

Nyersfoszfátok agronómiai hatékonyságának vizsgálata tenyészedény-kísérletben. III. A talaj könnyen oldható P- tartalmának meghatározása FeO- és hagyományos módszerekkel

OSZTOICS ERZSÉBET, CSATHÓ PÉTER, CSILLAG JULIANNA,
RADIMSZKY LÁSZLÓ és MAGYAR MARIANNA

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet, Budapest

A növények a foszfort a talajból foszfátionok formájában veszik fel. Ha a P-trágyát vízben nem oldódó nyersfoszfát formájában adjuk a talajhoz, a nyersfoszfátnak először fel kell táródnia a talajban ahhoz, hogy foszfátionokat szolgáltatson. Ezt a feltáródást a nyersfoszfátok, a talajok, a természetett növények tulajdonságai és a környezeti tényezők egyaránt befolyásolják.

Ha P-forrásként nyersfoszfátot alkalmazunk, a vízoldható P-trágyák jellemzésére kifejlesztett és kalibrált módszerek gyakorta nem adnak pontos becslést a talaj növények számára felvehető P-tartalmáról (CHIEN, 1978; CORNFORTH et al., 1983; MACKAY et al., 1984a; HAMMOND et al., 1986; KUMAR et al., 1992; BOLLAND, 1993; MENON & CHIEN, 1995). A gyenge elektrolitok és alkalikus kivonószerek alulbecsülik, míg a savas kivonószerek – melyek alacsony pH-juk következtében elsősorban az apatitot oldják – túlbecsülik a nyersfoszfátokkal kezelt talajok növények által felvehető P-tartalmát (SAGGAR et al., 1992; PERROTT et al., 1993; RAJAN et al., 1996; HEDLEY & BOLAN, 1997).

A talaj felvehető P-tartalmának vizsgálatára hazánkban kevésbé elterjedt eljárás a Fe-(hidr)oxiddal impregnált szűrőpapírt alkalmazó FeO módszer, melyben a Fe-oxidos papír nem lép reakcióba a talajjal, csak a talajoldatba (0,01M CaCl₂-os közeg) lépő foszfátionokat szorbeálja (MENON et al., 1989a, 1990, 1997; SHARPLEY, 1991; CHARDON et al., 1996). Így ez a módszer potenciálisan mind a nyersfoszfáttal, mind a szuperfoszfáttal trágyázott talajok felvehető P-tartalmának meghatározására alkalmazható (MENON et al., 1990, 1997; PERROTT et al. 1993; MENON & CHIEN 1995; RAJAN et al. 1996; CHARDON et al., 1996; ZAHARAH & SHARIFUDDIN, 2002; CHIEN, 2004). A módszer további előnye, hogy hatékonyságát a talaj tulajdonságai is kevésbé befolyásolják (MENON et al., 1989a, 1990; LIN et al., 1991; SHARPLEY, 1991; KUMAR et al., 1992; KUO & JELLUM, 1994; LEAL et al., 1994).

A FeO módszernél 0,01 M CaCl₂-os talajszuszpenzióban egy „P-elnyelő” közeget, azaz Fe-(hidr)oxiddal impregnált szűrőpapírt (Fe-oxidos papír, vagy P_i-papír) használnak a talajoldatba deszorbeálódott foszfor megkötésére, s így a talaj-oldat rendszerben folyamatosan kis P-koncentrációt tartanak fent. A Fe-oxidos papírcsík

módszer alapelve, hogy a Fe(hidr)oxidok felülete a foszfor megkötésére nagy affinitást mutat (LARSEN, 1967; PARFITT, 1978), és a P-megkötés ezeken a felületeken igen gyors reakció (BEEK & VAN RIEMSDIJK, 1979).

Ezt a módszert VAN DER ZEE és munkatársai ismertették először egy 1987-ben megjelent munkájukban. Nyersfoszfáttal és szuperfoszfáttal kezelt talajok felvehető P-tartalmának összehasonlító értékelésére a FeO módszert MENON és munkatársai (1989b) alkalmazták először.

A FeO módszert a hagyományos talaj extrakciós eljárásokkal összehasonlítva, MENON és munkatársai (1989a,b), SAGGAR és munkatársai (1992), valamint MENON és CHIEN (1995) azt találták, hogy a nyersfoszfáttal és a szuperfoszfáttal trágyázott különböző talajokon a növények termése, P-felvétele és a FeO módszerrel meghatározott P-tartalom között jobb volt a korreláció, mint amikor a talajok P-tartalmát hagyományos extrakciós módszerekkel határozták meg.

Ebben a munkában a FeO-, valamint hagyományos módszerekkel határoztuk meg a korábbi cikkeinkben (OSZTOICS et al., 2005, 2006b) ismertetett tenyész-edény-kísérlet nyersfoszfáttal, szuperfoszfáttal, valamint szuperfoszfát+kalcium-karbonáttal kezelt talajainak könnyen oldható P-tartalmát. Vizsgáltuk a különböző P-források, -adagok, valamint a nyersfoszfátok oldhatóságának (OSZTOICS et al., 2006b) hatását a talajok könnyen oldható P-tartalmára. A kísérletben jelzőnövényként alkalmazott vörös here tömege és P-felvétele (OSZTOICS et al., 2006ab) alapján tanulmányoztuk, hogy melyik módszer alkalmasabb a talajok felvehető P tartalmának becslésére, ha P-forrásként eltérő oldékonyságú nyersfoszfátokat, illetve szuperfoszfátot alkalmazunk.

Anyag és módszer

Tenyész-edény-kísérletben nyírlugosi savanyú homoktalajon és ragályi savanyú agyagos vályogtalajon (1. táblázat) Algériából, Floridából, Észak-Karolinából, Szenegálból, Marokkóból és Tunéziából (Hyperfoszfát) származó nyersfoszfát hatását vizsgáltuk a vörös here termésére és P-felvételére. A nyersfoszfátok összes-P-tartalmát a minták 65% HNO₃ és 30% H₂O₂ elegyével történő roncsolása után ICP spektrometriás módszerrel mértük. A nyersfoszfátok P-tartalmának oldhatóságát (reaktivitását) 2%-os hangyasavban, 2%-os citromsavban és semleges ammónium-citrát oldatban mértük (MSZ 7240-86; Official Journal of the EC, 1977). Az összehasonlító standard vízoldható P-trágya – a hazánkban forgalomban lévő, Ausztriából (Linz) származó – szuperfoszfát (SSP) volt. Külön kezelésben a szuperfoszfát mellett adagolt kalcium-karbonát hatását is tanulmányoztuk, mivel a bázikus nyersfoszfátok alkalmazásakor a terménövekedést a savanyú talajokon a P- és mészhatások együttesen eredményezik. A P-azonosság elve alapján 0 (NK kontroll), 100, 400 és 1600 mg (összes) P₂O₅ kg⁻¹ P-t adtunk három ismétlésben. A tenyész-edény-kísérlet elrendezését, a nyersfoszfátok tulajdonságait, oldhatóságát, a P-trágyák hatását a termésre és a P felvételre korábbi közleményeinkben (OSZTOICS et al., 2005, 2006a,b; CSATHÓ et al., 2006) ismertettük.

1. táblázat

A tenyészedény-kísérletben alkalmazott talajok fizikai és kémiai tulajdonságai

(1) Talajtulajdonság	(2) Savanyú homoktalaj (Nyírlugos)	(3) Savanyú agyagos vályogtalaj (Ragály)
pH(H ₂ O)	5,01	5,74
pH(KCl)	3,83	4,53
a) agyag +iszap (<0,02mm), %	5,0	59,8
b) agyag (<0,002mm), %	2,2	26,6
c) összes P, mg·kg ⁻¹	300	480
AL-P ₂ O ₅ , mg·kg ⁻¹ (EGNER et al., 1960)	53,6	17,3
LE-P, mg·kg ⁻¹ (LAKANEN & ERVIÖ, 1971)	60,7	14,9
Bray 1, mg·kg ⁻¹ (BRAY & KURTZ, 1945)	48,2	5,7
Olsen-P, mg·kg ⁻¹ (OLSEN et al., 1954)	16,2	6,3
d) vízdoldható-P, mg·kg ⁻¹ (SARKADI, 1982)	8,5	3,1
FeO-P, mg·kg ⁻¹ (KUO, 1996)	12,3	6,6
e) T-érték, cmol _c ·kg ⁻¹	3,0	19,6
f) Kicserélhető Ca, cmol _c ·kg ⁻¹	0,8	11,6
g) Kicserélhető Mg, cmol _c ·kg ⁻¹	0,1	3,1
h) Hidr. savanyúság, %, (y ₁) (BUZÁS, 1988)	11	17
i) Kicserélhető savanyúság (y ₂) (BUZÁS, 1988)	3,7	0
j) humusz, % (BUZÁS, 1988)	0,6	3,4
k) Oxalát oldható Al	436	933
k) Oxalát oldható Fe (MCKEAGUE & DAY, 1966)	534	3734

Meghatározás: pH(H₂O) = 1:2,5, talaj:H₂O; pH(KCl) = 1:2,5, talaj:1M KCl; Összes-P: (ICP), 65% HNO₃+30%H₂O₂-os roncsolás; Kicserélhető Ca, Mg és T-érték (ammónium acetátos módszer)

Jelen munkánkban a különböző P-trágyákkal kezelt talajok felvehető P-tartalmát az ammónium-laktát (AL), Lakanen–Erviö (LE), Bray1, Olsen, vízdoldható és FeO-módszerrel határoztuk meg a vörös here kísérlet bontása után. A FeO-módszernél első lépésként a Fe-oxiddal impregnált papírcsíkot kell elkészíteni (VAN DER ZEE et al., 1987; BRAMLEY & ROSE, 1993; KUO, 1996; PIERZYNSKI, 2000).

