mg/edény	Arány	Arány	Arány	
P0 szint	N0-P0-K0	38,3	2,35	1,40	0,29	2,90	6,68	68,20	10,19	2,07	4,92
	N200-P0-K200	42,67	2,85	2,83	0,23	4,57	6,54	129,12	19,79	1,61	12,30
	N200-P100-K200	41,00	5,12	2,87	0,31	4,09	15,95	207,87	13,04	1,43	9,20
	N200-P500-K200	40,67	5,71	2,98	0,52	3,98	28,56	222,06	7,76	1,34	5,83
	N200-P1000-K200	37,00	5,46	3,12	0,64	4,27	35,10	233,08	6,76	1,37	4,92
	SZD5%	3,59	1,00	0,23	0,08	0,45	4,27	21,81	0,91	0,13	0,78
P1 szint	N0-P0-K0	31,67	1,87	1,72	0,34	2,92	6,45	53,81	8,49	1,70	5,00
	N200-P0-K200	43,00	3,73	3,01	0,30	4,52	11,29	168,39	14,93	1,50	9,96
	N200-P100-K200	39,67	5,27	2,65	0,39	4,00	20,69	210,49	10,20	1,51	6,83
	N200-P500-K200	43,33	6,91	2,66	0,50	3,95	34,88	273,66	7,90	1,49	5,32
	N200-P1000-K200	43,00	6,97	2,95	0,61	4,35	42,52	303,09	7,14	1,48	4,84
	SZD5%	2,46	0,64	0,31	0,05	0,35	4,48	30,14	0,74	0,18	0,74
P2 szint	N0-P0-K0	44,67	3,23	1,21	0,30	2,96	9,70	95,38	9,81	2,44	4,03
	N200-P0-K200	48,33	5,11	2,60	0,28	4,07	14,31	208,14	14,58	1,57	9,30
	N200-P100-K200	43,00	6,85	3,22	0,38	4,23	26,11	289,69	11,13	1,32	8,44
	N200-P500-K200	45,67	7,13	3,16	0,62	4,22	44,15	301,38	6,81	1,34	5,10
	N200-P1000-K200	44,67	7,63	2,80	0,64	4,04	48,92	307,65	6,32	1,45	4,37
	SZD5%	4,02	0,76	0,16	0,02	0,27	4,57	31,90	0,96	0,08	0,41

A P₁₀₀ kezelés hatására a szárazanyag produkció minden alapszinten számottevően fokozódott a kontrollhoz képest. A P₅₀₀ kezelésnél tovább nőtt, bár a különbség nem mindig szignifikáns. A P₁₀₀₀ kezelés hatására pedig már bekövetkezett bizonyos csökkenés. Érdekes megfigyelés, hogy ezen a talajon a P₂ alapszinten nem volt csökkenés.

Az 5 hetes korú tavaszi árpa NPK tápelem koncentrációja ugyancsak követte a kezelések hatását. A foszfor tartalom (P %) már az első kezelésnél is szignifikánsan megnőtt, a további adagok hatására pedig szinte ugrás-szerűen emelkedett. Még az N₂₀₀P₁₀₀₀K₂₀₀ kezelésben is nőtt az N₂₀₀ P₅₀₀ K₂₀₀ kezeléshez képest. A kontroll kezelésnél a növények P tartalma a marginálisnak tekintett szinten volt, a 100 mg/kg foszfornál nagyobb adagú kezelések hatására pedig a kritikus határérték (0,41 P%) fölé emelkedett mindhárom alap trágyázási szinten. A foszfortartalom változásában egyértelműen megfigyelhető volt az utóhatás pozitív befolyása.

Általánosságban megfigyelhető volt, hogy a tavaszi árpa ezen a talajon magasabb szárazanyagtömeget produkált, míg nitrogén, foszfor és káliumtartalma elmaradt a keszthelyi talajjal folytatott kísérlet azonos kezeléseiben kapott eredményekhez képest. A legmagasabb N koncentrációt a P2 alap trágyázási szinten adott N200P100K200 kezelésnél kaptuk, a legtöbb foszfort érhető módon a legnagyobb adagú friss P kezelésnél tartalmazták a növények.

Az átlagosan kivont tápanyag-mennyiségek (N, P és K mg/edény) világosan tükrözik a kezeléseket: lépcsőzetesen növekednek, még a P2 alap trágyázási szinten frissen adott legnagyobb foszfor adag (1000 mg P/kg) hatására is statisztikailag igazolhatóan nőtt a növények foszfor felvétele (44.15 mg/edény értékről 48.92 mg-ra).

A tenyészedénykísérletek lebontását követően meghatároztuk a talajmintákban levő AL-oldható P és K mennyiségeket. A kapott eredményeket az 5. táblázatban foglaltuk össze.

5. Táblázat Talajvizsgálati eredmények a tenyészedény kísérletek bontásakor

Alapszint	Frissen adott kezelések P ₂ O ₅ mg kg ⁻¹	Keszthely		Szentgyörgyvölgy	
		AL-P ₂ O ₅ mg kg ⁻¹	Olsen-P ₂ O ₅ mg kg ⁻¹	AL-P ₂ O ₅ mg kg ⁻¹	Olsen-P ₂ O ₅ mg kg ⁻¹
P0	N₀P₀K₀	25.0	6.49	46.17	24,32
	N₂₀₀P₀K₂₀₀	28.2	7.45	41.6	23.75
	N₂₀₀P₁₀₀K₂₀₀	62.5	26.03	78.2	48.36
	N₂₀₀P₅₀₀K₂₀₀	168.9	131.76	314.8	160.43
	N₂₀₀P₁₀₀₀K₂₀₀	540.0	241.94	877.03	309.22
	LSD_{5%}	19.7	16.6	7.87	5.27
P1	N₀P₀K₀	21.1	3.76	62.4	31.8
	N₂₀₀P₀K₂₀₀	18.2	3.09	57.7	30.26
	N₂₀₀P₁₀₀K₂₀₀	50.3	20.88	102.2	57.13
	N₂₀₀P₅₀₀K₂₀₀	153.6	115.13	334.1	158.37
	N₂₀₀P₁₀₀₀K₂₀₀	539.8	240.82	968.03	332.33
	LSD_{5%}	40.14	11.40	51.45	17.62
P2	N₀P₀K₀	39.9	12.29	64.06	32.67
	N₂₀₀P₀K₂₀₀	49.1	11.31	72.57	34.93
	N₂₀₀P₁₀₀K₂₀₀	87.0	35.86	106.07	57.36
	N₂₀₀P₅₀₀K₂₀₀	186.5	135.42	394.6	200.84
	N₂₀₀P₁₀₀₀K₂₀₀	594.8	319.17	1017.07	348.02
	LSD_{5%}	26.41	5.40	22.04	13.46

A laboratóriumi vizsgálatok eredményeiből látható, hogy a kísérlet után visszamaradó foszformennyiségek tükrözik a tartam trágyázás eredményeként a P alapszinteken kialakult különbségeket, másrészt pedig az új kezelésekben kijuttatott adagok hatását. A P2 alapszinten kapott következetesen alacsonyabb AL-P₂O₅ értékek egyik lehetséges magyarázata a növények által kivont nagyobb P mennyiségekben rejlik, az okok teljes körű feltárásához azonban még további elemzések szükségesek.

A kísérletekben kapott eredmények nélkülözhetetlenek a környezetvédelmi célú foszfor vizsgálatok kalibrációjában, hozzájárulnak a P trágyázás környezeti kockázatának becsléséhez.

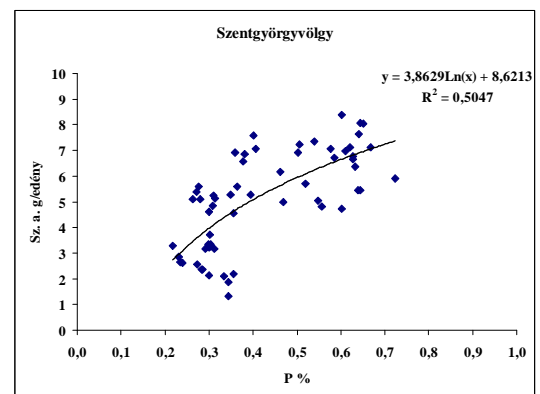
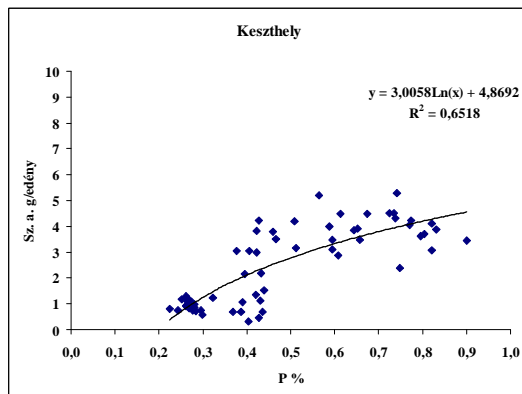
A kísérlet után visszamaradó foszfor mennyiségek a tartam trágyázás eredményeként a P alapszinteken kialakult különbségeket, ill. a foszfor utóhatását mutatják, valamint az új kezelésekben kijuttatott adagok hatását. A P2 alapszinten tapasztalható alacsonyabb AL-P₂O₅ értékek lehetséges magyarázata a növények által kivont nagyobb P mennyiségekben lehet.

A tenyészedénykísérletek során mért növényvizsgálati és talajvizsgálati eredmények (AL-P₂O₅ és Olsen-P₂O₅ tartalom) kapcsolatának jellemzésére korreláció számításokat végeztünk. Az üvegházi körülmények között nevelt tavaszi árpa növények fejlődési stádiuma a Feekes skála szerint: 7-8, szárbaindulás. Eredményeinket a 7.- ábrán mutatjuk be.

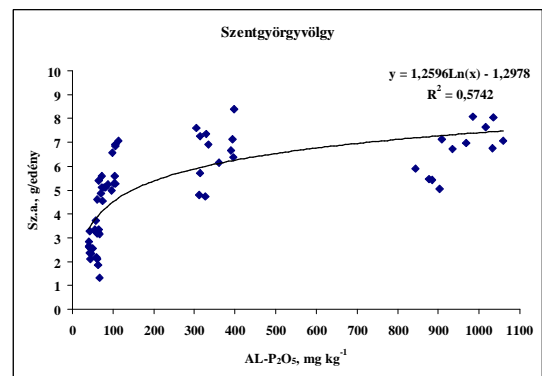
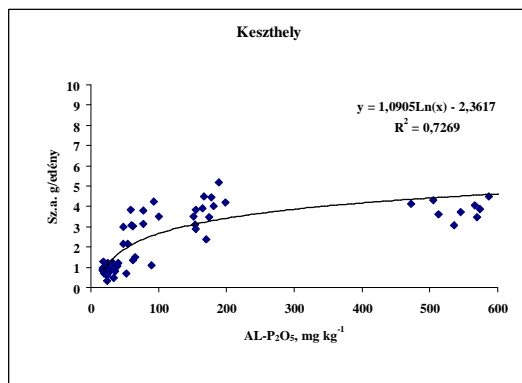
Az összefüggések minden esetben szignifikánsak (P = 0.000 % szinten is), a legjobb illeszkedést logaritmikus egyenletek írják le. Az R² értékek 0.5047 és 0.9739 között változtak, n = 60).

