

A foszfordinamika jellemzői trágyázási tartamkísérletek talajaiban

SÁRDI Katalin

Pannon Egyetem, Georgikon Kar, Növénytermesztéstan és
Talajtani Tanszék, Keszthely

Bevezetés

Közismert, hogy a tápanyag-gazdálkodásban a foszfor kiemelt szerepet játszik. A foszfor a növények, az állatok és az ember számára egyaránt létfontosságú tápelem, ugyanakkor a foszfor tápanyagellátás nem csupán a talaj növények számára felvehető P-tartalmát növelheti, hanem egy kritikus koncentráció fölött környezeti kockázattal járhat. A hatékonyságot a környezetkímélő tápanyag-gazdálkodásban növelni kell, a műtrágya hatóanyag érvényesülés javításán és a környezet terhelését okozó veszteségek csökkentésével. A környezetkímélő mezőgazdasági tevékenység (ezen belül a tápanyag-gazdálkodás) törvényi szabályozását szolgálja hazánkban az 1990-es évektől több hatályos törvény, ill. kormány-rendelet, amelyek a természeti erőforrások védelmére irányulnak. A hatékony és korszerű tápanyag-gazdálkodáshoz ezek ismerete ma már nélkülözhetetlen (FÜLEKY & SÁRDI, 2014).

Az elmúlt évtizedekben a foszfor környezeti kockázatainak pontosabb megismerését célzó nemzetközileg koordinált törekvések egyre nagyobb szerepet töltenek be, amelyet jól tükröz, pl. az OECD "Environmental Indicators for Agriculture" című összefoglaló kiadványa, melyben a rendszeres talaj- és víz-vizsgálatokat, az üzemi (farm gate balance) és az országos foszfor tápelem mérlegek számítását egyaránt szükségesnek ítélik (OECD Proceedings, 1999).

Az OECD előírások szerint, 2004 óta Magyarországnak is közölnie kell a mezőgazdasági területek környezetvédelmi P-mérleg adatait ($\text{kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$). Az 1990-es évektől a mérleg minden évben negatív. A 2010-es csapadékos évben a nagyobb termésátlagok miatt az átlagos P_2O_5 érték $9 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ -al kevesebb volt. (Összehasonlításként: az 1980-as érték $+41,0 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, 2000-ben $-7,0 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ volt).

A talaj foszfor-ellátottságának megállapítása

Bár a növények számára a fő foszfor-forrásnak a szerves P-formákat tekintik, a labilis, ezért könnyen átalakuló szerves P-formák mineralizációjára vonatkozóan bebizonyosodott, hogy azok a különböző termékenységű talajokon fontos P-források.

Postai cím: SÁRDI KATALIN, Pannon Egyetem, Georgikon Kar, 8360 Keszthely, Deák F. u. 16. *E-mail:* sardi@georgikon.hu

Az elmúlt évtizedekben világszerte nagyszámú kísérletet végeztek a talajok foszfor-ellátottságának biológiai módszerű megállapítására. Több szerző véleménye szerint a talaj P-ellátottságának és a foszfor utóhatásának jellemzésére a növényi P-felvétel alkalmasabb, mint a termés mennyisége. Általában a tenyészedeny-kísérleteket tartják előnyösebbnek e célra, mivel szabadföldi körülmények közt több tényező ellenőrizhetetlen vagy nem ismert (QUÉMENER, 1979; RAHMAN, 2012).

A hagyományos talaj P-meghatározási módszerek környezetvédelmi célú alkalmazása iránt növekszik az érdeklődés. Ennek oka, hogy összefüggést találtak a különböző módszerekkel kivonható talaj P-tartalom és a felszíni elfolyással, lemosódással távozó víz oldott szervesetlen ortofoszfát (oldott reaktív-P), biológiailag felvehető foszfor-, valamint összes foszfortartalma között.

A talaj P-teszt értékek és a felszíni, ill. felszín alatti vizekbe jutó foszfor mennyisége közötti kapcsolathoz hasonlóan a talajokban meghatározható az a kritikus P-telítettségi szint, amely fölött ugrásszerűen megnövekszik a mezőgazdasági eredetű foszfor környezeti kockázata (CSATHÓ et al., 2003; OSZTOICS et al., 2004).