A Fe-oxiddal impregnált papírcsík készítése: A kemény és kis hamutartalmú Whatman No. 50 szűrőpapírt (125 mm átmérőjű) 1 órán át 10% (t/tf) FeCl₃·6H₂O oldatban áztattuk, majd szobahőmérsékleten szárítottuk. Ezután a FeCl₃-dal átítatott szűrőpapírt 2,7M NH₄OH oldatba merítettük (ekkor a FeCl₃ Fe-oxihidroxiddá – FeOOH – alakul át), desztillált vízzel mostuk és ismét szárítottuk. Az NH₄OH oldatba való merítést – állandó mozzgatás mellett – amennyire csak lehetséges gyorsan kell végezni (megközelítőleg 1 perc), hogy elkerüljük az oxid egyenetlen kiülepedését a papíron (LIN et al., 1991; GUO et al., 1996). Az impregnált szűrőpapírt 40 cm² felületű darabokra vágtuk.

Az extrakció menete: 1 g talajt 16 órán keresztül rázattunk 40 cm³ 0,01 M CaCl₂ oldattal és egy darab 40 cm² felületű Fe-oxiddal bevont papírcsíkkal. Rázás után a

papírsíkot desztillált vízzel lemostuk, majd 40 cm³ 0,1 M H₂SO₄ oldatban 1 órán keresztül rázattuk. Az oldat P-tartalmát MURPHY és RILEY (1962) módszerével mértük.

Eredmények és értékelésük

A P-források és -adagok hatása a talajok könnyen oldható P-tartalmára

A kísérletben alkalmazott két talaj igen eltérő tulajdonságú és P-tartalmú. A nyírlugosi savanyú homoktalaj eredeti FeO P-tartalma kétszerese, a H₂O, Olsen, LE és AL-oldható P-tartalma 3–4-szerese, a Bray1 oldható P-tartalma pedig nyolcszorosra volt a ragályi savanyú agyagos vályog talajénak (1. táblázat). A nyersfoszfát-trágyázás hatására ez az arány változott, a nyersfoszfát-féleségek és -adagok átlagában a tenyészedény-kísérlet végén a vizsgált két talaj különböző módszerekkel mért könnyen oldható P-tartalma közötti különbség a Bray1 módszerrel kivonható P kivételével csökkent (másféltől háromszoros különbségeig). A két talaj Bray1 módszerrel oldható P-tartalma közötti különbség viszont 12-szeresére nőtt (2. és 3. táblázat). A nyersfoszfát-féleségek és -adagok átlagában az egyes módszerekkel kimutatott P-mennyiségek az alábbi sorrendben követték egymást: a savanyú homoktalajon; H₂O-P < FeO-P < Olsen-P < LE-P < AL-P < Bray1-P azaz 14,5; 15,7; 30,9; 131 (305 mg P₂O₅·kg⁻¹); 181 (423 mg P₂O₅·kg⁻¹); 201 mg P·kg⁻¹ (2. táblázat), a savanyú agyagos vályogtalajon; H₂O-P < FeO-P < Olsen-P < Bray1-P < LE-P < AL-P azaz 7,8; 9,2; 10,8; 17,4; 86 (200 mg P₂O₅·kg⁻¹); 101 (234 mg P₂O₅·kg⁻¹) mg P·kg⁻¹ (3. táblázat).

A nyersfoszfát-féleségek közül a P-adagok átlagában mindkét talajon a vizsgált módszerek mindegyikével (a nyírlugosi talaj Bray1-P tartalma kivételével) szignifikánsan a legkisebb könnyen oldható P-tartalmat a legrosszabb oldhatóságú (OSZTOICS et al., 2005, 2006a,b) szenegáli nyersfoszfát alkalmazásakor mértük.

Az eltérő P-formák függvényében az azonos szinteken igen különböző felvehető P-tartalmat mértünk egy-egy módszeren belül is (2. és 3. táblázat). A nyírlugosi homoktalajon viszont 100 és 400 mg (összes) P₂O₅·kg⁻¹ P-adag esetén a Bray-1 módszerrel a P-forrástól függetlenül hasonló felvehető P-tartalmakat mértünk (2. táblázat), szignifikáns különbségeket csak néhány P-forrás 1600 mg P₂O₅·kg⁻¹ P-adagja eredményezett.

A nyersfoszfát-féleségek és -adagok átlagában mindkét talaj H₂O-P, FeO-P és Olsen-P tartalma szignifikánsan kisebb, AL- és LE-P₂O₅ tartalma viszont szignifikánsan nagyobb volt, mint a szuperfoszfátadagok átlagának értékei. OSZTOICS és munkatársai (2000) korábbi inkubációs kísérletükben algériai nyersfoszfáttal kezelt talajokban szintén nagyobb AL-oldható P₂O₅-tartalmat mértek, mint a szuperfoszfáttal kezeltében. Ezek az eredmények összhangban vannak az egyes kivonások sajátságaival. Az AL és LE módszereknél savas (pH=3,75, ill. 4,65) kivonószert alkalmazunk, melyek nyersfoszfáttal kezelt talajban a még feltáratlan nyersfoszfát egy részét is oldják (melyet a növény nem képes hasznosítani), így nagyobb értékeket adnak, mint a szuperfoszfát-kezelésekben.

2. táblázat

A különböző P-források [nyersfoszfátok (PR) szuperfoszfát (SSP), szuperfoszfát és kalcium-karbonát (SSP+Ca)] hatása a nyírlugosi savanyú homoktalaj könnyen oldható P-tartalmára

(1) P-adag (összes) P ₂ O ₅ mg·kg ⁻¹	(2) Nyersfoszfátok (PR)*								SSP	SSP +Ca	(5) P-forrás	
	ALG	FLO	É.KA	SZEN	MAR	HYP	(3) SzD _{5%}	(4) Átlag			(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	<i>AL-P₂O₅, mg·kg⁻¹</i>											
NK	44	51	49	53	45	48	36	48	57	63	40	51
100	90	116	94	103	125	125		109	100	102		107
400	289	314	326	216	379	380		317	269	346		315
1600	1358	1024	1494	526	1345	1556		1217	1121	1244		1209
a) SzD _{5%}				36				15	58			14
b) átlag	445	376	491	224	474	527	18	423	387	438	20	420
	<i>LE-P₂O₅, mg·kg⁻¹</i>											
NK	35	39	36	37	31	36	30	36	42	38	29	37
100	63	77	66	58	92	101		76	71	67		74
400	234	208	237	79	284	318		227	169	222		219
1600	1163	618	888	182	1015	1428		883	468	923		836
a) SzD _{5%}				30				12	30			10
b) átlag	374	235	307	89	356	471	15	305	188	312	15	291
	<i>Bray1 P, mg·kg⁻¹</i>											
NK	37	49	38	47	36	35	29	40	30	28	29	38
100	58	59	56	62	59	57		58	56	50		57
400	120	130	130	144	134	130		132	127	108		128
1600	551	496	590	548	601	654		573	525	522		561
a) SzD _{5%}				29				12	30			10
b) átlag	191	184	203	201	207	219	14	201	185	177	15	196
	<i>Olsen-P, mg·kg⁻¹</i>											
NK	16,4	18,9	20,1	18,1	18,2	17,4	4,0	18,2	21,1	14,6	4,5	18,1
100	29,4	28,1	32,9	24,6	31,6	28,2		29,1	35,2	23,7		29,2
400	3,3	35,7	40,2	27,1	35,7	30,2		34,0	76,5	67,3		43,5
1600	38,4	44,3	52,2	38,3	38,5	42,7		42,4	205,5	204,8		83,1
a) SzD _{5%}				4,0				1,6	6,1			1,6
b) átlag	29,9	31,8	36,3	27,0	31,0	29,6	2,0	30,9	84,6	77,6	2,2	43,5
	<i>H₂O-P, mg·kg⁻¹</i>											
NK	8,5	8,1	8,5	8,3	7,7	8,0	1,6	8,2	8,8	9,3	1,7	8,4
100	13,6	13,2	11,9	10,6	13,1	11,2		12,3	13,2	13,0		12,5
400	18,8	18,6	13,9	12,1	16,9	13,9		15,7	25,8	30,4		18,8
1600	25,9	20,9	20,5	18,1	20,2	25,3		21,8	91,6	100,4		40,4
a) SzD _{5%}				1,6				0,7	2,3			0,6
b) átlag	16,7	15,2	13,7	12,3	14,5	14,6	0,8	14,5	34,8	38,3	0,9	20,0
	<i>FeO-P, mg·kg⁻¹</i>											
NK	7,0	9,1	8,9	9,2	8,3	7,8	1,7	8,4	9,3	9,7	4,0	8,7
100	12,3	11,6	13,7	10,9	14,3	13,3		12,7	16,5	17,4		13,8
400	16,0	15,6	15,1	11,6	19,7	17,7		15,9	40,9	39,5		22,0
1600	29,2	24,1	23,8	17,2	24,8	35,1		25,7	139,7	141,7		54,5
a) SzD _{5%}				1,7				0,7	8,4			1,4
b) átlag	16,1	15,1	15,4	12,2	16,8	18,5	0,9	15,7	51,6	52,1	2,0	24,7