A talajvizsgálati eredmények és a szárbainduláskori árpa szárazanyag tömege között a keszthelyi talajon mutatkozott szorosabb kapcsolatot, míg a a hajtások P tartalma és a talajvizsgálati értékek között a szentgyörgyvölgyi agyagos vályogtalajon kaptunk jobb összefüggést.

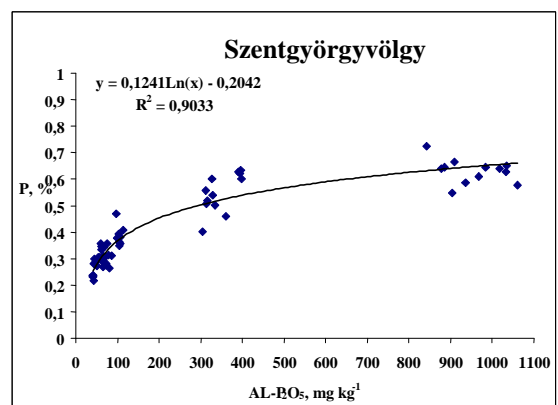
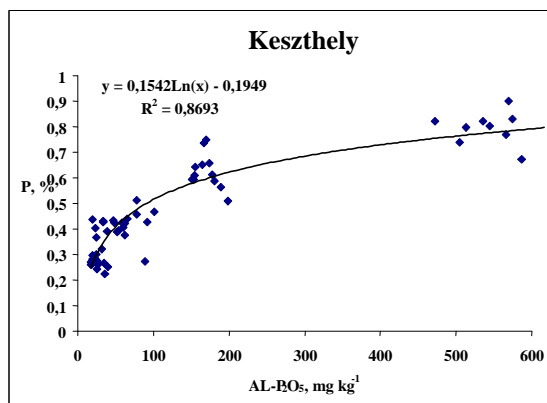
7. ábra A szárazanyagprodukciónak és a hajtások P tartalmának összefüggése



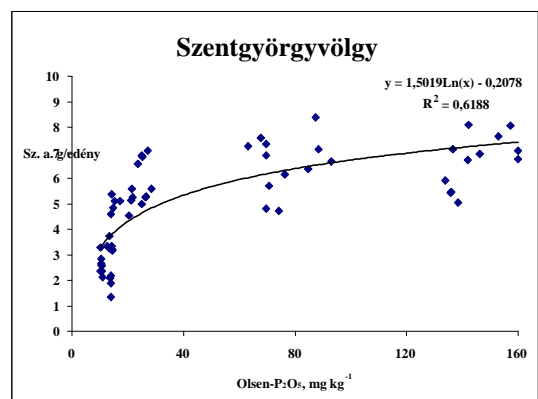
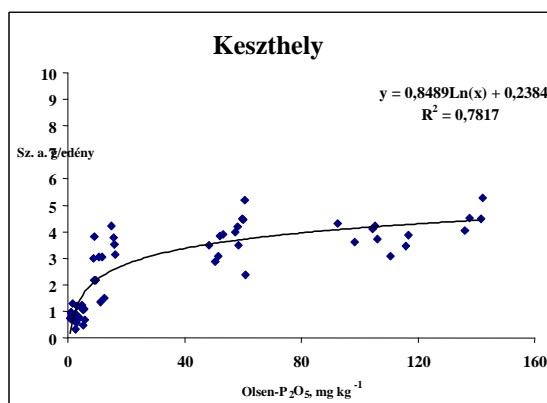
8. ábra A szárazanyagprodukciónak és az AL-P tartalom összefüggése



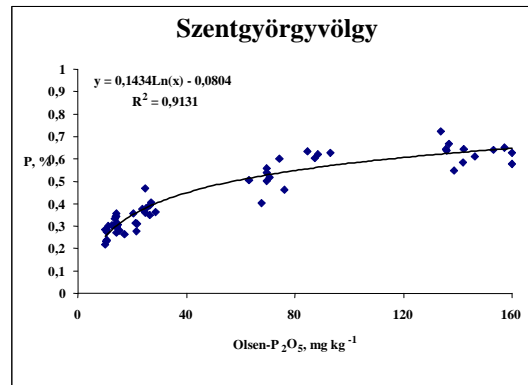
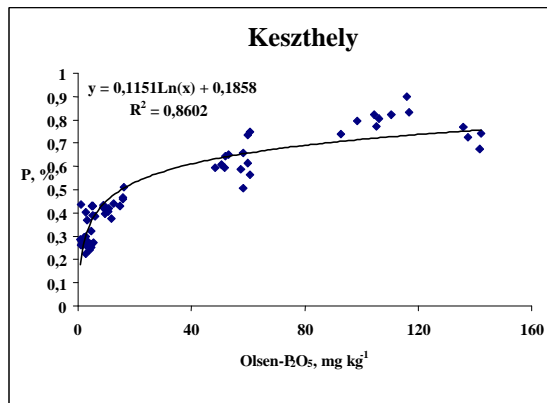
9. ábra A hajtások P tartalma és az AL-P tartalom összefüggése



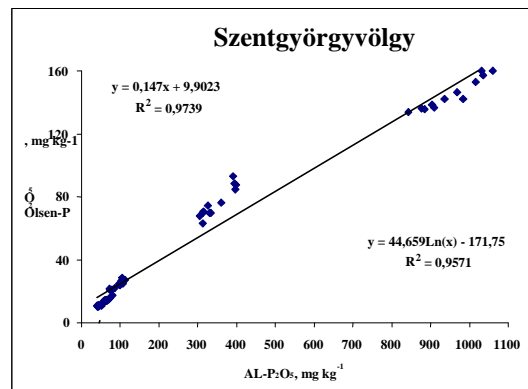
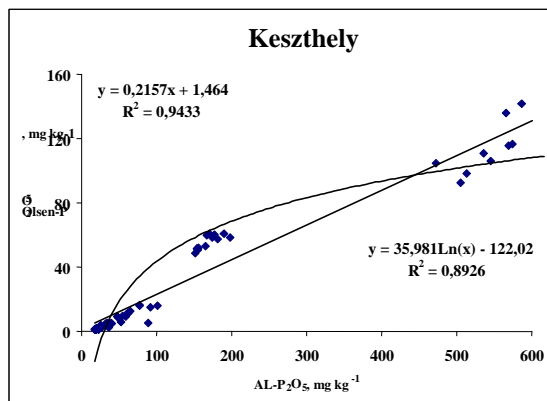
10. ábra A szárazanyagprodukciónak és az Olsen-P tartalom összefüggése



11. ábra A hajtások P tartalma és az Olsen-P tartalom összefüggése



12. ábra Az AL-P és az Olsen-P tartalom összefüggése



C.) Az erózió mértékének vizsgálatára végzett eső-szimulátoros kísérletek

A munkatervnek megfelelően 2005. évben kísérleteket végeztünk az eróziós foszfor-veszteségek tanulmányozására. Célul tűztük ki a homoktalajok eróziós veszélyeztetettségének megállapítását, továbbá a talaj foszfor-veszteségeinek, foszfor dúsulásának vizsgálatát, a csapadék intenzitástól függően. Vizsgálataink során Nikla község (Somogy megye) határában eső-szimulátoros méréseket végeztünk. A kísérleteket egy lejtős, frissen betakarított rozs-táblán, 3 közel azonos lejtésű (I.: 19,4%, II.: 18,8% és III.: 17,6%) parcellán végeztük. A parcellák mérete 10 m² (2*5 m) volt. Mindhárom parcellát azonos szimulált csapadékintenzitásokkal kezeltük. Először a 120 mm/h intenzitással kezdtük, majd ezután következett a 90 mm/h és végül a 60 mm/h intenzitású kezelés mindhárom parcellán.

Eredmények:

Minden esőztetési intenzitás esetén a kezdeti szakaszban kisebb, majd egyre növekvő lefolyást tapasztaltunk, amíg a talaj vízvezető képessége maximumát el nem érte, ekkor többé-kevésbé állandó lefolyást lehet mérni egy adott esőztetési intenzitás mellett.

A lefolyás szignifikánsan nagyobb volt a 90 mm/h esőztetés hatására, mint a 120 mm/h hatására, aminek a magyarázata az lehet, hogy a talaj felszínének az kezdeti egyenetlensége és a talaj mélyebb rétegeiben lévő makropórusok (frissen fölthántott rozs-tarló) sokkal nagyobb víznyelést tettek lehetővé a kezdeti időszakban. A fajlagos talajveszteség már az esőztetési intenzitásnak megfelelően rendeződik el, de nincs szignifikáns különbség a 90 és 120 mm/h esetén mért adatok

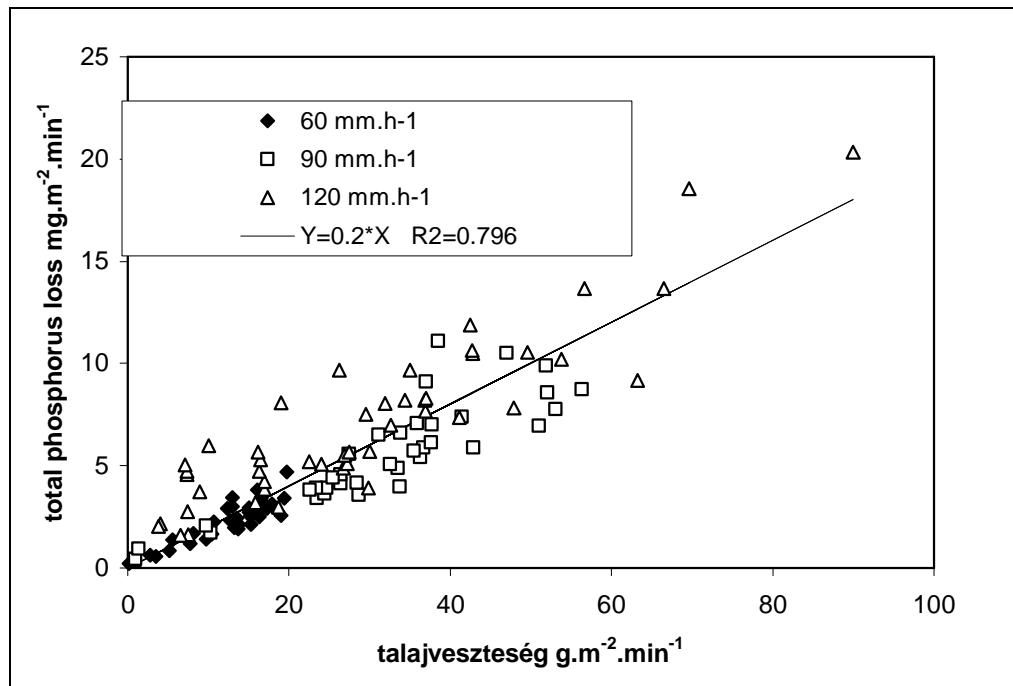
között. A hordalék P tartalma szinte azonos a 60 és 90 mm/h esőztetés esetén és lényegesen nagyobb a 120 mm/h esetében.

