

## Nyersfoszfátok agronómiai hatékonyságának vizsgálata tenyészedény-kísérletben. IV. A nyersfoszfátok hatása a tavaszi árpa bokrosodáskori tömegére és P-felvételére

<sup>1</sup>CSATHÓ PÉTER, <sup>1</sup>OSZTOICS ERZSÉBET, <sup>1</sup>CSILLAG JULIANNA, <sup>2</sup>LENGYEL TAMÁS, <sup>2</sup>GODA LÁSZLÓ, <sup>1</sup>RADIMSZKY LÁSZLÓ, <sup>1</sup>BACZÓ GÁBORNÉ, <sup>1</sup>MAGYAR MARIANNA, <sup>1</sup>RAJKAINÉ VÉGH KRISZTINA, <sup>1</sup>TAKÁCS TÜNDE és <sup>1</sup>LUKÁCS ANDRÁS

<sup>1</sup>MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet (MTA TAKI), Budapest és  
<sup>2</sup>Nitrogénművek Zrt., Pétfürdő

Felismerve a reaktív nyersfoszfátok közvetlen alkalmazásának jelentőségét hazai savanyú talajaink P-állapotának és reakcióállapotának együttes javításában, követve a hazai nyersfoszfát-kutatások hagyományát (SARKADI, 1960; KRÁMER, 1962, 1963; SIK, 1964; KRÁMER & LAMBERGER, 1965; MÁRTONFFY & PEKÁRY, 1978; BÉSAN, 1992), az MTA TAKI-ban a 90-es évek elején új kutatási program indult. Értékeljük a nyersfoszfátok, mint közvetlen P-trágyák agronómiai szerepét, hasznosulását a hazai és a nemzetközi irodalom feldolgozásával (OSZTOICS et al., 2002). A kutatások alapvetően két kísérletsorozattal folytak:

1. A reaktív algériai nyersfoszfát és a szuperfoszfát összehasonlító értékelése különböző talajokon tenyészedény-kísérletekben, 6 talajon (Kompolt, Szentgyörgyvölgy, Nagykorpád, Losonc, Livada, Algéria) tavaszi árpa (OSZTOICS et al., 1997, 2005a), és vörös here (OSZTOICS et al., 2001, 2003, 2004, 2005b) növényekkel; illetve 5–5 éves szabadföldi kísérletekben 2 talajon (Kompolt, Szentgyörgyvölgy), őszi búza, kukorica, őszi árpa, tavaszi árpa és borsó növényekkel (NÉMETH et al., 2002). Az első kísérletsorozatban a nyersfoszfátok alkalmazásának mind agronómiai, mind környezetvédelmi szempontjait is értékeltük.

2. Hat nyersfoszfátfeleség, a szuperfoszfát, és a szuperfoszfát+CaCO<sub>3</sub> összehasonlító értékelése tenyészedény-kísérletekben 2 talajon (Nyírlugos, Ragály), a vörös here termésére és P-felvételére (OSZTOICS et al., 2006a,b); a tavaszi árpa termésére (CSATHÓ et al., 2006). Ebben a második kísérletsorozatban is, hasonlóan az előzőhöz, mind az agronómiai értékelést, mind a környezetvédelmi kockázatbecslést is elvégeztük, ill. elvégezzük. Komplex megközelítéssel, a nyersfoszfátok laboratóriumi oldhatósági viszonyait (OSZTOICS et al., 2005c), a vörös here potenciálisan toxikus elemtartalmát (OSZTOICS et al., 2006c), a talajoldat potenciálisan toxikus elemtartalmát (CSILLAG et al., 2005, 2006a,b), a gyökérkörnyezet (VÉGH et al.,

2006), valamint a növény-mikorhiza szimbiózis (TAKÁCS et al., 2006) szerepét is értékeltük, ill. értékeljük.