*ALG: Algéria; FLO: Florida; É.KA: Észak-Karolina; SZEN: Szenegál; MAR: Marokkó; HYP: hyperfoszfát

3. táblázat

A különböző P-források [nyersfoszfátok (PR) szuperfoszfát (SSP), szuperfoszfát és kalcium-karbonát (SSP+Ca)] hatása a ragályi savanyú agyagos vályogtalaj könnyen oldható P-tartalmára

(1) P-adag (összes) P_2O_5 $mg \cdot kg^{-1}$	(2) Nyersfoszfátok (PR)*							(3) SzD _{5%}	(4) Átlag	SSP	SSP +Ca	(5) P-forrás	
	ALG	FLO	É.KA	SZEN	MAR	HYP	(3) SzD _{5%}					(4) Átlag	(3) SzD _{5%}
	<i>AL-P₂O₅, mg·kg⁻¹</i>												
NK	16	17	15	15	18	14	41		16	13	10	41	15
100	28	37	36	28	38	44			35	22	29		33
400	143	172	197	62	217	230			170	105	116		155
1600	893	609	991	160	762	866			714	577	695		694
a) SzD _{5%}				4,1					17	36			14
b) átlag	270	209	310	66	259	288	21		234	180	213	20	224
	<i>LE-P₂O₅, mg·kg⁻¹</i>												
NK	8	11	11	10	8	10	25		10	9	10	28	10
100	21	25	27	18	23	32			24	17	22		23
400	116	97	151	34	161	184			124	75	86		113
1600	855	403	856	93	694	941			640	534	709		636
a) SzD _{5%}				25					10	33			10
b) átlag	250	134	261	39	222	292	13		200	159	207	14	195
	<i>Brayl P, mg·kg⁻¹</i>												
NK	4,0	4,3	4,4	4,7	5,1	5,0	4,6		4,6	3,8	5,6	7,8	4,6
100	6,8	6,0	7,4	4,5	6,5	6,7			6,3	6,3	8,6		6,6
400	20,7	11,4	21,5	4,8	17,0	17,2			15,4	26,5	32,7		19,0
1600	74,0	27,9	37,8	11,0	44,6	63,5			43,1	234	239,2		91,4
a) SzD _{5%}				4,6					1,9	14,2			2,8
b) átlag	26,4	12,4	17,8	6,3	18,3	23,1	2,3		17,4	67,5	71,5	3,9	30,4
	<i>Olsen-P, mg·kg⁻¹</i>												
NK	4,1	4,7	5,5	4,7	5,4	4,3	2,1		4,8	4,7	6,2	4,3	5,0
100	6,1	5,9	7,7	5,2	7,2	6,1			6,4	7,1	9,2		6,8
400	15,7	9,3	16,3	6,1	13,0	10,8			11,9	23,5	25,8		15,1
1600	32,1	17,8	24,4	9,1	22,4	15,5			20,2	142,3	154,6		52,3
a) SzD _{5%}				2,1					0,9	8,4			1,5
b) átlag	14,5	9,4	13,5	6,3	12,0	9,2	1,1		10,8	44,4	49,0	2,2	19,8
	<i>H₂O-P, mg·kg⁻¹</i>												
NK	3,3	3,2	1,9	3,1	3,7	3,1	1,7		3,1	3,2	3,5	1,8	3,1
100	4,9	4,4	3,8	2,6	5,0	4,3			4,2	4,1	3,9		4,1
400	14,0	7,1	10,4	3,5	8,1	8,0			8,5	11,6	10,8		9,2
1600	37,2	10,8	13,2	6,8	13,0	12,6			15,6	73,8	64,0		28,9
a) SzD _{5%}				1,7					0,7	2,4			0,7
b) átlag	14,9	6,4	7,3	4,0	7,5	7,0	0,9		7,8	23,2	20,5	0,9	11,3
	<i>FeO-P, mg·kg⁻¹</i>												
NK	4,6	3,2	3,4	3,4	3,7	4,2	2,1		3,7	3,1	3,6	2,8	3,6
100	5,8	5,5	6,9	5,2	5,7	6,0			5,8	5,8	5,3		5,8
400	14,4	8,2	13,5	6,6	11,4	10,1			10,7	16,1	19,7		12,5
1600	22,9	14,8	17,7	7,6	17,9	17,9			16,5	115,3	105,4		39,9
a) SzD _{5%}				2,1					0,9	4,6			1,0
b) átlag	11,9	7,92	10,4	5,7	9,7	9,6	1,1		9,2	35,1	33,5	1,4	15,5

*ALG: Algéria; FLO: Florida; É.KA: Észak-Karolina; SZEN: Szenegál; MAR: Marokkó; HYP: hyperfoszfát

A két talajon a *Bray1* P-tartalomra igen eltérő eredményt kaptunk. A nyírlugosi homoktalajon a szuperfoszfátadagok átlaga szignifikánsan kisebb, míg a ragályi agyagos vályogtalajon szignifikánsan nagyobb volt, mint a nyersfoszfátfeleségek adagjainak átlaga. Az alacsony pufferkapacitású homoktalajon az irodalmi megfigyelésekhez hasonlóan a *Bray1* kivonószer pH-ja az extrakció során alacsony maradt (pH = 2,3–2,5), így a kivonószer a korábban talajba juttatott és feltáratlan nyersfoszfátot, valamint a reakciótermékeket is egyaránt jelezheti (az oldószerben lévő fluoridionok komplexet képezhetnek az Al-ionokkal, továbbá csapadékot a Ca-ionokkal, mely folyamat kedvez a dikalcium-foszfát oldódásának) (SAGGAR et al., 1992; MENON & CHIEN, 1995). A nagy P-szorpciós képességű savanyú agyagos vályogtalaj nyersfoszfátkezeléseiben viszont a *Bray1* módszerrel jóval kisebb P-tartalmakat mértünk, mint a szuperfoszfát-kezelésekben. Értékük nagyságrendileg kisebb volt a homoktalajénál, a vizes és az Olsen-módszerekkel mért P-tartalmakhoz közelített (3. táblázat). Az oldószer extrakciós képességének csökkenése ennél a savanyú, nagy pufferkapacitású agyagos vályogtalajnál egyrészt azzal magyarázható, hogy a kivonószer savanyúsága az extrakció során mérséklődött (pH = 2,6-ról 2,9–3,3-ra), másrészt a már oldódott P a talajon (pl. a vas-oxidokon) újra szorbeálódhatott (SAGGAR et al., 1992). A ragályi savanyú agyagos vályogtalaj oxalát-oldható (aktív vagy amorf) Fe-tartalma hétszerese a nyírlugosi homoktalajénak (1. táblázat).

Az *Olsen-féle* bikarbonát (pH = 8,5) kivonószer csak a nyersfoszfát reakciótermékeit (Fe- és Al-foszfátok) jelzi a talajban, mivel az apatit nem oldódik NaHCO_3 -ban. Alkalmazásával nem jelezhető előre a még fel nem tárodott, régebben alkalmazott nyersfoszfátból, vagy a frissen alkalmazott nyersfoszfátból potenciálisan kioldható P-mennyiség. A kivonószernek nagy OH^- és HCO_3^- -tartalma miatt nagy a pufferkapacitása. Ennek következtében az oldószer oldja az Al- és Fe-oxihidroxidokhoz kötött foszfort. A rendszerben a Ca-koncentráció csökkenése (CaCO_3 válik ki) viszont elősegíti a kalcium-foszfáton vagy a kalciton szorbeált P oldódását (KUMAR et al., 1991; SAGGAR et al., 1992). Az irodalmi tapasztalatokkal egyezően (CORNFORTH et al., 1983; BOLAN & HEDLEY, 1989; PERROTT et al., 1993) kísérletünkben a nyersfoszfát alkalmazása esetén, mindkét talajban kevesebb felvehető P-tartalmat mértünk ezzel a módszerrel, mint a szuperfoszfát-kezelésnél.