A fajlagos talajvesztés és a P tartalom szorzataként kapott fajlagos P veszteség már egyértelmű szignifikáns különbséget mutatott. A 120 mm/h esőztetés kezdetén nagyon magas P tartalmakat mértünk, ez viszonylag gyorsan csökkent és az értékek a 100-300 mg/kg között szóródó sávban állandósultak az esőztetés további idején. Kisebb mértékű, de nagyon konzekvens kezdeti csökkenés a 90 mm/h esetében is megfigyelhető, de utána enyhe emelkedéssel 150-250 mg/kg között állandósulnak az értékek. A 60 mm/h esetében enyhe emelkedő tendencia figyelhető meg (statisztikailag is bizonyítható). A P tartalom egyértelműen függ a fajlagos talajvesztéstől. A 117-266 mg/kg sávba eső foszfor tartalmak bármely talajvesztés érték mellett előfordulhatnak, de a kisebb talajvesztés esetén egyre nagyobb a valószínűsége a nagyobb P tartalomnak, azaz a P dúsulásnak.

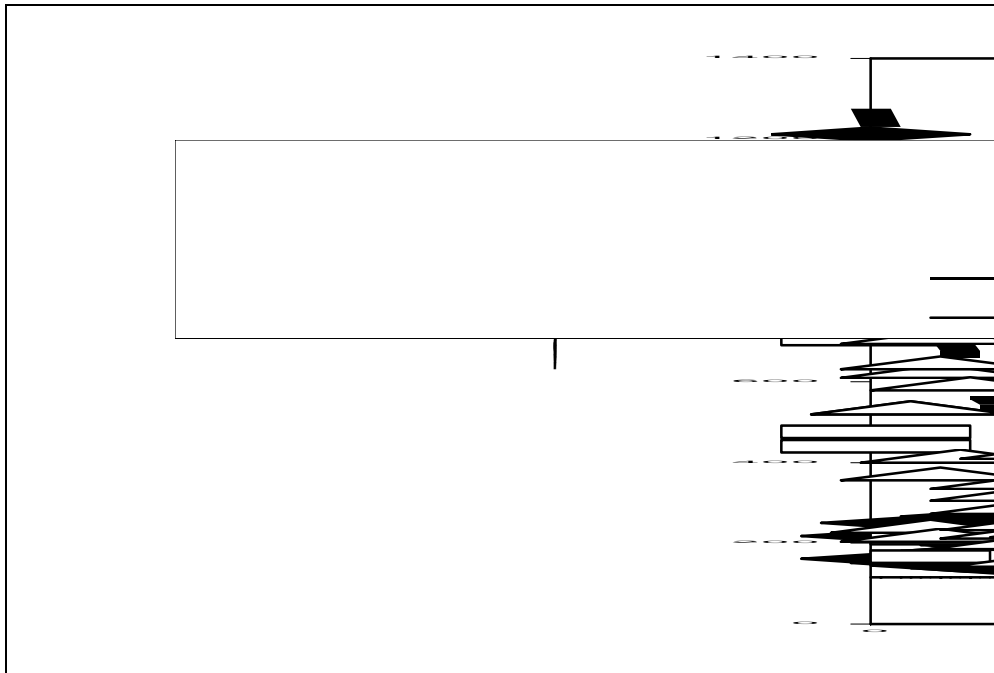
Eredményeink alapján látható (13. ábra), hogy a talajvesztés és az összes foszfor veszteség közti összefüggés szoros, a kapcsolat lineárisnak bizonyult ($R^2 = 0.796$).

A 14. sz. ábrán az elfolyás és az erózió közötti összefüggést mutatjuk be. Amint az ábrán is látható, az összefüggés exponenciális egyenlettel írható le.

13. ábra A talajvesztés és az összes foszfor-vesztés közti kapcsolat kisparcellás kísérletben, Nikla



14. ábra Az elfolyás és az erózió közti összefüggés kisparcellás kísérletben, Nikla



Kisebb esőzetési intenzitások esetén is előfordul nagyon magas P tartalom, de csak nagyon kis talajveszteség mellett. A P dúsulás elsősorban a legnagyobb, 120 mm/h intenzitás esetén a jellemzőbb, a maximális értékek exponenciálisan csökkennek a fajlagos talajveszteség értékével. A fajlagos P veszteség és a talajveszteség egyértelmű lineáris összefüggést mutat. A P dúsulást mutató adatok elhagyásával a lineáris összefüggés jelentősen javítható.

Az eredményekből arra következtethetünk, hogy az eróziós modellek és becslések javítása az alapvető útja a talajokról származó P terhelés jobb becslésének, de nagy figyelmet kell fordítani a P dúsulás kémiai és fizikai tényezőire is, mert ez utóbbi jelenség a kisebb lefolyással és talajveszteséggel járó eróziós események során kiemelkedő jelentőségű.

II. A KÖZREMŰKÖDŐ INTÉZMÉNYNÉL VÉGZETT KUTATÁSOK

A KUTATÁS CÉLJA, A MUNKATERVBEN VÁLLALT KUTATÁSI PROGRAM ISMERTETÉSE

Az elért eredmények ismertetése

2.A. A keszthelyi és szentgyörgyvölgyi tenyésztedény kísérlet talajainak agronómiai és környezetvédelmi szempontú értékelése

A tenyésztedény kísérlet talajainak a kísérlet beállítása előtti fizikai és kémiai tulajdonságait a 2.1. táblázatban tanulmányozhatjuk.

2.1. táblázat

A tenyésztedény kísérlet talajainak fizikai és kémiai tulajdonságai a kísérlet beállítása előtt

Tulajdonságok	Talajok					
	(Keszthely)			(Szentgyörgyvölgy)		
	P0	P1	P2	P0	P1	P2
^a pH _{H₂O}	6,88	6,96	7,05	6,72	6,54	6,6
^b pH _{KCl}	5,93	5,98	6,14	6,14	5,93	6,16
Összes-P, mg kg ⁻¹	310	353	421	652	728	770
AL P ₂ O ₅ , mg kg ⁻¹	19,4	14,3	25,8	44,8	66,8	69,3
Olsen-P, mg kg ⁻¹	6,3	4,8	7,3	10,0	17,1	17,7
Vízold.-P, mg kg ⁻¹	3,2	2,7	4,7	3,8	4,6	5,7
FeO-P, mg kg ⁻¹	4,4	3,6	6,5	5,9	10,8	10,7
Al _{ox} mmol kg ⁻¹	24,2	24,7	25,1	31,8	30,9	31,4
Összes Al, mmol kg ⁻¹	794	784	885	1066	955	1000
Fe _{ox} mmol kg ⁻¹	19,4	19,0	19,7	65,3	63,1	60,5
Összes Fe, mmol kg ⁻¹	320	357	360	548	525	555
P _{ox} mmol kg ⁻¹	3,6	3,8	4,4	6,7	8,1	8,1
PSC mmol kg ⁻¹	21,8	21,9	22,4	48,5	47,0	45,9
DPS%	16,9	17,2	19,7	13,9	17,3	17,6
Humusz, %	1,9			2,3		

^a pH_{H₂O} = 1: 2,5, talaj:H₂O; ^b pH_{KCl} = 1: 2,5, talaj:1 M KCl;

2.1. Az agronómiai optimumok becslése hagyományos talaj P extrakciós módszerekkel a tenyésztedény kísérlet talajában [Eddig nem publikált eredmény]

Az I.B. fejezetben ismertetett tenyésztedény kísérletekben a régi és a friss P trágyázás hatására a konvencionális talaj P teszt értékeiben beállt változásokról a 2.2 táblázat tájékoztat.

Hazánkban a 60-as évek közepétől az AL- módszer (Egnér, Riehm és Domingo, 1960) a hivatalos talaj P teszt módszer a talajok P ellátottságának becslésére. A hazai P trágyázási kísérletek adatbázisán kapott összefüggéseken alapuló új AL-P határértékek alapján a tenyésztedény kísérlet alapjául szolgáló keszthelyi P tartamkísérlet régi P0 kezelése igen gyenge, a szentgyörgyvölgyi tartamkísérlet régi P0 kezelése gyenge P ellátottságot jelzett (CSATHÓ, 2002, 2003) (2.1.táblázat).

Friss P trágyázás nélkül a trágyázási múltból következően (a tartamkísérletek 10 éves P feltöltését követően 30 évig nem történt P trágyázás a kísérletekben) csak a régi P2 szinten tapasztaltunk egy ellátottsági kategória növekedést.

A P ellátottságok alakulásában a friss P trágyázás bizonyult meghatározónak. A friss 100 mg/kg (mintegy 300 kg/ha) P₂O₅ adag 1-2 kategóriával, a friss 500 mg/kg (mintegy 1500 kg/ha),

ill. 1000 mg/kg (mintegy 3000 kg/ha) kezelések további 2-3 kategóriával növelték a P ellátottságot. Mind a keszthelyi, mind a szentgyörgyvölgyi talajon beállított kísérletekben az 1000 mg/kg friss P₂O₅ adag már túlzott P ellátottságot eredményezett.

A tavaszi árpa szárazanyag hozama alapján megállapított agronómiai optimumok (a jó ellátottság alsó határa) (2.3. táblázat) szintén igen eltérőek az alkalmazott talaj P extrakciós módszertől függően. Mindkét talajon hasonló optimum értékeket kaptunk az AL-, a Bray1, a H₂O- és az FeO- módszerekkel. A CaCl₂-P optimumok a keszthelyi, az Olsen-P és az oxalátos P optimumok a szentgyörgyvölgyi talajon voltak nagyobbak.

2.3. táblázat. Agronómiai optimum értékek (mg P kg⁻¹) a tenyészedény kísérletek talajainak Olsen-P, Bray1-P, H₂O-P, FeO-P, AL-P₂O₅, CaCl₂-P és Pox tartalmában a tavaszi árpa szárazanyag hozama alapján

	Homokos vályog Keszthely	Agyagos vályog Szentgyörgyvölgy
CaCl ₂ -P	2,7	1,2
H ₂ O-P	9,3	10,2
Olsen-P	15,2	26,4
FeO-P	15,6	19,6
Bray1-P	36,1	36,8
AL- P ₂ O ₅	92,3	107
Pox	158	341

A szakirodalmi közlések többségében a vizsgált talajokon a környezeti szempontból kritikus értékek jelentősen meghaladják az agronómiai optimumokat. A fenti kérdést OTKA pályázatunk keretében mi is vizsgáltuk.