A kivonószerek jelentősége

A talajok tápanyag-állapotának jellemzésére világszerte számos kivonószert alkalmaznak: erős és gyenge savakat, ill. ezek sóit, lúgos kémhatású oldatokat, valamint vizet. Ezek egy része csak bizonyos talajkémhatásnál alkalmazható, pl. a Bray 1 és a Bray 2 savanyú talajokra, míg az Olsen-módszer elsősorban meszes talajokra. Vannak olyan kivonószerek, amelyek különböző talajkémhatásnál is jó hatásfokúak a felvehető foszfor mennyiségének megállapítására, pl. a Mehlich-3, valamint a hazánkban elterjedt AL- (ammónium laktátos) módszer.

A talajok könnyen oldható P-tartalmának és az egyes foszfát-frakciók (pl. a Ca-, Al- és a Fe-foszfátok) meghatározására alkalmazott kivonószereket hazánkban FÜLEKY (1976) hasonlította össze eltérő tulajdonságú talajokra.

További nehézség a könnyen oldható tápelemtartalom heterogenitása, amely az alkalmazott agrotechnika, főként a trágyázás (adag és mód) függvényében számottevően befolyásolja az eredményeket. Évtizedekkel ezelőtt hívták fel erre a figyelmet, pl. JACKSON (1958), aki szerint a mintavételből származó hiba háromnegyszer, vagy akár nagyságrenddel is nagyobb lehet, mint a laboratóriumi analitikai hiba.

Az MTA TAKI műtrágyázási tartamkísérletében SARKADI és munkatársai számoltak be a talaj heterogenitásából eredő problémákról, amelyek az ellátottság és a műtrágya-hatások kapcsolatában jelennek meg (SARKADI et al., 1986).

A talaj P-teszt módszerekkel szemben támasztott követelmények, hogy jól reprodukálhatók, gyorsan és olcsón elvégezhetőek és rutinvizsgálatokra is alkalmasak legyenek.

Kísérleteink

Az Országos Műtrágyázási Tartamkísérletek (OMTK) és más tartamkísérletek (Szentgyörgyvölgy és Keszthely) talajait felhasználva, tenyészedeny- és inkubáci-

ős-kísérletekben vizsgáltuk a talajok foszfordinamikájának mennyiségi viszonyait, foszfor-retencióját és -szolgáltató képességét. Az elvégzett vizsgálatok eredményei lehetőséget adtak a műtrágyával kijuttatott foszfor utóhatásának, valamint az oldhatósági viszonyok megváltozásának tanulmányozására is.

Anyag és módszer

Kísérleti talajok: a keszthelyi Ramann-féle barna erdőtalajon, ill. a szentgyörgyvölgyi pszeudoglejes barna erdőtalajon beállított trágyázási tartamkísérletek talajmintái. A 10 év (1963–1973) intenzív, növekvő adagú feltöltő foszfortrágyázás (BALÁZS & NÉMETH, 2002) eredményeként a talajokban három növekvő foszfor-ellátottsági szint jött létre. A 10 évig folytatott trágyázás beszüntetése után, 30 év elteltével talajmintákat vettünk. A talajok legfontosabb kémiai tulajdonságait az 1. táblázatban foglaltuk össze.

1. táblázat
A kísérleti talajok főbb jellemzői

(1) Tartam P-szint	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	Olsen-P	AL-P	AL-K	N _{min}
			mg·kg ⁻¹			
<i>Keszthely (Orthic Eutrochrept)</i>						
P ₀	6,88	5,93	14,53	19,4	114,8	31,8
P ₁	6,96	5,98	10,93	14,33	117,4	19,8
P ₂	7,05	6,14	16,63	25,81	126,6	17,2
<i>Szentgyörgyvölgy (Typic Albaqualf)</i>						
P ₀	6,72	6,14	22,96	44,77	112,8	10,7
P ₁	6,54	5,93	39,16	66,76	117,4	12,6
P ₂	6,60	6,16	40,62	69,30	105,4	12,1