A vizes kivonatban mindkét talajon, minden nyersfoszfátkezelésben kevesebb könnyen oldható P-tartalmat mértünk, mint a szuperfoszfáttal kezelt mintákban (2. és 3. táblázat), ahogy erre az irodalmi adatok is utalnak (MACKAY et al., 1984b; PERROTT et al., 1993; HEDLEY & BOLAN, 1997; MAGYAR, 2005).

A *FeO* módszer rendkívül keveset mutat ki a növény számára kevésbé felvehető Al-P, Fe-P és Ca-P frakciókból, leginkább a fizikailag kötött foszfort jelzi mind a meszes, mind a savanyú talajokon (SHARPLEY, 1991). A *FeO* módszerrel mért P-mennyiség irodalmi adatok szerint (MENON & CHIEN, 1995), és a savanyú agyagos vályogtalajon beállított kísérletünkben az Olsen módszerrel mérhető P-tartalomhoz hasonló. A savanyú homoktalajon ugyanakkor a *FeO* módszerrel kivont P-tartalmak a H_2O -P-hez hasonló értékeket mutattak.

A nyersfoszfátokkal kezelt talajok könnyen oldható P-tartalmai közötti összefüggések

A nyersfoszfátokkal kezelt talajok AL- és LE-P tartalmai adták a legszorosabb korrelációt mindkét talajon (4. táblázat). A savas kivonószerekkel mért P-tartalmak a nyírlugosi talajon az Olsen, míg a ragályi talajon a vizes módszerrel mért P-tartalommal adták a leglazább összefüggést. Az Olsen-P és a vizes-P között a ragá-

4. táblázat

A nyírlugosi savanyú homoktalaj és a ragályi savanyú agyagos vályogtalaj könnyen oldható P-tartalmai közötti összefüggések (r^2) a nyersfoszfátkezelésekben az $y = a \cdot x + b$ lineáris illesztés esetén ($n = 24$)

(1) P mód- szer	Savanyú homoktalaj (Nyírlugos)					Savanyú agyagos vályogtalaj (Ragály)				
	AL- P ₂ O ₅	LE- P ₂ O ₅	Bray1- P	Olsen- P	H ₂ O- P	AL- P ₂ O ₅	LE- P ₂ O ₅	Bray1- P	Olsen- P	H ₂ O- P
AL-P ₂ O ₅	1,000					1,000				
LE-P ₂ O ₅	0,943	1,000				0,975	1,000			
Bray1-P	0,905	0,791	1,000			0,856	0,904	1,000		
Olsen-P	0,617	0,492	0,588	1,000		0,807	0,753	0,807	1,000	
H ₂ O-P	0,764	0,742	0,722	0,761	1,000	0,570	0,570	0,777	0,827	1,000
FeO-P	0,870	0,897	0,774	0,688	0,888	0,831	0,804	0,870	0,935	0,756

lyi talajon szorosabb volt a korreláció, mint a nyírlugosi talajon. A nyersfoszfátok FeO módszerrel mért felvehető P-tartalma a többi módszerrel jó korrelációt adott. Közülük a nyírlugosi talajon az Olsen módszerrel a leglazább, a ragályi talajon viszont a legszorosabb korrelációt adta, mely az AL- és LE-kivonószerekkel mért P-tartalmak közötti összefüggés szorosságához volt hasonló (4. táblázat).

A nyersfoszfátok oldhatósága és a talaj könnyen oldható P-tartalma közötti összefüggés

A nyersfoszfátok P-tartalmának különböző kivonószerekben mért oldhatóságát (OSZTOICS et al., 2006b 2. táblázat) figyelembe véve, a kijuttatott P-mennyiségek és a talaj könnyen oldható P-tartalma közötti összefüggés a ragályi talajon minden vizsgált módszernél, a nyírlugosi talajon az AL-, LE-, Olsen- és FeO-P módszernél a leglazább akkor volt, ha a nyersfoszfátadagokat az összes (cc. HNO₃ + H₂O₂ oldható) foszfortartalommal jellemeztük (100–400–1600 mg P₂O₅·kg⁻¹) (5. táblázat). A nyersfoszfátok összes-P-tartalma alapján kijuttatott P-adagok viszont a nyírlugosi talaj Bray1-P tartalmával a fentebb említett tényezők miatt a P-módszerek közül a legszorosabb, a ragályi talajon viszont laza összefüggést adtak.

Az összefüggések az esetek többségében szorosabbá váltak, ha nem a nyersfoszfátadagok összes-P-tartalmát, hanem annak a 2%-os hangyasavban, 2%-os citromsavban vagy semleges ammónium-citrátban oldható mennyiségét vettük figyelembe (5. táblázat).

5. táblázat

A nyersfoszfátok P-tartalmának oldhatósága és a nyersfoszfátokkal kezelt talajok könnyen oldható P-tartalma közötti összefüggések (r^2) az $y=a \cdot \ln x-b$ illesztéssel ($n=18$)

(1) P módszer	(2) Savanyú homoktalaj (Nyírlugos)				(4) Savanyú agyagos vályogtalaj (Ragály)			
	(3) Nyersfoszfát-P kivonószer				(3) Nyersfoszfát-P kivonószer			
	1.	2.	3.	4.	1.	2.	3.	4.
AL- P ₂ O ₅	0,748	0,797	0,783	0,762	0,657	0,731	0,723	0,704
LE- P ₂ O ₅	0,611	0,688	0,698	0,703	0,575	0,672	0,680	0,656
Bray1-P	0,841	0,819	0,768	0,717	0,572	0,683	0,704	0,704
Olsen-P	0,629	0,698	0,693	0,673	0,614	0,713	0,760	0,736
H ₂ O-P	0,730	0,725	0,707	0,792	0,593	0,693	0,742	0,808
FeO-P	0,655	0,730	0,733	0,739	0,655	0,771	0,813	0,821

Megjegyzés: Kivonószer: 1. cc. HNO₃ + H₂O₂ roncsoló elegye (összes-P); 2. 2%-os citromsav; 3. 2%-os hangyasav; 4. semleges NH₄⁺-citrát

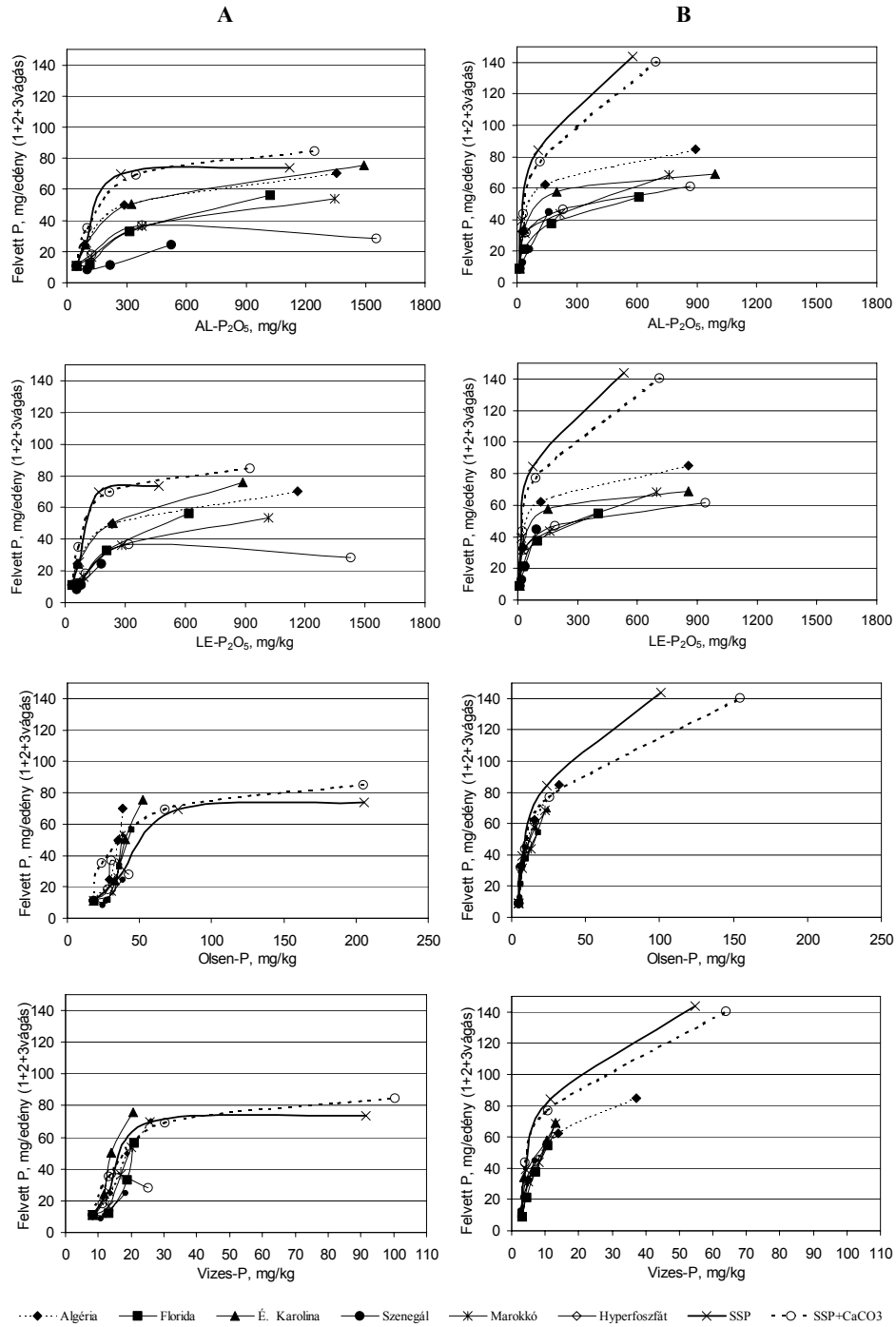
A ragályi talajon a Bray1 P-tartalom – irodalmi tapasztalatokkal egyezően – (CORNFORTH et al., 1983; RAJAN et al., 1996) a nyersfoszfátok P-tartalmának 2%-os hangyasav és semleges NH₄⁺-citrát oldhatósága alapján kijuttatott P-mennyiségeivel adott viszonylag jó összefüggést. A talajok vízdoldható P-tartalma – a vörös here terméséhez és P-felvételéhez hasonlóan (OSZTOICS et al., 2006a,b) – mindkét talajon a nyersfoszfát P-tartalmának semleges ammónium-citrát oldható P-mennyiségeivel korrelált a legjobban ($r^2_{\text{Nyírlugos}} = 0,792$, $r^2_{\text{Ragály}} = 0,808$).