2.2. A mezőgazdasági eredetű P környezeti kockázatának becslése a tenyészedény kísérletek talajaiból

2.2.1. A környezeti P kockázat becslése hagyományos talaj P extrakciós módszerekkel [Eddig nem publikált eredmény]

A tenyészedény kísérlet bontása után a régi és az új P-adagok átlagában az egyes módszerekkel kimutatott P mennyisége az alábbi sorrendben követték egymást: a keszthelyi talajon; CaCl₂<H₂O-P < Olsen-P < FeO-P < AL-P < Bray1-P < P_{ox} < P_{össz}, azaz 10,1; 27,9; 38,4; 40,3; 73,6 (171,1 mg kg⁻¹ P₂O₅); 90,0; 219,3 (7,1 mmol kg⁻¹); 497 mg kg⁻¹ P, a szentgyörgyvölgyi talajon; CaCl₂<H₂O-P < FeO-P < Olsen-P < Bray1-P < AL-P < P_{ox} < P_{össz}, azaz 7,0; 26,6; 42,4; 54,4; 97,4; 130 (302,4 mg kg⁻¹ P₂O₅); 407,9 (13,2 mmol kg⁻¹); 914 mg kg⁻¹ P (2.2. táblázat). Mindkét talajon a kivonószerek között az oxalátos módszerrel mértük a legnagyobb P tartalmat, amit a savas kivonószerek követtek. Irodalmi tapasztalatokhoz hasonlóan a FeO módszerrel és az Olsen módszerrel a keszthelyi talajon közel azonos P tartalmat mértünk. A szentgyörgyvölgyi talajon viszont a FeO-P mennyisége az Olsen-P és a vízzel oldható-P között volt. A kivonószerek sajátosságainak megfelelően a vizes és a CaCl₂ módszerekkel mértük a legkevesebb P-t. A P_{ox} – FeO-P sorrend érthető, mivel a P_{ox} a talaj összes szervesen szorbeált P tartalmát, a FeO-P pedig a gyorsan deszorbeálható, reverzibilisen kötött P tartalmat mutatja.

2.2.táblázat. A keszthelyi és szentgyörgyvölgyi talajok összes-, oxalát-, FeO-, H₂O-, CaCl₂-, Olsen-, AL-, Bray1- P tartalma a tenyészedénykísérlet végén.

Módszerek	Keszthely				Szentgyörgyvölgy			
	Régi P szintek			P ₀ , P ₁ , P ₂ átlaga	Régi P szintek			P ₀ , P ₁ , P ₂ átlaga
	P ₀	P ₁	P ₂		P ₀	P ₁	P ₂	
Összes-P, mg kg ⁻¹ , Átlag*	466	473	552	497	845	963	935	914
Minimum - Maximum	342-714	344-790	405-891		715-1229	761-1470	728-1341	
P _{ox.} , mg kg ⁻¹ , Átlag*	215	197	246	219	374	414	437	408
Minimum - Maximum	102-446	90-421	122-509		225-713	268-760	263-784	
FeO-P, mg kg ⁻¹ Átlag*	36,0	36,3	48,5	40,3	38,9	42,1	46,3	42,4
Minimum - Maximum	3,9-105,3	2,9-119	6,8-142		8,1-115	11-117	12-125	
H ₂ O-P, mg kg ⁻¹ Átlag*	24,2	25,5	33,9	27,9	22,5	27,0	30,4	26,6
Minimum - Maximum	3,6-72,7	2,8-84,6	4,7-103,7		3,8-70,0	5,9-79,2	5,8-87,2	
CaCl ₂ -P, mg kg ⁻¹ Átlag*	8,3	9,6	12,3	10,1	5,4	7,4	8,3	7,0
Minimum - Maximum	0,6-30,5	1,0-35,1	1,7-43,2		0,6-20,2	0,5-28,4	0,7-30,8	
Olsen-P, mg kg ⁻¹ Átlag*	36,4	33,8	44,9	38,4	49,8	54,0	59,3	54,4
Minimum - Maximum	2,9-106	1,7-106	5,4-139		10,7-136	14-146	14,4-153	
AL-P ₂ O ₅ , mg kg ⁻¹ , Átlag*	165	157	191	171	272	305	331	302
Minimum - Maximum	25-540	21-540	40-595		46-877	62-968	64-1017	
Bray1-P, mg kg ⁻¹ , Átlag*	87,5	79,8	103	90,0	84,4	96,6	111	97,4
Minimum - Maximum	8,7-253	6-259	14,8-304		13-264	19-298	23-321	

*: Az adott régi P₀, P₁, P₂ szinteken az új P (absz. kontroll, NK kontroll, 100, 500 és a 1000 mg kg⁻¹ P₂O₅) kezelések átlaga

Mivel kevés tapasztalatunk van az oxalát oldható és FeO módszerekkel mérhető P tartalomról, hasznos lehet megvizsgálni, hogy hogyan alakult arányuk az összes P tartalomhoz, a kiindulási talajban és a tenyészedény kísérlet bontása után. Ismert, hogy a vízoldható P megkötődése a talajban kétlépéses reakcióként értelmezhető: egy kezdeti gyors reakcióként, amelyik során a P szorbeálódik, és egy ezt követő lassú reakcióként, melynek eredményeként bizonyos mennyiségű P erősebben kötött formákba alakul át. A lassú folyamatban főként a P irreverzibilis megkötődése megy végbe. A 2.1. táblázatból látható, hogy a talaj tulajdonságaitól és összes P tartalmától (a szentgyörgyvölgyi talajé közel kétszerese a keszthelyiének) függetlenül mindkét talajon 30 évvel a P₀, P₁, P₂ trágyázási szintek kialakítása után az összes P-nek 32-35%-a található szorbeált formában (P_{ox}), és csak 1-1,5%-a deszorbeálható gyorsan (FeO-P tartalom). Ezzel összhangban a szorbeált P tartalom könnyen deszorbeálható része (FeO-P/P_{ox}-P) 3-5% között volt. A jóval rövidebb ideig tartó (6 hét) tenyészedénykísérlet után a friss 100, 500 és 1000 P adag hatására a növekvő friss P adaggal az összes P-nek már a 35-62%-a volt szorbeált (P_{ox}) formában mindkét talajon. Az összes P mennyiségének könnyen deszorbeálható része (FeO-P) a kisebb (Al_{ox} + Fe_{ox}) tartalmú (2.1. táblázat) keszthelyi talajon 3-16%, a nagyobb (több mint kétszeres) (Al_{ox} + Fe_{ox}) tartalmú szentgyörgyvölgyi talajon csak 2-9% volt. Így a szorbeált P tartalom könnyen deszorbeálható része (FeO-P/P_{ox}-P) a keszthelyi talajon a legnagyobb friss adagnál eléri a 28%-t, míg a szentgyörgyvölgyi talajon csak a 16%-t. Nagyszámú minta vizsgálatok a szakirodalomban azt tapasztalták, hogy a talajok Al_{ox} + Fe_{ox} tartalmának növekedésével a FeO-P/P_{ox}-P exponenciálisan csökken. Belga és német kutatók a FeO-P/P_{ox}-P re maximum 22%-ot kaptak, és eredményeinkhez hasonlóan azt tapasztalták, hogy ez az arány közel lineárisan változik a talajok telítettségével.

2.4. táblázat. A tenyészedénykísérlet végén a talajok különböző módszerekkel mért P tartalmai közötti lineáris összefüggések ($y = a \cdot x + b$) szorosságát jelző determinációs koefficiens (r^2) értékek (n= 15)

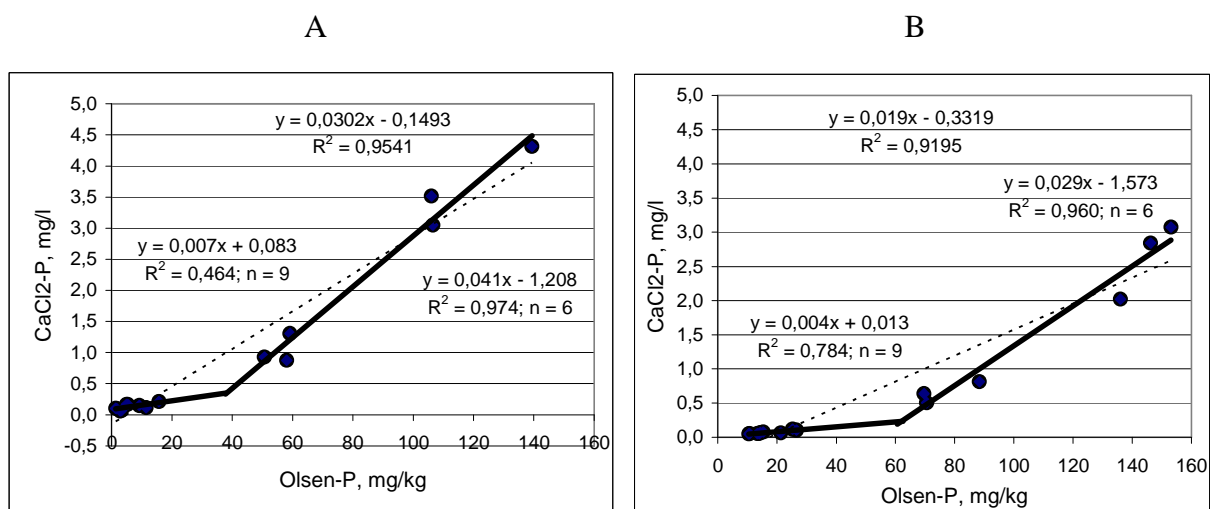
A talaj különböző módszerekkel mért P tartalma	r^2													
	(Keszthely)							(Szentgyörgyvölgy)						
	P _{ox}	FeO-P	H ₂ O-P	CaCl ₂ -P	Olsen-P	AL-P ₂ O ₅	Bray1-P	P _{ox}	FeO-P	H ₂ O-P	CaCl ₂ -P	Olsen-P	AL-P ₂ O ₅	Bray1-P
Összes-P	0,977	0,988	0,984	0,943	0,975	0,923	0,975	0,958	0,948	0,958	0,926	0,950	0,949	0,956
P _{ox}	1,000							1,000						
FeO-P	0,986	1,000						0,988	1,000					
H ₂ O-P	0,976	0,997	1,000					0,986	0,993	1,000				
CaCl ₂ -P	0,925	0,963	0,977	1,000				0,908	0,935	0,957	1,000			
Olsen-P	0,990	0,992	0,989	0,954	1,000			0,995	0,996	0,990	0,920	1,000		
AL-P ₂ O ₅	0,932	0,951	0,956	0,980	0,949	1,000		0,964	0,987	0,978	0,985	0,966	1,000	
Bray1-P	0,992	0,995	0,989	0,955	0,995	0,959	1,000	0,982	0,994	0,998	0,965	0,989	0,975	1,000

2.5. táblázat. Töréspont értékek (mg P kg⁻¹) a tenyészedénykísérlet talajainak Olsen-P, Bray1-P, H₂O-P, FeO-P és P_{ox} tartalmában a 0,01M CaCl₂ oldható P-tartalom alapján

	Homokos vályog Keszthely	Agyagos vályog Szentgyörgyvölgy
H ₂ O-P	25,5	27,4
Olsen-P	38,1	61,9
FeO-P	39,4	43,3
Bray1-P	90,5	89,5
Pox	248	431

A fenti tenyészedény kísérlet talajainak különböző módszerrel mért P tartalma között összefüggésvizsgálatot végeztünk. A talajminták összes P tartalma és a különböző módszerekkel mért könnyen oldható P tartalom, valamint a könnyen oldható P tartalmak egymás között szoros, lineáris összefüggést adtak (2.4. táblázat). A lineáris összefüggések meredeksége a keszthelyi talajon nagyobb volt, az összes-P és AL-P₂O₅, összes-P és P_{ox}, a FeO-P és Bray1-P valamint a FeO-P és Olsen-P tartalom közötti összefüggések kivételével.