Jelen közleményben, a második kísérletsorozat részeként, két különböző tulajdonságú, savanyú kémhatású talajon beállított tenyészedény-kísérletben a hat, eltérő oldhatóságú nyersfoszfát, a szuperfoszfát, valamint a szuperfoszfát+mész azonos P-adagjainak hatását értékeljük a tavaszi árpa bokrosodáskori hajtástömegére, P-tartalmára és P-felvételére. Az alkalmazott nyersfoszfátok oldhatósági viszonyait OSZTOICS és munkatársai (2005c) korábban már értékelték, így erre külön nem térünk ki. Korábbi munkánkban a nyersfoszfátok hatását a talaj oldható P-tartalmaira, a tavaszi árpa bokrosodáskori hajtástömegére, a nyersfoszfátok P-oldhatósága és a hajtástömeg közötti összefüggésre, valamint a nyersfoszfátoknak a hajtástömegek által mutatott agronómiai hatékonyságát szintén bemutattuk (CSATHÓ et al., 2006).

### Anyag és módszer

Savanyú homoktalajon (Nyírlugos) és savanyú agyagos vályogtalajon (Ragály) 1,6 kg talajmintával végzett tenyészedény-kísérletben Algériából, Floridából, É-Karolinából, Szenegálból, Marokkóból és Tunéziából (Hyperfoszfát) származó reaktív üledékes nyersfoszfátot alkalmaztunk, mint P-trágyát. A nyersfoszfátok összes-P tartalmát a minták 65% HNO<sub>3</sub> és 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> elegyével történő roncsolása után ICP spektrometriás módszerrel mértük. A nyersfoszfátok P-tartalmának oldhatóságát (reaktivitását) hangyasavban (2%-os hangyasav oldat), citromsavban (2%-os citromsav oldat) és semleges ammónium-citrát oldatban mértük (Official Journal of the European Communities, 1977; MSZ 7240-86). A P-forrásokat örölt formában, 160 µm-nál kisebb szemcseméretben adtuk a talajhoz, mivel irodalmi adatok szerint (KHASAWNEH & DOLL, 1978; HAMMOND et al., 1986) e méret alatt a nyersfoszfátrészecske nagysága az agronómiai hatásosságot nem befolyásolja.

Összehasonlító standard vízoldható P-trágyaként – a hazánkban forgalomban lévő, Ausztriából (Linz) származó – szuperfoszfátot (SSP) alkalmaztunk. A szuperfoszfát-kezelés mellett beállított szuperfoszfát+CaCO<sub>3</sub> kezeléshez a CaCO<sub>3</sub> mennyiségét a talajok hidrolitos savanyúsága (y<sub>1</sub>) alapján számítottuk (FILEP, 1999). Így az SSP+CaCO<sub>3</sub>-kezelésekben 1910 (savanyú homoktalaj), ill. 4960 (savanyú agyagos vályogtalaj) mg·kg<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub>-ot adtunk. A szuperfoszfát+CaCO<sub>3</sub> kezelést azért állítottuk be, hogy a nyersfoszfátok együttes P+meszező hatását a vízoldható P-forma alkalmazásakor is modellezhessük. A P-forrásokból a hatóanyag-azonosság elvén 0 (NK kontroll), 100, 400 és 1600 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>·kg<sup>-1</sup> adagot (összes P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, cc. HNO<sub>3</sub>+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oldható) adtunk hat ismétlésben. Az NK kontroll- és a P-kezelésekben 200 mg N·kg<sup>-1</sup> és 400 mg K<sub>2</sub>O·kg<sup>-1</sup> adagot juttattunk a talajokba. A kísérlet elrendezése split-plot volt. A tenyészedényeket a kísérlet kezdetén naponta a szántóföldi vízkapacitás 60%-ára öntöttük, később pedig a növények igényének megfelelően.

A tavaszi árpa kísérlet 3–3 ismétlését a bokrosodás végén, további 3–3 ismétlését a virágzás kezdetén bontottuk le. Jelen munkában a bokrosodáskori eredményeket ismertetjük.