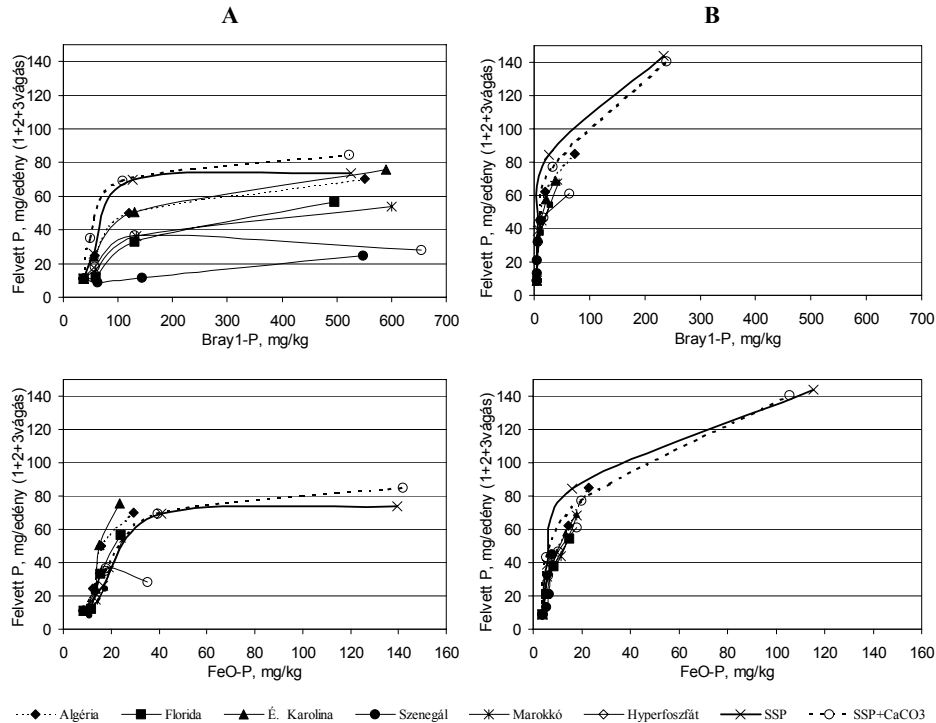
A nyírlugosi homoktalajon a talaj FeO-P tartalma és a nyersfoszfátok P-tartalmának 2%-os citromsav, 2%-os hangyasav és semleges NH₄⁺-citrát oldhatósága alapján kiadott P-mennyiségei közötti összefüggések szorossága azonos volt. A ragályi talajon a FeO-P tartalom a nyersfoszfátok 2%-os hangyasav és semleges NH₄⁺-citrát oldható P-mennyiségeivel közel azonos, a vizsgálatok közötti legszorosabb összefüggéseket adta.

A talajok könnyen oldható P-tartalmai és a vörös here összes termése, valamint P-felvétele közötti összefüggések

Mindkét talajon, az egy-egy adott módszerrel mért könnyen oldható P-tartalmakat a terméssel (OSZTOICS et al., 2006b 4. táblázat), illetve a P-felvétellel (OSZTOICS et al., 2006b 7. táblázat) leíró összefüggések görbéi hasonló képet mutattak, így dolgozatunkban csak a talaj könnyen oldható P-tartalmai és a P-felvétel közötti összefüggések ábráit mutatjuk be (1. ábra). Meg kell jegyeznünk, hogy a nyírlugosi homoktalajon a szuperfoszfát és szuperfoszfát+CaCO₃ 400 és 1600 mg P₂O₅·kg⁻¹ adagja terméscsökkenést okozott (OSZTOICS et al., 2006a,b), így, bár ezen a talajon elvégeztük az összes P-forrásra is az összefüggésvizsgálatokat, nem értékeltük azokat.

Az 1. ábrán látható, hogy azonos AL- vagy LE-P tartalomhoz igen eltérő, a P-trágya tulajdonságaitól függő növényi P-felvétel tartozik, és a nyersfoszfáttal kezelt





1. ábra

Összefüggés a különböző módszerekkel meghatározott könnyen oldható P-tartalom és a vörös here P-felvétele között a nyírlugosi savanyú homoktalajon (A) és a ragályi savanyú agyagos vályogtalajon (B) a nyersfoszfát- (algériai, floridai, é-karolinai, szenegáli, marokkói, hyperfoszfát), szuperfoszfát-, ill. szuperfoszfát+CaCO₃-kezelésekben

talajok AL- és LE-P tartalma túlbecsüli a felvehető P-tartalmat a szuperfoszfáttal kezelt mintákhoz képest mindkét talajon. Ez abból is látható, hogy azonos felvett P-mennyiséghez sokkal kisebb AL-, ill. LE-P értékek tartoznak a szuperfoszfátkezelésekben, mint a nyersfoszfátokéban. Bár a hat nyersfoszfát esetén az összefüggés szorossága a termésknél és a P-felvételnél is nagyobb a ragályi talajon (6. táblázat), az összes P-forrás esetén az összefüggések szorossága csökkent, és közel azonos ($r^2 = 0,6$ körüli) lett a két talajon (a nyírlugosi talajon a termés kivételével). Eredményeink azt mutatják, hogy a vizsgált talajokon az AL és LE módszerek a nyersfoszfáttal és szuperfoszfáttal trágyázott talajok felvehető P-tartalmának együttes becslésére nem alkalmasak.

A Bray1 módszer megítélése már nem ilyen egyértelmű a két talajon. A különböző P-forrásokkal kezelt nyírlugosi talaj Bray1-P tartalma mind a terméssel, mind a P felvétellel (6. táblázat, 1. ábra) az AL és LE módszerekhez hasonló összefüggést mutatott, azaz vélhetően a Bray1 módszer is túlbecsüli a felvehető P-tartalmat a nyersfoszfátkezelésekben a szuperfoszfáthoz képest. A savanyú homoktalajon a nyersfoszfátkezelésekben a Bray1-P az alkalmazott talajvizsgáló módszerek közül

a leglazább összefüggést adta a terméssel és a P-felvétellel, míg az összes P-forrást figyelembe véve a P-felvétellel (6. táblázat). A ragályi talajon viszont – bár a Bray1 módszer kissé túlbecsüli a nyersfoszfátkezelések talajainak felvehető P-tartalmát a szuperfoszfátéhoz képest (1. ábra) – az összes alkalmazott P-forrás figyelembe vételekor a terméssel, és a P-felvétellel is igen jó összefüggést adott.

Az irodalomban is megoszlanak a Bray1 módszerről a tapasztalatok. A nyersfoszfáttal kezelt talajok felvehető P-tartalmának becslésére a Bray1 módszert például GREGG és munkatársai (1981), SYERS és munkatársai (1981), CORNFORTH és munkatársai (1983), MACKAY és munkatársai (1984a,b), MENON és munkatársai (1989a,b) alkalmasabbnak találták az Olsen módszernél. Ezzel szemben CHIEN (1978), BOLLAND és munkatársai (1994) szerint ez a módszer túlbecsüli a talaj könnyen oldható P-tartalmát.