A talajok különböző módszerekkel mért könnyen oldható P tartalmai (az AL- P₂O₅ tartalom kivételével) és a CaCl₂ módszerrel meghatározott P-tartalmak közötti összefüggések viszont a lineáris összefüggés mellett egy-egy törésponttal két különböző meredekségű lineáris szakaszra is bontható volt (2.1. ábra). A második lineáris szakasz meredeksége 3-8 szorosa volt az első szakaszénak. Ez azt jelenti, hogy egységnyi vízdoldható-, Bray1-, Olsen-, FeO-P és P_{ox} tartalom növekedéshez sokkal nagyobb CaCl₂ oldható-P tartozik a töréspont után, mint a töréspont előtt. A két talajt összehasonlítva, a töréspont előtti és utáni lineáris összefüggések meredeksége minden esetben a keszthelyi talajon volt a nagyobb. A töréspontok viszont mindkét talajon közel azonos Bray1, vízdoldható és FeO módszerrel meghatározott P-tartalomnál voltak (2.5. táblázat). Az Olsen- és CaCl₂-P, valamint a P_{ox}- és CaCl₂-P kapcsolatában viszont a töréspont értékei a talajok tulajdonságaival változtak. Az Olsen P tartalomban a keszthelyi talajon 38,2 a szentgyörgyvölgyi talajon 62 mg P kg⁻¹ – nál, a P_{ox} tartalomban a keszthelyi talajon 248 a szentgyörgyvölgyi talajon 431mg P kg⁻¹-nál volt a töréspont értéke. Bár a talajok tulajdonságai és a trágyázási múlt nyilvánvalóan befolyásolja a töréspont értékét, az Olsen-P esetén eredményeink a nagyszámú irodalmi adat alapján meghatározott 10-(többségük < 60 mg)-120 mg P kg⁻¹ töréspont értékek tartományába esnek.



2.1.ábra. Összefüggés az Olsen-P és a CaCl₂-P tartalmak között. A. Keszthely. B. Szentgyörgyvölgy

A tenyészedény kísérletben mindkét talajon a régi P szinteken (P₀, P₁, P₂) alkalmazott friss 500, ill. 1000 mg P₂O₅ kg⁻¹ adag hatására megnövekedett kivonható talaj P-tartalmak (H₂O, Bray1, Olsen, FeO és oxalát) a töréspontok utáni meredekebb szakaszra estek.

Látható, hogy a környezetvédelmi kritikus értékek igen eltérőek az alkalmazott P meghatározási módszertől függően, de értékét az Olsen és oxalát módszerek kivételével a vizsgált két talaj tulajdonsága nem befolyásolta. Eredményeink megerősítik, hogy a talajok CaCl₂ oldható P-tartalma és a gyakorlatban az oxalát módszernél jobban elterjedt Olsen módszerrel mért P tartalom közötti összefüggés hasznos mérőszám lehet a P környezetvédelmi vizsgálatában.

Bár ezek az összefüggések változhatnak a talaj típusával, a művelési móddal és az egyéb agronómiai beavatkozásokkal, a hidrológiai és geológiai tényezőkkel, ezek a talaj P tesztek önmagukban is alkalmasak lehetnek egy környezetvédelmi szempontból kritikus talaj-P tartalom becslésére, amely felett potenciálisan nő a P veszteség lehetősége, így a P gazdálkodás megváltoztatása szükséges a víz minőségének megőrzéséhez.

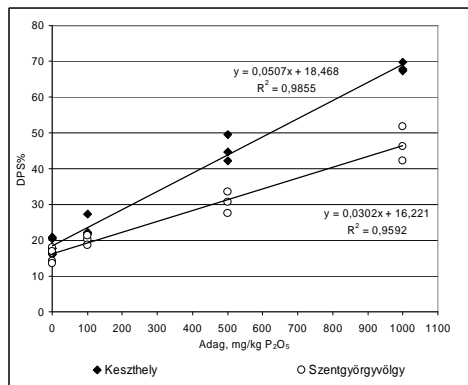
Az agronómiai optimumok és a töréspontok alapján megállapított, környezetvédelmi szempontból kritikus értékek összehasonlításakor a szakirodalomban közöltekkel egyezően mi is úgy találtuk, hogy a környezeti szempontból kritikus értékek jóval az agronómiai optimumok felett voltak. A töréspontok alapján megállapított kritikus környezeti értékek mind a keszthelyi homokos vályog, mind a szentgyörgyvölgyi agyagos vályog talajon mintegy 2-3-szorosan haladták meg az agronómiai optimumokat. Ez alól csupán a szentgyörgyvölgyi talajon kapott oxalátos P értékek képeztek kivételt, ahol a környezeti kritikus érték csupán 30%-kal volt nagyobb az agronómiai optimumnál.

2.2.2. A környezeti P kockázat becslése a talajok P telítettségi %-ával (DPS%) [Eddig nem publikált eredmény]

A keszthelyi és a szentgyörgyvölgyi szabadföldi P trágyázási tartamkísérletekben – melyekből vett talajmintákkal állítottuk be a tenyészedeny kísérleteket – a P₀, P₁ és P₂ szinteken a P telítettség alakulását a talajszelvény mélysége függvényében is vizsgáltuk (2.6.táblázat). Mivel a 0-100 cm talajszelvényben a talajvízszintet egyik területen sem értük el, és a térségben nagyadagú szerves trágyázás nem folyik, valamint a mélységgel a P telítettségi % csökkenő tendenciát mutat (2.6.táblázat), a továbbiakban vizsgálatainkat a szántott rétegből beállított tenyészedeny kísérletek talajaiban végeztük el, ugyanis a felszíni vizeink elfolyással, erózióval történő P terhelése döntő módon a szántott réteg P tartalmával történik.

A tenyészedeny kísérlet beállításához felhasznált szentgyörgyvölgyi talaj három régi mintaterületéről (P₀, P₁, P₂) származó felszíni átlagminta, a P megkötésében alapvető szerepet játszó oxalátoldható, amorf Al tartalom (Al_{ox}/ összes Al= ~3%) tekintetében homogénnek volt tekinthető (2.1. táblázat). A talaj Al_{ox} tartalmának közel kétszerese volt a Fe_{ox} tartalma. A Fe_{ox} tartalom (Fe_{ox}/ összes Fe= ~12%) és a P-szorpciós kapacitás (PSC) viszont a P₀ és P₂ terület között szignifikáns különbséget mutatott. A korábbi P trágyázással kialakított P₁ és P₂ szintek között sem a különböző módszerekkel mért P tartalom többsége, sem a P telítettség nem mutatott lényeges különbséget (2.1. táblázat). A kiindulási keszthelyi talaj Al_{ox} (Al_{ox}/ összes Al= ~3%) és Fe_{ox} (Fe_{ox}/ összes Fe= 5-6%) tartalma hasonló volt, de jóval kisebb a szentgyörgyvölgyi talajénál. A P₀, P₁, P₂ parcellákról származó talajban az Al_{ox} és Fe_{ox} tartalom, valamint a P-szorpciós kapacitás szignifikáns különbséget nem mutatott. A P telítettség mértéke a P₀ és P₁ terület talajaiban azonos volt, melyekhez képest a P₂ területről származó minták szignifikáns növekedést mutattak (2.7. táblázat).

A tenyészedeny kísérlet bontása után edényenként mérve a talaj Al_{ox} és Fe_{ox} tartalmát a tendenciák nem mindig egyeztek meg a kiindulási talajéval. Az új kezelések átlagában a keszthelyi talajnál a kísérlet bontása után a P₁ parcelláról származó mintákban az Al_{ox} és Fe_{ox} tartalom, valamint a P-szorpciós kapacitás szignifikánsan kisebb volt a P₀ és a P₂ terület talajainál. A különböző módszerekkel mért P tartalom (a CaCl₂-oldható-P kivételével) szintén a régi P₁ kezelésben volt a legkisebb (2.2. táblázat). Az új kezelések átlagában a szentgyörgyvölgyi talajnál az Al_{ox} tartalom P₀ szinten szignifikánsan nagyobb, a Fe_{ox} tartalom és a szorpciós kapacitás a P₂ szinten szignifikánsan kisebb értékeket mutatott a másik két szintnél (2.7. táblázat).



2.2. ábra. A régi és a friss P trágyázás hatása a talajok P telítettségi %-ára a tenyészedény kísérletek talajaiban

Azonos régi és friss P adagok alkalmazása mellett a kisebb szorpciós kapacitású keszthelyi homokos vályog talajon nagyobb P telítettségi % értékeket kaptunk, mint a nagyobb pufferkapacitású szentgyörgyvölgyi agyagos vályog talajon (2.2. ábra).

2.3. Összefüggések a konvencionális P teszt értékek és a P telítettségi % értékei között

A talajminták P-telítettségi %-a és az extrakciós módszerekkel mért P-tartalom között az összefüggés a P_{ox} kivételével exponenciális volt ($r^2=0,9447-0,989$ között) (2.3.ábra).

Holland, belga, ill. egyesült államokbeli (Delaware) kutatók a 25 és 40% közötti intervallumban határozzák meg azt a kritikus P telítettségi értéket, amely fölött ugrásszerűen megnövekszik annak a veszélye, hogy nemkívánatos szintre emelkedik a felszíni és felszín alatti vizekbe jutó P mértéke.

2.6.táblázat. A keszthelyi és szentgyörgyvölgyi talajok P telítettségi %-a a talajszelvény mélysége függvényében az eltérő régi P szinteken.