A tenyésztedény-kísérletben alkalmazott talajok fizikai és kémiai tulajdonságait a cikksorozat jelen folyóiratszámában megjelenő III. részében közöltük (lásd OSZTOICS et al., 2007, 108. oldal). A talajvizsgálati eredmények, és a szakirodalomban megállapított határértékek tanúsága szerint, a nyírlugosi savanyú homoktalaj közepesen–erősen savanyú kémhatású, és gyenge P-ellátottságú, míg a ragályi agyagos vályogtalaj közepesen savanyú kémhatású, és foszforral igen gyengén ellátott volt a tenyésztedény-kísérlet beállításakor (STEFANOVITS et al., 1999; CSATHÓ, 2003).

Az alkalmazott nyersfoszfátok közül a legnagyobb összes- $P_2O_5$ -tartalma a szenegáli nyersfoszfátnak (33%) volt, a legkisebb az é-karolinainak (23,8%). A nyersfoszfátoknál azonban az összes-P-tartalommal nem jellemezhető az agronómiai hatékonyság. Ezt a nyersfoszfát P-tartalmának oldékonysága, így a 2% -os hangyasavban, 2%-os citromsavban vagy semleges ammónium-citrátban való oldhatósága jelzi (KHASAWNEH & DOLL, 1978; BRAITHWAITE et al., 1990; RAJAN et al., 1992; CHIEN, 1993; WATKINSON, 1994). A vizsgált nyersfoszfátok oldhatósági sorrendjei csökkenő mértékben az alábbiak szerint alakultak:

- a 2%-os citromsavban és hangyasavban: é-karolinai → hyperfoszfát → algériai → marokkói → szenegáli → floridai; és
- semleges ammónium-citrátban: algériai → é-karolinai → hyperfoszfát → marokkói → floridai → szenegáli.

Az USA-ban és Ausztráliában főképpen a semleges  $NH_4$ -citrát-, Braziliában a 2%-os citromsav-, míg Európában a 2%-os hangyasav-módszert használják a nyersfoszfátok P-oldhatóságának becslésére (OSZTOICS et al., 2005c).

## Eredmények és értékelésük

### *A különböző P-források és P-adagok hatása a bokrosodáskori tavaszi árpa hajtástömegére*

Mindkét talajon, minél nagyobb volt az egyes üledékes nyersfoszfátok citromsav-, hangyasav-, ill. semleges ammónium-citrát oldható frakciója, azaz reaktivitása, annál nagyobb P-hatásokat kaptunk a tavaszi árpa hajtástömegekben (1. táblázat).

A P-formák és -adagok átlagában az árpa hajtástömege csaknem kétszerese volt a kolloidban gazdag ragályi agyagos vályogtalajon ( $3,69 \text{ g}\cdot\text{edény}^{-1}$ ), mint a kolloidban szegény nyírlugosi homoktalajon ( $1,90 \text{ g}\cdot\text{edény}^{-1}$ ) (1. táblázat).

A nyersfoszfátfeleségek átlagában a legnagyobb P-adag ( $1600 \text{ mg } P_2O_5\cdot\text{kg}^{-1}$ ) hatására az NK-kontrollhoz viszonyítva a savanyú homoktalajon, ill. savanyú agyagos vályogtalajon 6,3-, ill. 4,8-szeres termésnövekedést kaptunk.