Megjegyzés: A talaj P- és K-tartalma P₂O₅ és K₂O-ra vonatkozik

A trágyázási tartamkísérletben 10 év alatt kijuttatott összes hatóanyag mennyisége:

P ₀ trágyázási szint (kontroll):	0 kg P ₂ O ₅ · ha ⁻¹ ,
P ₁ trágyázási szint:	1032 kg P ₂ O ₅ · ha ⁻¹
P ₂ trágyázás szint:	1986 kg P ₂ O ₅ · ha ⁻¹

A foszforvegyületek oldhatósági viszonyainak alakulását inkubációs tenyészedény-kísérletekben tanulmányoztuk.

A szabadföldi kísérletek talajmintáival két eltérő hőmérsékleten (10 és 40 °C) 2, ill. 60 napig folytattuk a kísérleteket, melyekben a tenyészedény-kísérletekkel azonos P-kezeléseket alkalmaztunk. A frissen adott kezelések: 0, 100, 500 és 1000 mg P₂O₅·kg⁻¹. Az inkubációt MIM LP-123/1 típusú termosztátban folytattuk, 100 g talajmintával, üveg-edényekben. A talajt 70%-os vízkapacitás értéken tartottuk.

A kísérletek lebontásakor három eltérő tulajdonságú kivonószerezrel meghatároztuk a talajminták felvehető foszfortartalmát. A vízdíható-P koncentrációját a módosított Murphy-módszerrel (MURPHY-RILEY, 1962), az Olsen által ajánlott kivonószerezrel (OLSEN & SOMMERS, 1982), valamint az AL-oldható P-tartalmat az EGNÉR és munkatársai (1960) által javasolt módszertan szerint mértük. A foszfortartalmat kolorimetriásan határoztuk meg.

Az eredmények statisztikai értékelését ANOVA analízissel és korrelációszámítással végeztük.

Kísérleti eredmények és értékelésük

Kísérletsorozatunk részeredményeit több közleményben bemutattuk (SÁRDI, 2001; SÁRDI & CSATHÓ, 2002; SÁRDI & CSATHÓ, 2010). Főbb eredményeinkről a terjedelmi korlátok figyelembevételével jelen dolgozatunkban kívánunk áttekintést adni.

A foszforvegyületek oldhatóságának változása

Általánosan jellemző, hogy a foszfor utóhatása még 30 év elteltével is érvényesült, ahogy az AL, Olsen és Bray 1 kivonószerezekkel meghatározott P-tartalom értékeknél is megmutatkozott. A frissen adott kezelések hatását egyértelműen mutatták az inkubációt követő talajvizsgálatoknál kapott értékek ugrásszerű növekedései.

A kivonószerezekkel mért talaj P-tartalmak (AL-, Olsen-, Bray 1-, CaCl_2 -, H_2O - és FeO-P), valamint a P-szorpció kapacitás %-os telítettsége és az agronómiai optimumok az eltérő pufferkapacitású két talajon jóval kisebbnek bizonyultak, mint a környezeti szempontból kritikus talaj P-tartalmak, amelyeket az Olsen-P és a CaCl_2 -P közötti összefüggés alapján határoztunk meg (MAGYAR et al., 2002).

Megállapítottuk, hogy a három eltérő kivonószerezrel meghatározott P-mennyiségek sorrendje: Vízdíható-P < Olsen-P < AL-P.

A hőmérséklet és az inkubációs időtartam jelentős, a legtöbb kezelésben statisztikailag igazolható különbségeket eredményezett a vízdíható-, az Olsen- és az AL-P-tartalomban. A három kivonószerezrel kapott eredmények között statisztikailag igazolható kapcsolatot mutattunk ki. Az eredményeket a 2. táblázatban foglaltuk össze. Az összefüggés $P = 0,1\%$ szinten igazolható volt (R^2 értékek 0,498 és 0,985 között változtak; $n = 48$). A $10\text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékleten a savas kémhatású AL-oldattal kapott értékek jelentősen nagyobbak voltak.

