

## 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  $\text{P}_2\text{O}_5$  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 termékenységgű 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 tenyészedény-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 három-négyszer, 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, tenyészedény- 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 <sub>2</sub> O)	pH (KCl)	Olsen-P	AL-P	AL-K	N <sub>min</sub>
			mg·kg <sup>-1</sup>			
<i>Keszthely (Orthic Eutrochrept)</i>						
P <sub>0</sub>	6,88	5,93	14,53	19,4	114,8	31,8
P <sub>1</sub>	6,96	5,98	10,93	14,33	117,4	19,8
P <sub>2</sub>	7,05	6,14	16,63	25,81	126,6	17,2
<i>Szentgyörgyvölgy (Typic Albaqualf)</i>						
P <sub>0</sub>	6,72	6,14	22,96	44,77	112,8	10,7
P <sub>1</sub>	6,54	5,93	39,16	66,76	117,4	12,6
P <sub>2</sub>	6,60	6,16	40,62	69,30	105,4	12,1

Megjegyzés: A talaj P- és K-tartalma P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> és K<sub>2</sub>O-ra vonatkozik

A trágyázási tartamkísérletben 10 év alatt kijuttatott összes hatóanyag mennyisége:

P <sub>0</sub> trágyázási szint (kontroll):	0 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> · ha <sup>-1</sup> ,
P <sub>1</sub> trágyázási szint:	1032 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> · ha <sup>-1</sup>
P <sub>2</sub> trágyázás szint:	1986 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> · ha <sup>-1</sup>

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 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>·kg<sup>-1</sup>. 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 vízdoldható-P koncentrációját a módosított Murphy-módszerrel (MURPHY-RILEY, 1962), az Olsen által ajánlott kivonószerezrel (OLSEN & SOMMERS, 1982), valamint az AL-oldható P-tartalmat az EGNER 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-,  $\text{CaCl}_2$ -,  $\text{H}_2\text{O}$ - 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  $\text{CaCl}_2$ -P közötti összefüggés alapján határoztunk meg (MAGYAR et al., 2002).

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

A hőmérséklet és az inkubációs időtartam jelentős, a legtöbb kezelésben statisztikailag igazolható különbségeket eredményezett a vízdoldható-, 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 vízdoldható 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 <sup>2</sup>	(3) Egyenlet (n = 48)	R <sup>2</sup>
<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 P<sub>0</sub> 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 P<sub>0</sub>, P<sub>1</sub> és P<sub>2</sub> szinten (mg·kg<sup>-1</sup>)

(1) Kivonószerek	P <sub>0</sub> alapszinten						P <sub>1</sub> alapszinten						P <sub>2</sub> alapszinten					
	(2) Inkubációs hőmérséklet		(3) Inkubációs napok száma		(4) SzD <sub>5%</sub>	(4) SzD <sub>5%</sub>	(2) Inkubációs hőmérséklet		(3) Inkubációs napok száma		(4) SzD <sub>5%</sub>	(4) SzD <sub>5%</sub>	(2) Inkubációs hőmérséklet		(3) Inkubációs napok száma		(4) SzD <sub>5%</sub>	
	10 °C	40 °C	2	60			10 °C	40 °C	2	60			10 °C	40 °C	2	60		
	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 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>·kg<sup>-1</sup></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 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>·kg<sup>-1</sup></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 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>·kg<sup>-1</sup></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: \* P<sub>0</sub> és a P<sub>1</sub> 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 <sub>0</sub>	21,5	19,2	21,1	9,5	20,2	15,5	22,4	12,4
P <sub>1</sub>	29,0	17,6	22,1	14,5	22,4	22,3	16,2	13,5
P <sub>2</sub>	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 vízzoldható-, 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 17<sup>th</sup> 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 17<sup>th</sup> 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 14<sup>th</sup> 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 60<sup>th</sup> and 2<sup>nd</sup> 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.