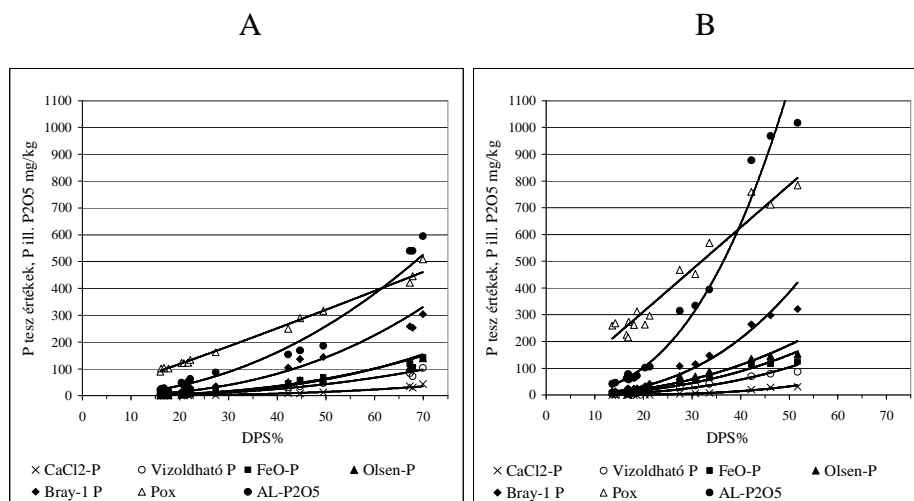
Talajszelvény mélysége, cm	Keszthely*				Szentgyörgyvölgy			
	Régi P szintek			P ₀ , P ₁ , P ₂ átlaga	Régi P szintek			P ₀ , P ₁ , P ₂ átlaga
	P0	P1	P2		P0	P1	P2	
0-10*	16,35	15,57	20,24	17,38	13,3	16,6	18,4	16,1
10-20	16,35	15,57	20,24	17,38	14,2	17,5	16,3	16,0
20-30	13,32	12,71	15,38	13,80	13,2	16,5	15,2	15,0
30-40	13,32	12,71	15,38	13,80	12,3	13,3	12,0	12,5
40-50	8,90	9,71	7,61	8,74	10,8	11,9	12,0	11,6
50-60	8,90	9,71	7,61	8,74	9,5	11,3	11,9	10,9
60-70	9,97	11,59	8,50	10,02	7,7	8,2	8,5	8,1
70-80	9,97	11,59	8,50	10,02	6,2	6,9	7,3	6,8
80-90	-	-	-	-	5,3	5,5	5,5	5,4
90-100	-	-	-	-	4,4	5,3	3,9	4,6
SzD _{5%}		3,21				2,21		
Átlag	12,13	12,39	12,93	12,49	9,7	11,3	11,1	10,7

* Keszthelyen 20 cm-enként volt mintavétel. 80 cm mélységtől a CaCO₃ megjelenése miatt a P telítettségi %-ot nem tudtuk meghatározni.

2.7. táblázat. A tenyészedénykísérlet végén a keszthelyi és szentgyörgyvölgyi talajok oxalát oldható Al-, Fe- tartalma, szorpciós kapacitása (PSC) és P telítettsége (DPS)

Módszerek	Keszthely				Szentgyörgyvölgy			
	Régi P szintek			P ₀ , P ₁ , P ₂ átlaga	Régi P szintek			P ₀ , P ₁ , P ₂ átlaga
	P0	P1	P2		P0	P1	P2	
Al _{ox} , mmolkg ⁻¹ Átlag*	22,7	20,8	23,1	22,2	34,7	32,7	33	33,5
Minimum - Maximum	21,6-24,2	20-23,2	21,2-26,9		32,4-38,3	30,8-35,6	30,3-37,9	
Fe _{ox} , mmolkg ⁻¹ Átlag*	18	16,8	17,6	17,5	69,4	68,8	64,1	67,4
Minimum - Maximum	17,4-18,4	16-17,1	16,5-20		67,1-70,7	65,7-72,5	59,8-71,5	
PSC, mmolkg ⁻¹ Átlag*	20,4	18,8	20,3	19,8	52	50,7	48,9	52,2
Minimum - Maximum	19,5-21,2	18-20,2	18,8-23,5		51-54,5	49,2-52,3	45-54,7	
DPS,% Átlag*	33,5	33	37,6	34,7	22,9	26,1	28,6	25,9
Minimum - Maximum	16,2-67,8	16-67,2	20,3-69,9	13,6-42,2	16,5	46,2	18,1-51,7	

*: Az adott régi P₀, P₁, P₂ szinteken az új P (absz. kontroll, NK kontroll, 100, 500 és a 1000 mg kg⁻¹ P₂O₅) kezelések átlaga; PSC=0,5x(Fe_{ox}+Al_{ox}) mmolkg⁻¹; DPS%=(P_{ox}/0,5x(Fe_{ox}+Al_{ox}))x100



2.3.ábra. Összefüggés aP telítettségi% és a konvencionális P teszt értékek között. A. Keszthely. B. Szentgyörgyvölgy

Nézzük meg, hogy ezek a kritikus P telítettségi % értékek a tenyészedény kísérletek talajaiban milyen konvencionális P teszt értékekhez kötődnek (2.8.táblázat).

Mindkét talajon, a 40%-os P telítettséghez tartozó konvencionális P teszt értékek mintegy háromszorosan haladták meg a 25%-os telítettséghez tartozó értékeket. Ez alól az oxalátos P értékek voltak kivételek, ahol mindkét talajon a 40%-os telítettséghez tartozó P_{ox} tartalmak csupán mintegy 50%-kal haladta meg a 25%-os telítettséghez tartozó P_{ox} tartalmakat.

2.8. táblázat. A 25 és 40%-os P telítettséghez (DPS) tartozó kritikus talaj-P koncentrációk ($mg\ kg^{-1}$)

Talaj P teszt	Homokos vályog Keszthely		Agyagos vályog Szentgyörgyvölgy	
	DPS=25%	DPS=40%	DPS=25%	DPS=40%
CaCl ₂ -P	2,1	7,3	2,7	14,5
H ₂ O-P	7,6	23,8	14,6	50,5
Olsen-P	9,0	33,5	38,7	112
FeO-P	10,9	36	29	89
Bray1-P	25	82	60	211
AL-P ₂ O ₅	60,2	162	185	639
Pox	151	252	390	626

Amennyiben az agronómiai optimumokkal jellemzett, és a 25%-os kritikus P telítettségi %-hoz tartozó konvencionális P teszt értékeket hasonlítjuk össze, akkor a keszthelyi talajon ez utóbbiak csupán 2/3-a, 3/4-e az agronómiai optimumoknak, míg a szentgyörgyvölgyi talajon mintegy 1.5-2-szöröse.

Az agronómiai optimumok, és a 40%-os kritikus P telítettségi %-hoz tartozó konvencionális P teszt értékek összehasonlításakor viszont már egyértelműen nagyobbak az utóbbi értékek: a kis P szorpciós kapacitású keszthelyi talajon 1,7-2,5-szörösen, míg a nagy pufferkapacitású szentgyörgyvölgyi agyagos vályog talajon 4,2-12 szeresen haladják meg az agronómiai optimumokat, jelezve, hogy a szentgyörgyvölgyi talaj jóval nagyobb konvencionális P teszt értékeknél éri el a környezeti szempontból kritikus értéket. Ez alól bizonyos mértékben újra csak az oxalátos P tartalmak mutatnak kivételt, hiszen az agronómiai

optimumokat csupán 1,4-1,8-szorosan meghaladó értékeknél érik el a 40%-os P telítettséghez kapcsolódó környezeti szempontból kritikus értéket.

A töréspont alapján meghatározott, illetve a 40%-os P telítettségekhez tartozó kritikus konvencionális P teszt értékek feltűnően jó egyezőséget mutattak a keszthelyi talajon, míg a szentgyörgyvölgyi talajon utóbbiak mintegy kétszeresen meghaladták a töréspont szerinti értékeket.

Összefoglalásként megállapíthatjuk, hogy mindkét tenyészedény kísérlet talajaiban az agronómiai optimumokat egyes esetekben már a 100 mg/kg (300 kg/ha) P_2O_5 adagoknál elértük, és az 500 mg/kg (1500 kg/ha) és az 1000 mg/kg (3000 kg/ha) P_2O_5 adagoknál nagymértékben meghaladtuk azokat.

A töréspontok alapján meghatározott kritikus környezeti talaj P teszt értékek mindkét talajon a 100 mg/kg (300 kg/ha) és az 500 mg/kg (1500 kg/ha) P_2O_5 adagok közé estek.

A keszthelyi talajon már a 100 mg/kg (300 kg/ha) P_2O_5 adagokkal kismértékben meghaladtuk a 25%-os P telítettséghez tartozó kritikus konvencionális P teszt értékeket, míg a szentgyörgyvölgyi, nagyobb P szorpciós kapacitású talajon csak az 500 mg/kg (1500 kg/ha) P_2O_5 adagokkal. A 40%-os P telítettséghez tartozó kritikus konvencionális P teszt értékeket a kis P szorpciós kapacitású keszthelyi talajon már az 500 mg/kg (1500 kg/ha), míg a jóval nagyobb pufferkapacitású szentgyörgyvölgyi agyagos vályog talajon csupán az 1000 mg/kg (3000 kg/ha) P_2O_5 adagokkal haladtuk meg.

Mind az agronómiai, mind a környezetvédelmi megközelítéssel vizsgálva tehát megállapítható, hogy 500 mg/kg, (1500 kg/ha) és még inkább az 1000 mg/kg (3000 kg/ha) P_2O_5 kezelések eredményeképpen már meghaladtuk a környezetvédelmi szempontból elfogadható (kritikus) talaj P szintet.

A jó mezőgazdasági gyakorlat keretében tehát törekedni kell rá, hogy a talaj P tartalma ne érje el a környezetvédelmi szempontból kritikus szintet. A talajrészecskékhez kötött P ugyanis leginkább erózióval jut felszíni vizeinkbe, és ez ellen talajvédő talajműveléssel, a felszíni vizek közelében pufferzónák kialakításával stb. védekezhetünk. Az elfolyó vízben oldott P csökkentésére ugyanakkor korlátozottak a lehetőségeink, leghatékonyabban a talajban való P felhalmozódás megelőzésével védekezhetünk ellene.

Az agrár eredetű P terhelés kockázatának becslésében nagy szerepe lehet a talajok eltérő P szorpciós kapacitásának is, melyet mindenképpen szükséges figyelembe venni.

Itt jegyezzük meg ugyanakkor, hogy a környezetvédelmi megközelítésű talaj P vizsgálatokat tenyészedény kísérletek talajain túl szükséges terepen, eltérő P feltöltöttségű, művelési módú stb. mintaterületeken esőztető, eróziós, a felszíni elfolyás P tartalmát is meghatározó kísérletekben is kalibrálni talajaink kritikus P telítettségi százalékának pontosabb meghatározása céljából.