A P-adagok átlagában a nyersfoszfátok között a savanyú homoktalajon a jól oldódó algériai nyersfoszfát és a hyperfoszfát adta a legnagyobb hajtástömeget ( $2,25$  és  $2,23 \text{ g}\cdot\text{edény}^{-1}$ ). A legkisebb hajtástömegek a legkevésbé oldékony szenegáli és floridai nyersfoszfátkezelésekhez kötődtek ( $0,88$  és  $0,92 \text{ g}\cdot\text{edény}^{-1}$ ). A savanyú agyagos vályogtalajon az algériai és az é-karolinai nyersfoszfát bizonyult a leghatá-

1. táblázat

A P-források [nyersfoszfátok (PR), szuperfoszfát (SSP) és szuperfoszfát + kalcium-karbonát (SSP+Ca)] és -adagok hatása a bokrosodáskori tavaszi árpa hajtástömegére (g·edény<sup>-1</sup>)

(1) P-adag (összes) P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg·kg <sup>-1</sup>	(2) Nyersfoszfátok (PR)							SSP	SSP+ Ca	(4) P-formák		
	ALG	FLO	É.KA	SZEN	MAR	HYP	(3) Átlag			(5) SzD <sub>5%</sub>	(3) Átlag	
<i>A. Savanyú homoktalaj (Nyírlugos)</i>												
NK	0,51	0,47	0,48	0,45	0,53	0,50	0,49	0,36	2,68		0,75	
100	1,26	0,67	0,97	0,64	0,69	1,13	0,89	0,74	3,94	0,67	1,25	
400	3,00	0,95	1,68	0,76	2,52	2,94	1,98	2,06	4,43		2,29	
1600	4,23	1,59	2,85	1,67	3,74	4,36	3,07	3,68	4,19		3,29	
a) SzD <sub>5%</sub>	0,67											0,24
b) átlag	2,25	0,92	1,50	0,88	1,87	2,23	1,61	1,71	3,81	0,33	1,90	
<i>B. Savanyú agyagos vályogtalaj (Ragály)</i>												
NK	1,16	1,08	1,28	1,03	1,03	0,98	1,09	1,11	1,26		1,12	
100	4,11	1,85	2,47	1,12	2,55	2,87	2,50	6,92	4,56	1,11	3,31	
400	5,64	2,86	5,18	1,80	5,34	4,65	4,25	6,29	7,10		4,86	
1600	6,08	4,62	6,31	3,20	5,93	5,12	5,21	6,20	6,32		5,47	
a) SzD <sub>5%</sub>	1,11											0,39
b) átlag	4,25	2,60	3,81	1,79	3,71	3,41	3,26	5,13	4,81	0,55	3,69	

Megjegyzés: Nyersfoszfátok: ALG: Algéria; FLO: Florida; É.KA: Észak-Karolina; SZEN: Szenegál; MAR: Marokkó; HYP: Hyperfoszfát

sosabbnak (4,25 és 3,81 g·edény<sup>-1</sup>). Korábbi munkáink szerint, az algériai nyersfoszfát a szuperfoszfáthoz hasonló hatékonyságot mutatott a kárpát-medencei erősen savanyú talajokon (NÉMETH et al., 2002, OSZTOICS et al., 2001). Az összes P-formát figyelembe véve, a savanyú homoktalajon (Nyírlugos) a szuperfoszfát+CaCO<sub>3</sub>- (3,81 g·edény<sup>-1</sup>), a savanyú agyagos vályogtalajon (Ragály) a szuperfoszfát- (5,13 g·edény<sup>-1</sup>), valamint a szuperfoszfát+CaCO<sub>3</sub>- (4,81 g·edény<sup>-1</sup>) kezelések bizonyultak a leghatékonyabbnak (1. táblázat).

A meszezés önmagában az NK-kontrollok árpa átlag hajtástömegét a nyírlugosi talajon 450%-kal, a ragályi talajon mindössze 16%-kal növelte. A szuperfoszfát mellett adagolt CaCO<sub>3</sub> az azonos P-adagú szuperfoszfát-kezeléshez viszonyítva is éreztette ezt a kedvező hatását a termésre, bár a szuperfoszfátadag növelésével ez a hatás csökkent (1. táblázat).