Terjedelmi korlátok miatt csak a keszthelyi talajjal kapott eredményeket mutatjuk be. Eredményeink szerint a magasabb hőmérséklet kedvezett a talajban a foszfor immobilizációjának (3. táblázat). Megfigyelhető, hogy ezen a talajon az AL-oldható foszfortartalom csökkenése a magas hőmérsékleten a frissen kijuttatott P-adagok növekedésével együtt nőtt. A vízdíható 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 frissen adott foszfor átlagos hasznosulását a 4. táblázat szemlélteti.

2. táblázat
A különböző kivonószerekkel mért P-tartalom értékek közötti kapcsolat
2 és 60 napos inkubációt követően

(1) Kivonószerek	(2) Inkubációs idő, 2 nap		(2) Inkubációs idő, 60 nap	
	(3) Egyenlet (n = 48)	R ²	(3) Egyenlet (n = 48)	R ²
<i>A. Az inkubáció hőmérséklete, 10 °C</i>				
(a) Vízoldható-P – Olsen-P	$y = -0,0016x^2 + 1,8052x + 0,2096$	0,961	$y = -0,0057x^2 + 3,2652x - 23,1960$	0,971
(b) Vízoldható-P – AL-P	$y = 1,5617x + 18,0190$	0,890	$y = -0,0077x^2 + 4,4979x - 20,5690$	0,976
Olsen-P – AL-P	$y = 1,1141x + 10,3570$	0,851	$y = -0,0007x^2 + 1,6864x - 1,2249$	0,985
<i>B. Az inkubáció hőmérséklete, 40 °C</i>				
(a) Vízoldható P – Olsen-P	$y = -0,0064x^2 + 3,2054x - 24,0080$	0,949	$y = -0,0154x^2 + 4,3431x - 27,0440$	0,911
(b) Vízoldható P – AL-P	$y = -0,0044x^2 + 2,4854x + 0,3707$	0,978	$y = -0,0217x^2 + 5,1630x - 43,5980$	0,498
Olsen-P – AL-P	$y = -0,0008x^2 + 1,0941x + 8,3578$	0,952	$y = -4E^{-0,5}x^2 + 1,0281x - 5,2070$	0,537

Megjegyzés: Vízoldható-P (MURPHY-RILEY, 1962); Olsen-P (OLSEN & SOMMERS, 1982); AL-P (EGNER et al., 1960)

A hasznosulási százalékot az inkubációt követően meghatározott és a kiindulás-kor mért P-tartalmak különbségéből számítottuk. A szentgyörgyvölgyi pszeudoglejes barna erdőtalajjal végzett inkubációs kísérlet eredményei több tekintetben hasonló tendenciát mutattak a keszthelyi Ramann-féle barna erdőtalajjal kapott eredményekhez. A frissen adott kezelések hatására azonban a P₀ alapszinten általában kisebb mértékű volt a P-tartalom emelkedése.

A növények által kivont foszformennyiségek tanulmányozására ezekkel a talajokkal tenyészedény-kísérleteket is végeztünk, az eredményekről több dolgozatban számoltunk be (SÁRDI & CSATHÓ 2002; SÁRDI et al., 2012).

Jelen dolgozatban – az eredmények megbízhatóságának alátámasztására – csak a regresszió analízis eredményeinek összevetésekor kapott szoros, szignifikáns kapcsolatot tüntetjük fel: $r = 0,918$ ($R^2 = 0,842$) (SÁRDI & CSATHÓ, 2010). A szentgyörgyvölgyi és keszthelyi talajjal folytatott tenyészedény-kísérlet eredményei alapján lehetővé vált a savas (AL-P) és a bázikus kémhatású (Olsen-P) kivonószerekkel mérhető P-tartalom közötti kapcsolat szorosságának jellemzése. Az eredményekből látható, hogy a növényi P-felvétel és a két kivonószerekkel mérhető P-mennyiség kapcsolata szoros volt ($P = 0,000$), az R^2 értékek 0,612 és 0,943 között változtak ($n = 60$) (5. táblázat). Az összefüggés a Ramann-féle barna erdőtalajon (Keszthely) szorosabbnak bizonyult.