2.B. Az OMTK szabadföldi kísérletek talajainak agronómiai és környezetvédelmi szempontú értékelése

2.4. A P trágyázás hatása a talaj könnyen oldható- és környezetvédelmi megközelítésű P tartalmára

Az ország 9 kísérleti helyes egységes metodikával beállított OMTK kísérletekben a kukorica, ill. őszi búza alá kijuttatott P_2O_5 kg/ha adagokról a 2.9. táblázat tájékoztat. A kísérleti helyek talajtulajdonságaiban megnyilvánuló igen jelentős különbségek lehetőséget adnak rá, hogy a talaj P-teszteket – és a növényi P-felvételt – jellegzetes hazai talajokon, sokszor szélsőséges talajparaméterek mellett vizsgáljuk. Az egyes P szintek között a 28 év átlagában mintegy évi 50 kg/ha P_2O_5 adag volt a különbség.

2.9. táblázat. Az OMTK kísérletekben kijuttatott foszfor adagok, kg P₂O₅ /ha

K-szint	Időszak			
	1968-71	1972-87	1988-95	1968-95
Őszi búza és kukorica alá adott P ₂ O ₅ , kg/ha/év				
P0	0	0	0	0
P1	35	50	60	51
P2	70	100	120	102
P3	105	150	180	153
Összes adott P ₂ O ₅ , kg/ha/időszak				
P0	0	0	0	0
P1	150	800	420	1430
P2	300	1600	840	2860
P3	450	2400	1260	4290

Az évenkénti átlagosan 50 kg/ha P₂O₅ adaggal növekvő P szinteken szignifikánsan növekedtek a könnyen oldható P tartalmak (2.10. táblázat). A P2 szinten a hazai talajokra, foszforigényes növényekre kidolgozott AL-P határértékek szerint csupán a bicsérdi csernozjom barna erdőtalajon nem javult a P-ellátottság legalább a „jó” szintig. A foszforra kevésbé igényes kukoricára már a P1 szinten is foszforral jól ellátottnak tekinthetjük talajainkat - a karcagi réti csernozjom talajt kivéve.

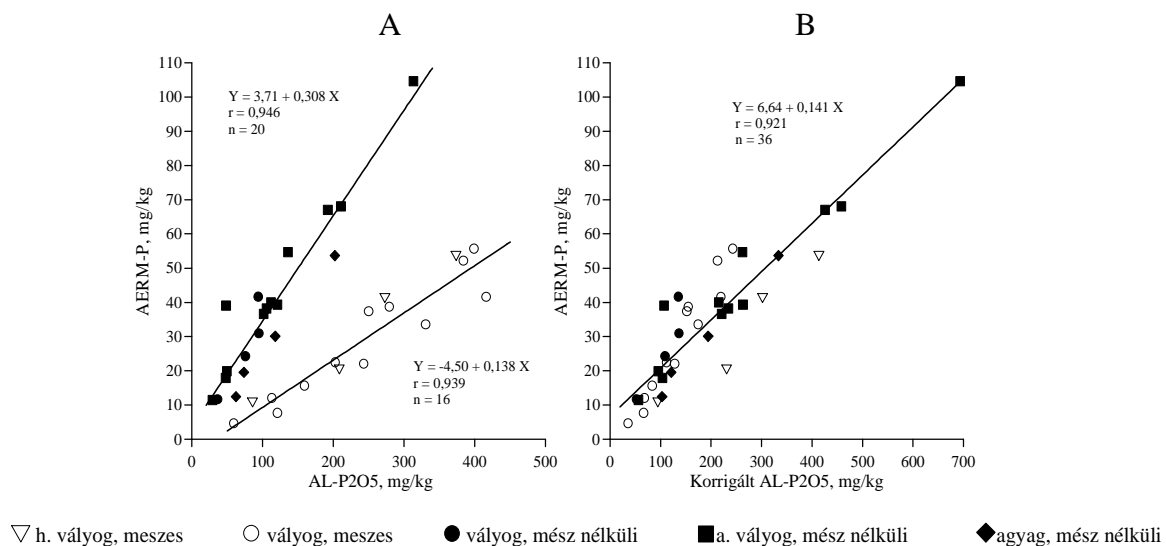
A P0 szinten mért P-tartalmak jól jelzik az egyes kísérleti helyek talajának eltérő P ellátottságát, ill. fizikai féleségében, pH és mészállapotában meglévő különbségeket. A P0 szinten az egyes helyek között 2-10-szeres, a 9 hely átlagában a P szintek között 3-5-szörös különbségeket regisztráltunk az oldható P-tartalmakban (2.10. táblázat). Ez a tény felhívja a figyelmet a hazai talajok természetes P-szolgáltató képességében meglévő különbségekre, melyet a P- műtrágyázási szaktanácsadási rendszerekben is figyelembe kell venni. P trágyázás nélkül ugyanakkor csupán az igen gyengétől a közepesig változott a P ellátottság, valamennyi talajon indokolt tehát a P trágyázás.

Az „összes” P tartalmak, tömény HNO₃ és H₂O₂ roncsolás után (MSz. 21470-50), a kísérleti helyek átlagában 125 mg/kg P₂O₅ (375 kg/ha P₂O₅) növekedést mutattak a P1 szinten a P0 szinthez képest, 159 mg/kg P₂O₅ (477 kg/ha P₂O₅) növekedést a P2 szinten a P1 szinthez képest, és további 97 mg/kg P₂O₅ (291 kg/ha P₂O₅) növekedést a P3 szinten a P2 szinthez képest. Az egész kísérlet átlagában az „összes” P 9,6%-át vonta ki az AL; 6,8%-át a Mehlich-3; 2,5%-át az Olsen-; és 0,19%-át a 0,01 M CaCl₂ oldószer. A nagyobb P szinteken a könnyen oldható P tartalmak a P kontrollokhoz képes 3-4-szer nagyobb százalékos arányban részesültek az „összes” foszfortartalomból. Már a 19. század óta ismert, hogy az „összes” P tartalmak általában nem arányosak az oldható P tartalmakkal, a várható P hatásokkal. Az OMTK kísérletekben legnagyobb természetes „összes” P tartalmakat a meszes talajokon mértünk. Megjegyezzük, hogy tömény HNO₃ és H₂O₂ roncsolás után meghatározott „összes” P tartalmak általában hasonlóak a királyvizes koncentrációkhoz, és közelítik a valódi összes P tartalmakat (2.10. táblázat).

Az A 1727 OMTK kísérletekben a talajok eltérő P szintjein kapott konvencionális és környezetvédelmi megközelítésű talaj P vizsgálati eredményekről a 2.11. táblázatból tájékozódhatunk. A vasoxidos papírcsik (FeO) által adszorbeált P mennyiségek – az irodalmi adatokhoz hasonlóan – az Olsen-P értékekhez hasonló mennyiségeket mutattak. Az anioncserélő gyantával adszorbeált (AERM) P mennyiségek ennek mintegy másfélszeresére

voltak tehetőek. P trágyázás hatására a FeO-P mintegy 3,5-szörös, az AERM-P mintegy 4-szeres növekedést mutatott.

2.5. Összefüggés a talajok könnyen oldható és környezetvédelmi megközelítésű P tartalmai között



2.4. ábra. Összefüggés a talaj AL-P₂O₅ és AERM-P tartalma, (A), valamint a talaj korigált AL-P₂O₅ és AERM-P tartalma (B) között. OMTK A1727 kísérletek, 1994.

A Sarkadi et al. (1987) által kidolgozott AL-P korrekciós modell alkalmazását az anioncserélő gyantás eljárással (AERM) kivont P tartalommal való összefüggésben tanulmányozhatjuk (2.4. ábra).

Az AL-módszer mésztartalom-függőségét jól szemlélteti, hogy az AERM módszerrel való összefüggésben a mész nélküli és a meszes talajok csoportja erőteljesen elkülönült egymástól. Az AL-P korrekció elvégzése, azaz az AL-P értékeknek egy standard talajtulajdonság-sorra való konvertálása (K_A : 36; pH_{KCl} : 6,8; $CaCO_3$: 0,1%) látványosan megszüntette az AL- módszernek a talaj $CaCO_3$ tartalmától való függőségét: a korábban erősen elkülönülő savanyú és meszes talajok csoportja az AL-P korrekció elvégzése után egy közös csoportban volt megtalálható (2.4. ábra).

2.10. táblázat. A 27 évi P trágyázás hatása a talajok könnyen oldható P-tartalmára, 0-20 cm. OMTK A 1727 kísérletek, 1994

Kísérleti helyek*											
P-szint	NH	IR	BI	KO	KA	PU	KE	HB	MO	SzD _{5%}	Átlag
„Összes” P ₂ O ₅ mg/ kg											
P0	2218	2296	1445	1240	1259	1252	1476	1267	1898		1594
P1	2354	2548	1612	1354	1342	1339	1697	1286	1936	182	1719
P2	2628	2719	1627	1639	1478	1459	1818	1427	2111		1878
P3	2787	2605	1710	1860	1634	1509	1936	1492	2241		1975
SzD _{5%}						182					62
Átlag	2497	2542	1599	1524	1428	1390	1732	1368	2046	91	1792
CaCl ₂ - P, mg/kg											
P0	0,09	0,52	0,48	0,61	0,38	0,68	0,98	0,57	0,73		0,56
P1	0,15	0,97	0,92	0,83	0,55	1,29	1,55	0,97	1,74	0,49	1,00
P2	1,37	1,71	1,12	1,71	1,64	1,55	2,68	1,24	2,13		1,68
P3	2,08	2,50	1,37	3,42	2,41	2,75	3,74	1,87	3,70		2,62
SzD _{5%}						0,49					0,20
Átlag	0,92	1,42	0,97	1,64	1,24	1,57	2,24	1,16	2,08	0,32	1,47
Olsen-P, mg/kg											
P0	3,7	6,4	5,2	7,9	4,8	7,8	7,1	7,7	6,6		6,4
P1	9,4	19,8	11,3	14,1	8,6	16,3	15,6	8,6	20,6	8,9	13,8
P2	28,1	31,7	14,7	25,2	21,4	20,5	28,8	16,8	29,2		24,0
P3	46,5	47,7	21,7	43,0	25,5	25,1	38,1	28,2	34,0		34,4
SzD _{5%}						7,1					3,9
Átlag	21,9	26,4	13,2	22,6	15,1	17,4	22,4	15,3	22,6	5,8	19,7
AL- P ₂ O ₅ mg/ kg											
P0	60,0	121,8	37,3	48,3	29,3	47,9	85,6	62,5	160,3		72,6
P1	113,8	203,6	76,5	105,8	49,5	101,7	208,6	73,5	243,9		131,0
P2	251,0	280,1	95,7	192,4	111,8	121,1	273,0	117,9	331,6	75,1	197,4
P3	400,1	384,9	94,8	313,3	136,0	210,9	373,7	202,4	417,2		282,1
SzD _{5%}					67,6						25,4
Átlag	206,6	247,8	76,5	165,3	81,5	120,5	235,9	113,8	288,1	45,9	170,8
Korrigált AL- P ₂ O ₅ mg/ kg											
P0	35,5	68,9	55,4	106,1	54,5	111,4	103,6	96,6	84,2		79,6
P1	67,3	114,7	98,4	232,2	93,0	237,4	254,0	112,7	127,9	68,4	148,6
P2	148,5	158,2	125,3	423,4	209,8	282,4	332,2	180,3	173,9		226,0
P3	236,6	216,9	120,8	687,0	255,6	492,7	454,9	310,8	218,8		332,7
SzD _{5%}						70,3					34,3
Átlag	122,0	139,7	100,0	362,2	153,2	281,0	286,2	175,1	151,2	35,7	196,7

* Kísérleti helyek: NH: Nagyhörcsök; IR: Iregszemcse; BI: Bicsérd; KO: Kompolt; KA: Karcag; PU: Putnok; KE: Keszthely; HB: Hajdúböszörmény; MO: Mosonmagyaróvár.