A ragályi talajon – bár a nyersfoszfátokkal kezelt minták Olsen-, vizes- és FeO-P tartalma szignifikánsan kisebb volt a szuperfoszfáttal kezelténél (3. táblázat) –, a felvehető P-tartalmat így is, bár jóval kisebb mértékben, mint a savas kivonószerek, túlbecsülik a szuperfoszfátot kapott talajokhoz képest (1. ábra). Hasonló eredményt kaptak BOLLAND és munkatársai (1994) az Olsen módszert alkalmazva. A ragályi talajon az összefüggések szorossága a nyersfoszfátokat vizsgálva igen jó (6. táblázat), és mindhárom módszernél hasonló volt (de közülük legszorosabb a FeO módszernél) mind a termés, mind a P-felvétel tekintetében ($r^2 = 0,908$, ill. $0,940$). Az összes P-forrást figyelembe véve az Olsen, a vizes és FeO módszerrel mért P-tartalommal közel azonos determinációs koefficiens (r^2) kaptunk mindkét esetben.

Meg kell jegyezni, hogy a nyírlugosi talajon a különböző P-forrásokkal kezelt minták Olsen-, vizes- és FeO-P módszerrel mért P-tartalma és a termés, illetve P-felvétel (1. ábra) közötti összefüggés eltér a ragályi talajon tapasztaltaktól. Így a vizes P esetében a jó oldékonyságú é-karolinai, az Olsen-P-nél és a FeO-P-nél a jó

6. táblázat

A tenyészedénykísérlet talajainak különböző kivonószerekkel mért könnyen oldható P-tartalma (mg kg^{-1}) és a vörös here termése (1+2+3 vágás) (g edény^{-1}), ill. a vörös here P-felvétele (1+2+3 vágás) (mg P edény^{-1}) közötti összefüggés (r^2) az $y = a \ln x - b$ illesztéssel, ha a P-forrás hat nyersfoszfát (A) ($n = 24$) vagy a P-források együttesen (B) ($n = 32$)

(1) P módszer	(2) Vörös here termése				(5) Vörös here P-felvétele			
	(3) Savanyú homoktalaj (Nyírlugos)		(4) Savanyú agyagos vályogtalaj (Ragály)		(3) Savanyú homoktalaj (Nyírlugos)		(4) Savanyú agyagos vályogtalaj (Ragály)	
	A	B	A	B	A	B	A	B
AL- P_2O_5	0,630	0,353	0,806	0,626	0,667	0,623	0,869	0,610
LE- P_2O_5	0,687	0,387	0,827	0,658	0,696	0,618	0,888	0,646
Bray1-P	0,498	0,226	0,816	0,707	0,547	0,504	0,886	0,919
Olsen-P	0,703	0,157	0,854	0,706	0,678	0,741	0,928	0,965
H_2O -P	0,667	0,204	0,877	0,689	0,589	0,726	0,914	0,925
FeO-P	0,683	0,199	0,908	0,691	0,737	0,774	0,940	0,953

és közepes oldékonyságú nyersfoszfátok nagyobb adagjai esetében ezek a módszerek – azonos növényi P-felvétel mellett – valamivel kevesebb felvehető foszfort jeleztek a talajban, mint a szuperfoszfátnál. Hasonló jelenséget tapasztaltak az Olsen módszert alkalmazva CORNFORTH és munkatársai (1983), BOLAN és HEADLEY (1989), RAJAN és munkatársai (1996), valamint PERROTT és munkatársai (1993), ami valószínűleg az oldószer oldási mechanizmusára vezethető vissza. A nyírlugosi homoktalajon a nyersfoszfáttal kezelt minták felvehető P-tartalmának alulbecslése a FeO-P módszernél azért következhet be, mert ezen a talajon a módszerben alkalmazott 0,01M CaCl₂-os közeg csökkenti a nyersfoszfátok oldódását az extrakció alatt a Ca közös-ion hatás miatt (HABIB et al., 1998; CHIEN, 2004).

A vörös here tömege és a nyersfoszfátokkal kezelt nyírlugosi homoktalaj Olsen-, vizes- és FeO-P tartalma között az összefüggések szorossága hasonló volt, de a legszorosabb korrelációt az Olsen módszer adta (6. táblázat). Az Olsen, vizes és FeO módszerrel mért P-tartalmaknak a növényi P-felvétellel való összehasonlításában mind a nyersfoszfátokkal, mind az alkalmazott összes P-forrással kezelt minták esetén az összefüggések szorossága nem tért el jelentősen egymástól, de legjobbnak a FeO módszer bizonyult (6. táblázat).

Amennyiben a könnyen oldható P-tartalmak és a vörös here P-felvétele közötti összefüggést nem a két talajon külön-külön, hanem összevonva vizsgáljuk, az egyes talaj P-módszerek talajtulajdonságoktól való függőségének mértékéről is hasznos információt nyerhetünk. A különböző tulajdonságú ragályi és nyírlugosi talaj együttes értékelése során, az összes P-forrást figyelembe véve, a talaj könnyen oldható P-tartalmak és a vörös here P-felvétele közötti korreláció sorrendje FeO > LE = vizes > AL > Olsen > Bray1 volt, az alábbi r²-értékekkel: 0,627; 0,477; 0,468; 0,436; 0,384; és 0,220. Irodalmi adatok szerint a FeO-P módszer kevésbé talajtulajdonságfüggő, mint a hagyományos talaj P kivonási módszerek (MENON & CHIEN, 1995; MENON et al., 1989a,b). Ezt erősítették meg saját eredményeink is, irodalmi tapasztalatokkal egyezően a legjobb összefüggést a talajok FeO P-tartalmával kaptuk. Meglepő volt viszont az AL-, és LE -P módszer jó szereplése.

Nyersfoszfáttal, különböző mértékben feltárt nyersfoszfáttal és szuperfoszfáttal végzett kísérletekben, valamint nagyszámú, különböző típusú talaj vizsgálatokor a növények tömege és P-felvétele általában a FeO-P tartalommal mutatta a legjobb összefüggést, amit az Olsen- és a Bray1-P tartalom követett (MENON et al., 1989a,b, 1991; KUMAR et al., 1992; MENON, 1993).

Összefoglalás

Savanyú homoktalajon (Nyírlugos) és savanyú agyagos vályogtalajon (Ragály) hat, lassan feltáródó nyersfoszfáttal (algériai, floridai, é-karolinai, szenegáli, marokkói nyersfoszfát és hyperfoszfát) beállított tenyészedény-kísérletben teszteltük a vízoldható P-trágyák alkalmazására kidolgozott konvencionális talaj P-vizsgálati módszereket, valamint egy hazánkban kevésbé elterjedt módszert, a FeO (Fe-oxidos papírcsik) eljárást a talajok P-szolgáltatásának becslésére. A módszereket szuperfoszfát-, valamint szuperfoszfát+kalcium-karbonát kezelésekből is értékeltük.

Vizsgáltuk a talajok könnyen oldható P-tartalma, a nyersfoszfátok P-tartalmának oldhatósága és a vörös here termése, ill. P-felvétele közötti összefüggéseket.

Eredményeink azt mutatták, hogy a csupán nyersfoszfátokkal kezelt talajokon a FeO módszerrel mért P-tartalom a savanyú homoktalajon az AL-, LE- és H₂O-P tartalommal közel azonos, szoros korrelációt mutatott, és legkevésbé az Olsen-P tartalommal korrelált. Az agyagos vályogtalajon viszont a FeO-P tartalom az Olsen-P tartalommal adta a legszorosabb, a H₂O-P-vel a leglazább összefüggést.

A nyírlugosi homoktalajon a talaj FeO-P tartalma és a nyersfoszfátok P-tartalmának 2%-os citromsav, 2%-os hangyasav és semleges NH₄⁺-citrát oldhatósága alapján kiadott P mennyiségei közötti összefüggések szorossága azonos volt. A ragályi talajon a FeO-P tartalom a nyersfoszfátok 2%-os hangyasav és semleges NH₄⁺-citrát oldható P-mennyiségeivel közel azonos, a vizsgálatok közötti legszorosabb összefüggéseket adta.

A nyersfoszfátkezelésekben a nyírlugosi savanyú homoktalajon a vörös here összes termése, P-felvétele, valamint a talajminták Olsen-, vizes- és FeO-P tartalma között az összefüggések szorossága hasonló volt, de a legszorosabb korrelációt a termésnél az Olsen módszer, a P-felvételnél a FeO módszer adta. A ragályi savanyú agyagos vályogtalajon a vörös here termése és P-felvétele is a FeO-P tartalommal mutatta a legszorosabb összefüggést, de hasonlóan szoros korrelációt kaptunk még az Olsen és a vízdoldható P-tartalommal is. A termés és a P-felvétel a nyírlugosi talajon a Bray1-P, a ragályi talajon az AL-P értékekkel adta a leggyengébb összefüggést.

Az összes P-forrás (hat nyersfoszfát, szuperfoszfát, valamint szuperfoszfát+kalcium-karbonát) kezeléseit együttesen figyelembe véve, a vörös here P-felvétele, valamint a talaj Olsen, vizes és FeO módszerrel mért P-tartalma közötti összefüggések szorossága között nem volt nagy eltérés a nyírlugosi savanyú homoktalajon, de közülük a legszorosabb a FeO módszernél volt. A ragályi savanyú agyagos vályogtalajon mind a termés, mind a P-felvétel tekintetében mindhárom módszerrel közel azonos determinációs koefficiens (r^2) kaptunk.