3. táblázat
A készthelyi talaj felvehető P-tartalmának változása az inkubáció hatására a P₀, P₁ és P₂ szinten (mg·kg⁻¹)

(1) Kivonószerek	P ₀ alapszinten						P ₁ alapszinten						P ₂ alapszinten					
	(2) Inkubációs hőmérséklet		(4) SzD _{5%}	(2) Inkubációs hőmérséklet		(4) SzD _{5%}	(2) Inkubációs hőmérséklet		(4) SzD _{5%}	(2) Inkubációs hőmérséklet		(4) SzD _{5%}	(2) Inkubációs hőmérséklet		(4) SzD _{5%}			
	10 °C	40 °C		10 °C	40 °C		10 °C	40 °C		10 °C	40 °C		10 °C	40 °C				
	(3) Inkubációs napok száma		(3) Inkubációs napok száma		(3) Inkubációs napok száma		(3) Inkubációs napok száma		(3) Inkubációs napok száma		(3) Inkubációs napok száma		(3) Inkubációs napok száma					
2	60	2	60	2	60	2	60	2	60	2	60	2	60	2	60			
<i>A. (kontroll), -</i>																		
a) Vízold.-P	5,5	9,1	15,3	8,9	2,8	7,1	13,1	9,4	10,0	1,7	16,8	12,2	11,4	12,7	1,7			
Olsen-P	11,9	12,6	14,3	13,8	0,8	10,9	11,1	12,0	11,5	1,5	15,3	16,5	15,5	16,6	1,5			
AL-P	11,9	22,1	21,0	17,4	2,8	9,0	16,8	16,0	12,3	2,6	40,3	30,6	19,9	15,9*	2,7			
<i>B. 100 mg P₂O₅·kg⁻¹</i>																		
a) Vízold.-P	17,1	22,4	27,6	10,9	4,5	30,6	19,0	33,1	20,6	5,9	48,1	20,7	17,7	16,1	8,6			
Olsen-P	53,1	53,5	48,0	38,3	13,4	52,7	38,9	50,3	44,0	10,4	67,9	54,9	58,8	38,1	10,7			
AL-P	68,3	94,4	77,8	43,4	17,2	83,1	60,1	70,9	55,0	14,2	104,5	83,2	76,5	51,2*	10,6			
<i>C. 500 mg P₂O₅·kg⁻¹</i>																		
a) Vízold.-P	115,1	79,8	77,9	37,6	9,1	148,7	70,1	80,4	57,0	25,4	165,3	84,2	74,1	56,3	17,7			
Olsen-P	222,0	196,0	179,0	134,0	22,0	218,0	162,0	181,0	120,0	32,0	210,0	181,0	189,0	148,0	26,0			
AL-P	180,0	285,0	169,0	178,0	23,0	194,0	243,0	163,0	159,0	29,0	352,0	293,0	152,0	155,0*	47,0			
<i>D. 1000 mg P₂O₅·kg⁻¹</i>																		
a) Vízold.-P	246,0	182,0	201,0	100,0	36,0	269,0	198,0	171,0	114,0	20,0	299,0	238,0	169,0	123,0	47,0			
Olsen-P	370,0	443,0	325,0	306,0	49,0	369,0	372,0	10,7	265,0	44,0	417,0	417,0	389,0	258,0	53,0			
AL-P	340,0	614,0	332,0	332,0	34,0	380,0	546,0	290,0	472,0	77,0	572,0	572,0	297,0	389,0*	69,0			

Megjegyzés: * P₀ és a P₁ szinteken kapott 40 °C 60. nap/2. nap arányokból becsült P-tartalom értékek