#### *A nyersfoszfátfeleségek és a P-adagok hatása a bokrosodáskori tavaszi árpa hajtás P-tartalmára*

A kis pufferkapacitású nyírlugosi savanyú homoktalajon a P-formák és -adagok átlagában a bokrosodáskori árpahajtás P-tartalma 50%-kal nagyobb volt, mint a savanyú agyagos vályogtalajon (2. táblázat).

2. táblázat

A P-források [nyersfoszfátok (PR), szuperfoszfát (SSP) és szuperfoszfát + kalcium-karbonát (SSP+Ca)] és -adagok hatása a bokrosodáskori tavaszi árpa hajtás P-tartalmára (%)

(1) P-adag (összes) P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg·kg <sup>-1</sup>	(2) Nyersfoszfátok (PR)							SSP	SSP+ Ca	(4) P-formák	
	ALG	FLO	É.KA	SZEN	MAR	HYP	(3) Átlag			(5) SzD <sub>5%</sub>	(3) Átlag
<i>A. Savanyú homoktalaj (Nyírlugos)</i>											
NK	0,15	0,16	0,14	0,15	0,14	0,12	0,14	0,18	0,34		0,17
100	0,27	0,19	0,21	0,18	0,24	0,18	0,21	0,29	0,37	0,09	0,24
400	0,39	0,26	0,47	0,17	0,34	0,30	0,32	0,80	0,65		0,42
1600	0,47	0,43	0,37	0,36	0,42	0,39	0,41	1,83	1,49		0,72
a) SzD <sub>5%</sub>											0,09
b) átlag	0,32	0,26	0,30	0,22	0,28	0,25	0,27	0,78	0,71	0,05	0,39
<i>B. Savanyú agyagos vályogtalaj (Ragály)</i>											
NK	0,11	0,12	0,11	0,11	0,11	0,12	0,11	0,13	0,12		0,11
100	0,17	0,14	0,15	0,11	0,15	0,17	0,15	0,25	0,20	0,06	0,17
400	0,31	0,15	0,25	0,13	0,28	0,21	0,22	0,58	0,60		0,32
1600	0,34	0,26	0,34	0,16	0,43	0,23	0,29	0,99	0,91		0,46
a) SzD <sub>5%</sub>											0,06
b) átlag	0,23	0,17	0,21	0,13	0,24	0,18	0,20	0,49	0,46	0,03	0,26

Megjegyzés: Nyersfoszfátok: lásd 1. táblázat

Itt tehát a hajtás tömegében tapasztaltnal ellentétes tendencia érvényesült.

A nyersfoszfátfeleségek átlagában a legnagyobb P-adag (1600 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>·kg<sup>-1</sup>) hatására az NK-kontrollhoz viszonyítva a savanyú homoktalajon 2,9-szeres, míg a savanyú agyagos vályogtalajon 2,6-szoros hajtástömeg növekedés volt.

A P-adagok átlagában a nyersfoszfátok között a savanyú homoktalajon a jól oldódó algériai és az é-karolinai nyersfoszfát adta a legnagyobb P-tartalom növekedést (0,32 és 0,30%). A legkisebb P-tartalmak a legkisebb oldékonyságú szenegáli nyersfoszfát-, és meglepetésre, a hyperfoszfát-kezelésekhez kötődtek (0,22 és 0,25%). A savanyú agyagos vályogtalajon a marokkói és az algériai nyersfoszfát növelte legjobban a P-tartalmat (0,24 és 0,23%). A legkisebb P-tartalmakat szintén a legkisebb oldékonyságú szenegáli, ill. a floridai nyersfoszfátkezelések eredményezték (0,13 és 0,17%).