A különböző tulajdonságú ragályi és nyírlugosi talaj együttes értékelése során, az összes P-forrást figyelembe véve, a talaj könnyen oldható P-tartalmak és a vörös here P-felvétele közötti korreláció sorrendje FeO > LE = vizes > AL > Olsen > Bray1 volt. Vizsgálataink megerősítették a FeO módszernek a hagyományos talaj P kivonási módszereknél kevésbé talajtulajdonság-függő voltát: a legjobb összefüggéseket a talajok FeO-P tartalmával kaptuk.

Kulcsszavak: nyersfoszfát, savanyú talaj, FeO módszer, vörös here termése és P-felvétele

A dolgozat a T038046 sz. OTKA pályázat támogatásával készült.

Irodalom

- BEEK, J. & VAN RIEMSDIJK, W. H., 1979. Interaction of orthophosphate ions with soils. In: *Soil Chemistry. B. Physico-Chemical Models.* (Ed.: BOLT, G. H.) 259–284. Elsevier Science Publishers BV. Amsterdam.
- BOLAN, N. S. & HEDLEY, M. J., 1989. Dissolution of phosphate rocks in soils. 1. Evaluation of extraction methods for the measurement of phosphate rock dissolution. *Fert. Res.* **19**. 65–67.
- BOLLAND, M. D. A., 1993. Summary of research on soil testing for rock phosphate fertilizers in Western Australia. *Fert. Res.* **35**. 83–91.
- BOLLAND, M. D. A., KUMAR, V. & GILKES, R. J., 1994. A comparison of five soil phosphorus tests for crop species for soil previously fertilized with superphosphate and rock phosphate. *Fert. Res.* **37**. 125–132.
- BRAMLEY, R. G. V. & ROSE, S. P., 1993. Preparation of iron oxide-impregnated filter paper for use in the P_i test for soil phosphorus. *Plant Soil.* **151**. 143–146.
- BRAY, R. H. & KURTZ, L. T., 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* **59**. 39–45.
- BUZÁS I. (szerk.), 1988. Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv 2. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- CHARDON, W. J., MENON, R. G. & CHIEN, S. H., 1996. Iron oxide-impregnated filter paper (P_i test): A review of its development and methodological research. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* **46**. 41–51.
- CHIEN, S. H., 1978. Interpretation of Bray-I extractable phosphorus from acid soil treated with phosphate rock. *Soil Sci.* **144**. 34–39.
- CHIEN, S. H., 2004. Soil testing for phosphate rocks application. 59–68. In: *Use of Phosphate Rocks for Sustainable Agriculture.* FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin No. 13. (Eds.: ZAPATA, F. & ROY, F. N.) 59–68. FAO. Rome.
- CORNFORTH, I. S., SMITH, G. S. & FOX, R. L., 1983. Phosphate extractability and availability to plant in phosphate rock-treated soils. *New Zealand Journal of Exp. Agriculture.* **11**. 243–246.
- CSATHÓ, P. et al., 2006. The effect of phosphate rocks on spring barley shoot yield in a pot trial. *Agrokémia és Talajtan.* **55**. 193–202.
- EGNER, H., RIEHM, H. & DOMINGO, W. R., 1960. Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. II. *Lantbr. Högsk. Ann.* **26**. 199–215.
- GREGG, P. E. H., SYERS, J. K. & MACKAY, A. D., 1981. Agronomic effectiveness of reactive phosphate rocks in hill country pasture. In: *Potential of Phosphate Rock as a Direct Application Fertilizer in New Zealand.* Massey Univ. Occas Rep. 3. 4–11.
- GUO, F., YOST, R. S. & JONES, R. C., 1996. Evaluation of iron-impregnated paper strips for assessing available soil phosphorus. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* **27**. 2561–2590.
- HABIB, L. et al., 1998. Modified iron oxide-impregnated paper strip test for soils treated with phosphate fertilizers. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **62**. 972–976.
- HAMMOND, L. L., CHIEN, S. H. & MOKWUNYE, A. U., 1986. Agronomic value of unacidulated and partially acidulated phosphate rocks indigenous to the tropics. *Adv. Agron.* **40**. 89–140.

- HEDLEY, M. J. & BOLAN, N. S., 1997. Developments in some aspects of reactive phosphate rock research and use in New Zealand. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. **37**. 861–884.
- KUMAR, V., GILKES, R. J. & BOLLAND, M. D. A., 1991. Residual phosphate fertilizer compounds in soils: Their influence on soil tests for available phosphate. *Fert. Res.* **30**. 31–38.
- KUMAR, V., GILKES, R. J. & BOLLAND, M. D. A., 1992. A comparison of seven soil P tests for plant species with different external P requirements grown on soils containing rock phosphate and superphosphate residues. *Fert. Res.* **33**. 35–45.
- KUO, S., 1996. Phosphorus. Extraction with iron oxide-impregnated filter paper. In: *Methods of Soil Analysis. Part 3 Chemical Methods*. (Eds.: SPARKS, L. et al.) 899–901. SSSA Book series. 5. Madison, WI.
- KUO, S. & JELLUM, E. J., 1994. The effect of soil phosphorus buffering capacity on phosphorus extraction by iron hydroxide-coated paper strips in some acid soils. *Soil Sci.* **158**. 124–131.
- LAKANEN, E. & ERVIÖ, R., 1971. A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils. *Acta Agr. Fenn.* **123**. 223–232.
- LARSEN, S., 1967. Soil phosphorus. *Adv. Agron.* **19**. 151–210.
- LEAL, J. E., SUMNER, M. E. & WEST, L. T., 1994. Evaluation of available P with different extractants on Guatemalan soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* **25**. 1161–1196.
- LIN, T. H., HO, S. B. & HOUNG, K. H., 1991. The use of iron oxide-impregnated filter paper for the extraction of available phosphorus from Taiwan soils. *Plant Soil.* **133**. 219–226.
- MACKAY, A. D., SYERS, J. K. & GREGG, P. E. H., 1984a. Ability of chemical extraction procedures to assess the agronomic effectiveness of phosphate rock materials. *N. Z. J. Agric. Res.* **27**. 219–230.
- MACKAY, A. D. et al., 1984b. A comparison of 3 soil testing procedures for estimating the plant availability of phosphorus in soils receiving either superphosphate or phosphate rock. *N. Z. J. Agric. Res.* **27**. 231–245.
- MCKEAGUE, J. A. & DAY, J. H., 1966. Dithionite- and oxalate-extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. *Can. J. Soil Sci.* **46**. 13–22.
- MAGYAR M., 2005. A foszfor felvehetőségének vizsgálata jellegzetes hazai talajokon. Doktori értekezés. Gödöllő.
- MENON, R. G., 1993. The Pi test for evaluating bioavailability of phosphorus. In: *Proc. Symp. on Application of Agricultural Analysis in Environmental Studies*. 58–67. Am. Soc. Testing and Materials. ASTM STP1162. Philadelphia.
- MENON, R. G. & CHIEN, S. H., 1995. Soil testing for available phosphorus in soils where phosphate rock-based fertilisers are used. *Fert. Res.* **41**. 179–187.
- MENON, R. G., CHIEN, S. H. & CHARDON, W. J. 1997. Iron oxide- impregnated filter paper (Pi test): A review of its application. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* **47**. 7–18.
- MENON, R. G., CHIEN, S. H. & HAMMOND, L. L. 1989a. Comparison of Bray I and Pi tests for evaluating plant-available phosphorus from soils treated with different partially acidulated phosphate rocks. *Plant Soil* **114**. 211–216.
- MENON, R. G., CHIEN, S. H. & HAMMOND, L. L., 1990. Development and evaluation of the Pi soil test for plant-available phosphorus. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* **21**. 1131–1150.