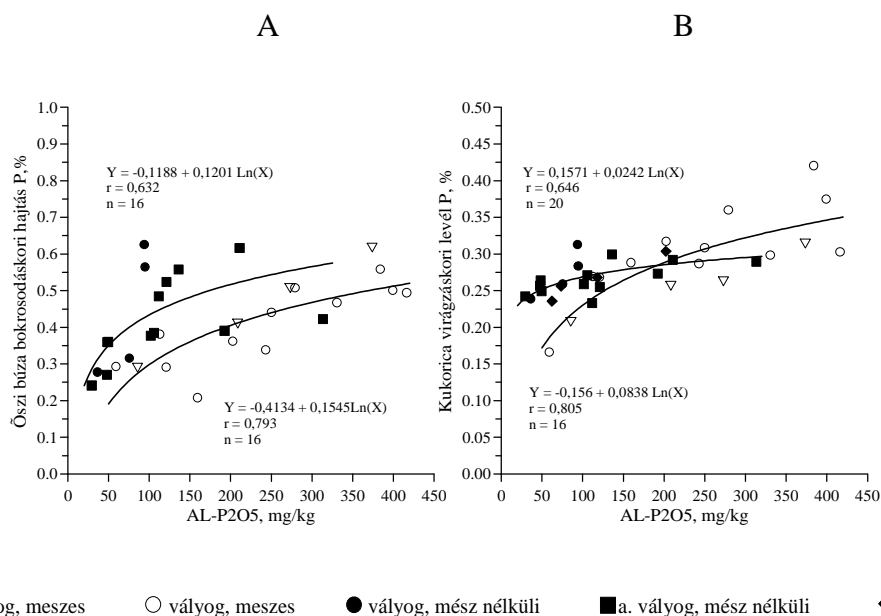
2.11. táblázat. A 27 évi P trágyázás hatása a talajok környezetvédelmi megítélésre is felhasználható P-tartalmára, 0-20 cm. OMTK A 1727 kísérletek, 1994

Kísérleti helyek*											
P-szint	NH	IR	BI	KO	KA	PU	KE	HB	MO	SzD _{5%}	Átlag
FeO- P mg/ kg talaj											
P0	3,2	5,4	6,4	17,0	6,2	9,3	5,9	6,4	11,4		7,9
P1	7,8	14,5	12,5	15,5	10,2	13,8	11,6	12,1	14,6		12,5
P2	22,1	26,0	15,5	37,0	31,0	22,8	27,7	18,5	24,8	8,3	25,0
P3	36,9	37,7	24,1	56,8	35,0	39,3	36,5	33,5	28,7		36,5
SzD _{5%}						6,5					2,4
Átlag	17,5	20,9	14,6	31,6	20,6	21,3	20,4	17,6	19,9	6,1	20,5
AERM-P, mg/kg talaj											
P0	4,5	7,5	11,5	39,0	11,4	17,9	10,7	12,5	15,5		14,5
P1	11,9	22,3	24,1	38,2	19,9	36,6	20,4	19,5	21,9		23,9
P2	37,2	38,6	30,8	67,0	40,0	39,3	41,3	30,1	33,4	15,2	39,7
P3	55,5	52,0	41,5	104,6	54,6	68,0	53,6	53,6	41,4		58,3
SzD 5%						12,0					4,4
Átlag	27,3	30,1	26,9	62,2	31,5	40,4	31,5	28,9	28,0	10,8	34,1

* Kísérleti helyek: ld.: 2.10. táblázat.

2.6. Összefüggés a fiatalkori őszi búza és a kukorica levél P koncentrációja, valamint a talaj könnyen oldható P tartalma között

Mind a talaj korrigált AL-P tartalma és a bokrosodáskori őszi búza hajtás P%, mind a talaj AL-P tartalma és a virágzáskori kukorica levél P% közötti összefüggés logaritmus függvénytől volt leírható (2.5. ábra).



2.5. ábra. Összefüggés a talaj AL-P₂O₅ tartalma és a bokrosodáskori őszi búza hajtás P koncentrációja (A), valamint a talaj AL-P₂O₅ tartalma és a virágzáskori kukorica levél P koncentrációja (B) között. OMTK A1727 és B1728 kísérletek, 1994, 1995.

Az összefüggés szorossága hasonló „r” értékekkel (0,65-0,80) volt jellemezhető. Az őszi búza hajtás „jó” P-ellátottság savanyú talajokon a 100-110 mg/kg AL-P₂O₅ tartalmak fölött, meszes talajokon 140-150 mg/kg AL-P₂O₅ fölött vált általánossá. A kukorica levél „jó” ellátottságot (0,26% P) savanyú talajon a 70-90 mg/kg AL-P₂O₅ tartalmak fölött, meszes talajokon 110-120 mg/kg AL-P₂O₅ fölött regisztráltuk.

A fenti összefüggések megerősítik a P-igényes és a foszforra mérsékelten igényes növénycsoportok meglétét, és a két növénycsoportra külön-külön kidolgozott AL-P határértékek létjogosultságát, amely a környezetkímélő P trágyázási gyakorlat egyik fontos eleme.

Fentiekben ismertetett kísérleteinkben hazai viszonylatban első alkalommal jelen OTKA pályázat keretében vizsgáltuk a konvencionális és a környezetvédelmi célú P vizsgálatok alkalmazhatóságát a foszfor környezeti kockázatának becslésében.

Irodalomjegyzék

- Balázs, J. – Németh, I. 2002. Effects and residual effects of intensive P fertilization during the 1960's. (in Hungarian: A hatvanas évek nagyadagú foszfor-műtrágyázásának hatása és utóhatása napjainkban) „*Környezeti ártalmak és a légzőrendszer*” Konferencia kiadvány, Hévíz, p. 7-17.
- Bergmann, W. – Neubert, P. (1976): Pflanzendiagnose und Pflanzenanalyse. VEB Gustav Fischer Verlag. Jena.
- Csathó, P. (2002): Az AL-P korrekciós modell értékelése a hazai szabadföldi őszi búza P kísérletek adatbázisán, 1960-2000. *Agrokémia és Talajtan*, 51: 351-380.
- Csathó, P. (2003): Őszi búza P-hatásokat befolyásoló tényezők vizsgálata az 1960 és 2000 között publikált hazai szabadföldi kísérletek adatbázisán. *Növénytermelés*, 52: 679-701.
- Csathó, P. – Magyar, M. – Debreczeni, K. and K. Sárdi (2005): Correlation Between Soil P and Wheat Shoot P Contents in a Network of Hungarian Long-Term Field Trials. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 36: 275-293.
- Egner, H., Riem, H. and Domingo, W. 1960. Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoff-zustandes der Böden. II. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor und Kaliumbestimmung. *Kungl. Lantbrukshögsk. Ann.* 26, 199-215.
- Fixen, P.E. and Grove, J.H. 1990. Testing Soils for Phosphorus. In *Soil Testing and Plant Analysis*. (Ed. by Westerman, R.E.) SSSA, Madison, Wi., USA. pp. 141-180.
- Gartley, K.L. & Sims, J.T. (1994): Phosphorus soil testing: environmental use and implications. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* Vol. 25 pp. 1565-1582.
- Kádár, I. (2004): A műtrágyázás hatása a tavaszi árpa elemfelvételére karbonátos csernozjom talajon. *Növénytermelés*, 2004. Tom.53.No.1-2., 61-74.
- Kamprath, E.J. and M.E. Watson, 1980. Conventional Soil and Tissue Tests for Assessing the Phosphorus Status of Soils. In *The Role of Phosphorus in Agriculture*. (Ed. by Khasawneh et al.). ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI. USA. pp. 433- 469.
- Mattingly, G.E.G. and F.W. Widdowson 1963. Residual value of superphosphate and rock phosphate on an acid soil. 1. Yields and phosphorus uptakes in the field. *J. Agric. Sci.* Vol. 60, pp. 399-407.
- Mills, H. A., J. Benton Jones Jr. (1996): *Plant Analysis Handbook II*. MicroMacro Publishing, Inc., Athens, Georgia.
- Murphy, J. and Riley, J.P. (1962): A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta* Vol.27, pp. 31-36.
- Logan, T.J. (2000): Soils and environmental quality. (In: *Handbook of Soil Science*, ed. Sumner, M.E.). CRC Press, Washington.
- Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S., Dean, L.A. 1954. Estimation of Available Phosphorus in Soil by Extraction with NaHCO₃. *U.S. Dept. Agric. Circ.* 939.
- Reuter, D.J., J.B. Robinson (Ed.) (1988): *Plant Analysis*. Inkata Press, Melbourne, Sydney.
- Reuter, D.J. and Robinson, J.B. (Eds). 1997. *Plant Analysis: an interpretation manual*. 2nd Edition. CSIRO Publishing, Australia. 572 p.

- Sárdi, K. (2001): A P-lekötődés és szolgáltatás tanulmányozása tenyésztedény kísérletben. *Agrokémia és Talajtan*, Tom. 50, pp. 226-246.
- Sárdi, K., Csathó, P. (2004): Responses of spring barley to increasing agronomic and extreme phosphorus levels. VIII. ESA Congress, Book of Proceedings (Ed. by S.E. Jacobsen, C.R. Jensen and J.R. Porter) pp. 447-448.
- Sharpley, A.N. et al. (1994): Managing agricultural phosphorus for protection of surface waters: issues and options. *Journal of Environ. Quality* Vol. 23 pp. 437-451.
- Stewart, J.W.B. and Tiessen, H. (1987): Dynamics of Soil organic phosphorus. *Biogeochemistry*, Vol. 4 pp. 41-60.
- Wolf, A.M. and Baker, D.E. 1985. Comparisons of soil test phosphorus by Olsen, Bray P1, Mehlich-I and Mehlich-III methods. *Commun. Soil Sci Plant Anal.* 16:467-484.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetünket fejezzük ki a Keszthelyen és Szentgyörgyvölgyön folytatott trágyázási tartamkísérleteket vezető kutatóknak, Dr. Balázs Juliannának és Dr. Németh Istvánnak, hogy a kísérletek talajminta vételét szakmailag segítették és az ehhez szükséges információkat rendelkezésünkre bocsátották.

Köszönet illeti Radimszky Lászlót a talajminta vételezésben nyújtott segítségéért.