4. táblázat

A frissen adott foszfor átlagos hasznosulása (%) a kísérleti talajokon

(1) Kísérleti helyek								
(2) Tartam P-szint	Keszthely				Szentgyörgyvölgy			
	(3) Az inkubáció hőmérséklete							
	10 °C		40 °C		10 °C		40 °C	
	(4) Inkubációs idő							
	2 nap	60 nap	2 nap	60 nap	2 nap	60 nap	2 nap	60 nap
P ₀	21,5	19,2	21,1	9,5	20,2	15,5	22,4	12,4
P ₁	29,0	17,6	22,1	14,5	22,4	22,3	16,2	13,5
P ₂	37,0	20,4	16,4	13,3	27,5	22,8	17,9	9,4

5. táblázat

A növényi P-felvétel és a két kivonószerezellel mérhető felvehető P-tartalom kapcsolata (n = 60)

(1) Talaj	(2) P-felvétel – AL-P	(3) P-felvétel – Olsen-P	AL-P – Olsen-P
Keszthely	$y = 6,2927x - 15,794$ $R^2 = 0,727$	$y = 3,3851x - 10,601$ $R^2 = 0,827$	$y = 0,49x + 1,5029$ $R^2 = 0,943$
Szentgyörgy- völgy	$y = 0,3967x - 63,805$ $R^2 = 0,612$	$y = 3,1273x - 18,996$ $R^2 = 0,784$	$y = 0,3077x + 20,606$ $R^2 = 0,679$

Következtetések

A kísérleteinkben kapott és a fentiekben összefoglalóan bemutatott eredményeink is felhívják a figyelmet arra, hogy a talajok foszforvegyületeinek átalakulásában, hasznosulásában szerepet játszó tényezők összetett kölcsönhatások eredményeként jutnak kifejezésre. A foszfordinamika részleteinek megismerésében fontos szerepet kapnak azok a kísérletek, amelyekben kontrollált körülmények között megbízható, számszerű adatok nyerhetők a talaj–növény rendszer foszfor tápelemforgalmára vonatkozóan. A termőhely, a talajtípusokat leginkább jellemző talajtulajdonságok szerepének további tanulmányozása szükséges a talajok foszfordinamikájának még részletesebb megértéséhez.

A hatékony és a környezetkímélő gazdálkodás követelményeinek is megfelelő foszfor tápanyag-visszapótlás továbbfejlesztéséhez ezeket az ismereteket nélkülözhetetlennek ítéljük.

Összefoglalás

Közismert, hogy a tápanyag-gazdálkodásban a foszfor problematikája kiemelt szerepet játszik, mivel a foszfor tápanyagellátás nem csupán a talaj növények számára felvehető P-tartalmát növelheti, hanem egy kritikus koncentráció fölött környezeti kockázattal járhat. A hatékonyságot a környezetkímélő tápanyag-gazdálkodásban növelni kell, a műtrágya hatóanyag érvényesülés javításán és a környezet terhelését okozó veszteségek csökkentésén keresztül. A talajok foszfordinamikájának számszerűsítése ebben kulcsszerepet tölt be.

Kísérletsorozatunkban tenyészedény- és inkubációs kísérleteket végeztünk tartamkísérletek talajaival, tanulmányoztuk a különböző talajtípusok foszfordinamikájának mennyiségi viszonyait, az egyes talajtípusok foszfor retencióját és szolgáltató képességét. Célunk volt a műtrágyával kijuttatott foszfor utóhatásának, valamint az oldhatósági viszonyok megváltozásának tanulmányozása is. Dolgozatunkban kísérletsorozatunk azon részének eredményeiről számolunk be, amelyet Keszthelyen, Ramann-féle barna erdőtalajon (homokos vályog) és Szentgyörgyvölgyön, pszeudogleyes barna erdőtalajon (agyagos vályog) folytatott foszfortrágyázási tartamkísérletek talajaival végeztünk. A 10 évig (1963–73 között) intenzív, növekvő adagú feltöltő foszfortrágyázás eredményeként a talajokban három növekvő foszfor ellátottsági szint alakult ki. A talajmintavétel a 10 évig folytatott trágyázás beszüntetése után 30 év elteltével történt.