- MENON, R. G., CHIEN, S. H. & GADALLA, A. E. N., 1991. Comparison of Olsen and Pi soil tests for evaluating phosphorus bioavailability in a calcareous soil treated with single superphosphate and partially acidulated phosphate rock. *Fert. Res.* **29**. 153–158.
- MENON, R. G., HAMMOND, L. L. & SISSINGH, H. A., 1989b. Determination of plant available phosphorus by the iron hydroxide-impregnated filter paper (P_i test) soil test. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **53**. 110–115.
- MURPHY, J. & RILEY, J. P., 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural water. *Anal. Chem. Acta.* **27**. 31–36.
- Műtrágyák foszfortartalmának meghatározási módszerei. MSz 7240-86.
- Official Journal of the European Communities, 1977. No. L 213/5. Annex II., 22. 08.77. Methods for the analysis of fertilizers. 62–77.
- OLSEN, S. R. et al., 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. US Dept. Agric. Circular No. 939. Washington, D. C.
- OSZTOICS A.-NÉ, RADIMSZKY L. & NÉMETH T., 2000. Szuperfoszfát és nyersfoszfát hatása két hazai talaj víz- és AL-oldható P-tartalmára inkubációs kísérletben. *Agrokémia és Talajtan.* **49**. 107–126.
- OSZTOICS, E. et al., 2005. Nyersfoszfátok agronómiai hatékonyságának vizsgálata tenyészedény-kísérletben. I. A nyersfoszfátok laboratóriumi értékelése. *Agrokémia és Talajtan.* **54**. 341–358.
- OSZTOICS, E. et al., 2006a. Effect of five phosphate rocks on red clover (*Trifolium pratense* L.) yield in pot trial. *Commun. Soil Sci. Plant Anal* **37**. 2713–2724.
- OSZTOICS E. et al., 2006b. Nyersfoszfátok agronómiai hatékonyságának vizsgálata tenyészedény-kísérletben. II. Összefüggések a nyersfoszfát-féleségek oldékonysága, és a vörös here termése, valamint P-felvétele között. *Agrokémia és Talajtan.* **55**. 415–432.
- PARFITT, R. L., 1978. Anion adsorption by soils and soil materials. *Adv. Agron.* **30**. 1–50.
- PERROTT, K. W., SAGGAR, S. & MENON, R. G., 1993. Evaluation of soil phosphate status where phosphate rock based fertilizers have been used. *Fert. Res.* **35**. 67–82.
- PIERZYNSKI, G. M. (Ed.), 2000. Methods of Phosphorus Analysis for Soils, Sediments, Residuals and Waters. Southern Cooperative Series Bulletin No. 396. Kansas State University. Manhattan, Kansas.
- RAJAN, S. S. S., WATKINSON, J. H. & SINCLAIR, A. G., 1996. Phosphate rocks for direct application to soils. *Adv. Agron.* **57**. 77–159.
- SAGGAR, S., HEDLEY, M. J. & WHITE, R. E., 1992. Development and evaluation of an improved soil test for phosphorus. 1. The influence of phosphorus fertilizer solubility and soil properties on the extractability of soil P. *Fert. Res.* **33**. 81–91.
- SARKADI, J., 1982. Opredelenie „vodorasztvorimogo” foszfora. In: *Agrochemische Methoden für die Untersuchung des Phosphathaushaltes der Böden: Methodensammlung.* 1–13. Ak. der Landw. DDR. IPE. Jena.
- SHARPLEY, A. N., 1991. Soil phosphorus extracted by Fe-Al-oxide-impregnated filter paper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **55**. 1038–1041.
- SYERS, J. K., MACKAY A. D. & GREGG, P. E. H., 1981. Chemical reactivity of phosphate rock materials. In: *Potential of Phosphate Rock as a Direct Application Fertilizer in New Zealand.* Massey Univ. Occas Rep. 3. 74–81.

- VAN DER ZEE, S. E. A. T., FOKKING, L. G. J. & VAN RIEMSDIJK, W. H., 1987. A new technique for assessment of reversibly adsorbed phosphate. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **51**. 599–604.
- ZAHARAH, A.R. & SHARIFUDDIN, H. A. H., 2002. Phosphorus availability in acid tropical soil amended with phosphate rocks. In: *Assessment of Soil Phosphorus Status and Management of Phosphatic Fertilisers to Optimise Crop Production*. 294–302. IAEA-TEDOC-1272.

Érkezett: 2007. február 12.

**Pot experiments on the agronomic efficiency of rock phosphates.
III. Determination of the readily available P content of the soil using the
FeO technique and conventional methods**

E. OSZTOICS, P. CSATHÓ, J. CSILLAG, L. RADIMSZKY and M. MAGYAR

Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest

Summary

In a pot experiment set up using acidic sandy soil from Nyírlugos and acidic clay loam soil from Ragály, conventional methods of soil P analysis, elaborated for use with water-soluble P fertilizers, were compared with the FeO technique (using paper strips impregnated with iron oxide), which is rarely used in Hungary, for their ability to estimate the P-supplying capacity of soils treated with five types of slowly released rock phosphates (from Algeria, Florida, N. Carolina, Senegal and Morocco) or with hyperphosphate. The methods were also evaluated for pots treated with superphosphate or superphosphate + calcium carbonate. Correlations were investigated between the readily available P content of the soil, the solubility of the P content of the rock phosphates, and the yield and P uptake of red clover.

The results indicated that on soils treated only with rock phosphates the P content measured using the FeO method exhibited a close correlation with that recorded using the AL, LE and H₂O-P methods on acidic sandy soil, while there was little correlation with the Olsen-P content. On the clay loam soil, however, the FeO-P content was most closely correlated with the Olsen-P content, and exhibited the loosest correlation with the H₂O-P content.

On the sandy soil from Nyírlugos the soil FeO-P content exhibited an equally close correlation with the P contents of the rock phosphates determined using 2% citric acid, 2% formic acid and neutral NH₄-citrate as solvents. On the clay loam soil from Ragály the closest correlations were observed between the FeO-P content and the rock phosphate P contents soluble in 2% formic acid and neutral NH₄-citrate.

In the rock phosphate treatments on acidic sandy soil the closeness of the correlations between the total yield and P uptake of red clover and the Olsen-, H₂O- and FeO-P contents were all similar, though the closest correlation with the yield was found for the Olsen method and with the P uptake for the FeO method. On the clay loam soil both the yield and P uptake of red clover exhibited the closest correlation with the FeO-P content, but similarly close correlations were also recorded for the Olsen and water-soluble P contents. The weakest correlation with the yield and P uptake was found for the Bray1-P content on the Nyírlugos soil and for the AL-P content on the Ragály soil.

When all the P sources were taken into consideration (six rock phosphates, superphosphate and superphosphate+CaCO₃) the closeness of the correlations between the P uptake of red clover and the soil P content determined using the Olsen, H₂O and FeO methods did not differ substantially on the acidic sandy soil, though the closest correlation was recorded for the FeO method. On the acidic clay loam soil very similar coefficients of determination (r^2) were obtained with all three methods for both the yield and the P uptake.

A joint evaluation of the soils from Ragály and Nyírlugos for all the sources of P gave the following order for the closeness of the correlation between the readily available P content of the soil and the P uptake of red clover: FeO > LE = H₂O > AL > Olsen > Bray1. The experiments confirmed that the FeO method was less dependent on soil properties than conventional P extraction methods, as the best correlations were obtained for the FeO-P content of the soils.

Table 1. Physical and chemical properties of the soils used in the pot experiments. (1) Soil property. a) clay+silt %; b) clay, %; c) total P; d) water-soluble P; e) T value; f) exchangeable Ca; g) exchangeable Mg; h) hydrolytic acidity; i) exchangeable acidity; j) humus %; k) oxalate-soluble Al and Fe. (2) Acidic sandy soil (Nyírlugos). (3) Acidic clay loam soil (Ragály).

Table 2. Effect of various P sources [rock phosphates (PR), superphosphate (SSP), superphosphate + calcium carbonate (SSP+Ca)] on the readily available P content of acidic sandy soil from Nyírlugos. (1) P rate (total) P₂O₅ mg·kg⁻¹. (2) Rock phosphates (PR): ALG: Algeria; FLO: Florida; É.KA: North Carolina; SZEN: Senegal; MAR: Morocco; HYP: hyperphosphate. (3) LSD_{5%}. (4) Mean. (5) P source.

Table 3. Effect of various P sources [rock phosphates (PR), superphosphate (SSP), superphosphate + calcium carbonate (SSP+Ca)] on the readily available P content of acidic clay loam soil from Ragály. (1)–(5): see Table 2.

Table 4. Correlations (r²) between the readily available P contents of the rock phosphate treatments on acidic sandy soil (Nyírlugos) and acidic clay loam soil (Ragály) when fitting the linear function $y = a \cdot x + b$ (n = 24). (1) P method.

Table 5. Correlations (r²) between the solubility of the P content of rock phosphates and the readily available P contents of soils treated with rock phosphates when fitting the linear function $y = a \cdot \ln x - b$ (n = 18). (1) P method. (2) Acidic sandy soil (Nyírlugos). (3) Rock phosphate-P extractant. (4) Acidic clay loam soil (Ragály). *Note:* Extractants: 1. cc. HNO₃ + H₂O₂ (total P); 2. 2% citric acid; 3. 2% formic acid; 4. neutral NH₄⁺-citrate.

Table 6. Correlation (r²) between the readily available P content (mg/kg) of the soil of the pot experiment, determined using various extractants, and the yield (cuts 1+2+3) (g·pot⁻¹) or P uptake (cuts 1+2+3) (mg P·pot⁻¹) of red clover when fitting the function $y = a \cdot \ln x - b$, for the six rock phosphates (A) (n = 24) and for all the P sources (B) (n = 32). (1) P method. (2) Red clover yield. (3) Acidic sandy soil (Nyírlugos). (4) Acidic clay loam soil (Ragály). (5) P uptake of red clover.

Fig. 1. Correlation between the readily available P contents determined using various methods and the P uptake of red clover on acidic sandy soil from Nyírlugos (A) and acidic clay loam soil from Ragály (B) in the rock phosphate (from Algeria, Florida, North Carolina, Senegal, Morocco), hyperphosphate, superphosphate and superphosphate + CaCO₃ treatments.