Megállapítottuk, hogy a foszfor utóhatása még 30 év elteltével is érvényesült, amely a vízdoldható-, AL- és Olsen-P tartalomban is megmutatkozott. Inkubációs kísérleteink eredményei alapján kimutattuk, hogy a kedvező nedvességállapot a talajban alacsony hőmérsékleten elősegíti a kivonható P-tartalom rövid távú mobilizációját, míg a magasabb hőmérséklet e formák immobilizációját fokozta.

Kulcsszavak: foszfordinamika, tartamkísérlet, inkubációs kísérlet, kivonószerek

Irodalom

- BALÁZS J. & NÉMETH I., 2002. A hatvanas évek nagyadagú foszfor-műtrágyázásának hatása és utóhatása napjainkban. In: "Környezeti ártalmak és a légzőrendszer". Konferencia kiadvány. 7–17.
- CSATHÓ P., OSZTOICS E., SÁRDI K., SISÁK I., MAGYAR M. & SZÜCS P., 2003. A mezőgazdasági területekről a felszíni vizekbe kerülő foszfor-terhelések I. Foszforfor-galmi vizsgálatok értékelése. *Agrokémia és Talajtan*. **52**. (2–4) 473–486.
- EGNER, H., RIEHM, H., & DOMINGO, W. R., 1960. Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. II. K. *Lantbr. Högsz. Ann.* **26**. 199–215.
- FÜLEKY GY., 1976. A talaj könnyen oldható P-tartalmának meghatározására használt kivonószerek vizsgálata II. *Agrokémia és Talajtan*. **25**. 284–295.
- FÜLEKY GY. & SÁRDI K., 2014. Tápanyag-gazdálkodás mezőgazdasági mérnököknek. Mezőgazda Kiadó. Budapest.

- JACKSON, M. L., 1958. Soil Chemical Analysis. Prentice-Hall, Inc. Eng. Cliffs N. J.
- MAGYAR, M., CSATHÓ, P., DEBRECZENI, K. & SÁRDI, K., 2002. Correlation Among Different P-Test Methods Studied in a Network of Hungarian Long-term Field Trials. Hungarian Contributors to the 17th International Congress of Soil Science. *Agrokémia és Talajtan.* **51.** (1–2) 167–176.
- MURPHY, J. & RILEY, J. P., 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta.* **27.** 31–36.
- OECD Proceedings, 1999. Environ. Ind. Agriculture. Vol. 2. The York Workshop.
- OLSEN, S. R. & SOMMERS, L. E., 1982. Phosphorus. In: *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties.* (Ed.: PAGE, A. L.) 403–430. American Society of Agronomy. Madison. Wi.
- OSZTOICS E., CSATHÓ P., SÁRDI K., SISÁK I., MAGYAR M., OSZTOICS A. & SZÜCS P., 2004. A mezőgazdasági területekről a felszíni vizekbe kerülő foszfor-terhelések II. A talaj foszforveszteségei, környezetvédelmi célú talaj P-vizsgálatok. *Agrokémia és Talajtan.* **53.** (1–2) 165–180.
- QÉMENER, J., 1979. The Measurement of soil Potassium. IPI Research Topics No. 4. Bern. 5–48.
- RAHMAN, B., 2012. Response of rice to an Integrated Nutrient Management treatment in soils collected from the long term fertility experiment. *International Journal of Farm Sciences.* **2.** (1) 105–110.
- SARKADI J., NÉMETH T. & KÁDÁR I., 1986. A talaj könnyen oldható tápanyagtartalmának heterogenitása. *Agrokémia és Talajtan.* **35.** (3–4) 295–306.
- SÁRDI, K., 2001. A P-lekötődés és –szolgáltatás tanulmányozása tenyészedény kísérletben, tartamkísérletek talajain. *Agrokémia és Talajtan.* **50.** (3–4) 226–246.
- SÁRDI, K. & CSATHÓ, P., 2002. Studies on the Phosphorus Retention of Different Soil Types in a Pot Experiment with Perennial Ryegrass. Hungarian Contributors to the 17th International Congress of Soil Science. *Agrokémia és Talajtan.* **51.** (1–2) 177–184.
- SÁRDI, K. & CSATHÓ, P., 2010. Phosphorus turnover characteristics of soils: comparison of pot experiment results and modelling by stepwise regression analyses. *Agrokémia és Talajtan.* **59.** (1) 85–92.
- SÁRDI, K., CSATHÓ, P., SISÁK, I., OSZTOICS E. & BALÁZSY, Á., 2009. Effects of Freshly Applied and Residual Phosphorus on the P Status of Two Different Soils. *Proceedings of the 14th World Fertilizer Congress* (Eds.: EICHLER-LOBERMANN, B.S. et al.) 635–642. CIEC Editorial Board. Braunschweig.
- SÁRDI, K., BALÁZSY, Á. & SALAMON, B., 2012. Interrelations in Phosphorus and Potassium Accumulation Characteristics of Plants Grown in Different Soil Types. *Communications in Soil Sci. and Plant Analysis.* **43.** 324–333.

Érkezett: 2015. február 16.

Phosphorus dynamics in the soils of long-term field experiments

K. SÁRDI

Georgikon Faculty, University of Pannonia, Keszthely

Summary

It is well-known fact that the problems involved in the application of phosphorus play an outstanding role in nutrient management, as this macroelement may not only increase the plant-available P content in the soil but may also result in environmental risks above a certain critical concentration. To achieve environmentally sound nutrient management, efficiency needs to be improved through the increased recovery of P fertilizers and the reduction of losses causing pollution.

In the present work, pot experiments and laboratory incubations were carried out on soils from long-term phosphorus fertilization experiments in order to study the quantitative aspects of phosphorus dynamics, and the phosphorus retention and phosphorus-supplying capacity of various soil types. A further aim was to investigate the carry-over effects of mineral phosphorus fertilization and changes in solubility. The present paper discusses the results obtained for an Eutric Cambisol from Keszthely and a Stagnic Luvisol from Szentgyörgyvölgy.

As the result of 10 years (1963–1973) of intensive fertilisation with increasing doses of phosphorus, three P nutrient levels (P_0 , P_1 and P_2) could be detected in soil samples taken from selected plots 30 years after fertilisation was discontinued. It was established that the residual effect of intensive P fertilisation could still be observed in the water-soluble, AL- and Olsen-P contents after 30 years. The results of the incubation experiments revealed that in the low temperature range favourable soil moisture conditions were beneficial for the short-term mobilisation of extractable P amounts, while higher temperature favoured the immobilisation of these forms.

Table 1. Major parameters of the experimental soils. (1) Long-term P level. *Note:* Soil P and K contents are given in terms of P_2O_5 and K_2O .

Table 2. Relationship between the P contents determined in the different extracts, after 2 and 60 days of incubation. (1) Extractants. (2) Incubation period, day. (3) Equation. (A) and (B) Incubation temperature, °C. a) Water soluble P – Olsen-P, b) Water soluble P – AL-P. *Note:* Water-soluble P (MURPHY & RILEY, 1962); Olsen-P (OLSEN & SOMMERS, 1982); AL-P (EGNER et al., 1960).

Table 3. Changes in the available P content of Keszthely soil (Eutric cambisol) in response to incubation at the P_0 , P_1 and P_2 levels ($mg \cdot kg^{-1}$). (1) Extractants. (2) Incubation temperature, °C. (3) Incubation period, day. $LSD_{5\%}$. (A) Control. (B–D) P rates, $mg \cdot kg^{-1}$. a) Water soluble P. *Note:* P contents estimated from the ratio of the values recorded at 40°C on the 60th and 2nd days at the P_0 and P_1 levels.

Table 4. Average phosphorus recovery (%) of freshly added P in the experimental soils. (1) Experimental locations. (2) Long-term P level. (3) Incubation temperature, °C. (4) Incubation period, days.

Table 5. Relationship between plant P uptake and available P content measured in the two extract ($n = 60$). (1) Soil. (2) P uptake – AL-P. (3) P uptake – Olsen-P.