Az összes P-formát figyelembe véve, a vízoldható formában adott P-kezelésekben mindkét talajon több kétszeresére nőttek a P-tartalmak: a savanyú homoktalajon a szuperfoszfát 0,78%, a szuperfoszfát+CaCO<sub>3</sub> 0,71%, a savanyú agyagos vályogtalajon a szuperfoszfát 0,49%, a szuperfoszfát+CaCO<sub>3</sub> 0,46% átlagos P-koncentrációkat mutattak. Az 1600 mg/kg, extrém nagy P-adagok hatására a bokrosodáskori árpahajtás P-koncentrációk szokatlanul magasak voltak a vízoldható P-formák alkalmazásakor: a ragályi talajon 1% körüli, a nyírlugosin 1,5 és 1,8% (!) körüli elemi P-tartalmak fordultak elő (2. táblázat).

A diagnosztikai célú fiatalkori növényi P-ellátottsági kategóriák szerint a bokrosodásvégi tavaszi árpa (Feekes 5) hajtás gyenge P-ellátottságot 0,2% alatt, közepes P-ellátottságot 0,21 és 0,35% között, jó P-ellátottságot 0,36 és 0,60% között, igen jó P-ellátottságot 0,61 és 0,90%, túlzott P-ellátottságot 0,90% P-tartalom felett mutat (jó ellátottság: BERGMANN, 1992; többi ellátottság: saját becslés). Ennek megfelelően, kísérletünkben a nyírlugosi talajon a P-kontroll (NK) kezelések gyenge (a meszezett NK-kezelés közepes), a 100 és 400 mg  $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$  P-kezelések közepes (a szenegáli, és részben a floridai nyersfoszfát- és a hiperfoszfát-kezelésekben még gyenge, a szuperfoszfát- és a szuperfoszfát+ $CaCO_3$ -kezelésben már jó), az 1600 mg  $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$  P-kezelések árpa növényei jó (a szuperfoszfát- és a szuperfoszfát+ $CaCO_3$ -kezelésben már túlzott) P-ellátottságokat mutattak. Az eredetileg gyengébb P-ellátottságú, nagyobb pufferkapacitású ragályi talajon még a 100 mg  $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$  P-kezelés növényei is gyenge P-ellátottságot jeleztek (a szuperfoszfát- és a szuperfoszfát+ $CaCO_3$ -kezelésben már közepes ellátottságot). A legrosszabb P-oldékonyságú szenegáli és floridai nyersfoszfátkezeléseknek még a 400 mg  $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$  P-szintjein sem érte el a közepes ellátottságot a bokrosodásvégi tavaszi árpa növény. A ragályi talajon még az extrém nagy 1600 mg  $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$  adagoknál is csak a jó ellátottság alsó határát közelítették meg a jobb nyersfoszfátkezelések, mialatt a szuperfoszfát- és a szuperfoszfát+ $CaCO_3$ -kezelésben már igen jó-túlzott P-ellátottságokról számolhattunk be (2. táblázat).

A meszezés önmagában az NK-kontrollokon az árpa átlag P-koncentrációját a nyírlugosi talajon megduplázta (!), míg a ragályi talajon nem befolyásolta (2. táblázat).

#### *A nyersfoszfátfeleségek és a P-adagok hatása a bokrosodáskori tavaszi árpa hajtás P-felvételére*

A P-felvételekben, a hajtástömegben és a P-koncentrációban kapott P-hatások összegződnek. A nyersfoszfátkezelésekben a tavaszi árpa átlagos P-felvétele a kolloidban gazdag agyagos vályogtalajon több mint 40%-kal volt nagyobb, mint a kolloidban szegény homoktalajon (3. táblázat), tehát a ragályi talaj nagyobb termése ellensúlyozta a nyírlugosi talajon kapottaknál kisebb P-koncentrációkat (2. táblázat). A P-felvétel a nyersfoszfátfeleségek átlagában a legnagyobb P-adag (1600 mg  $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$ ) hatására az NK-kontrollhoz viszonyítva a savanyú homoktalajon 18-szoros (!), míg a savanyú agyagos vályogtalajon 13-szoros (!) volt.

A különböző tulajdonságú nyersfoszfátok (P-oldékonyság, fajlagos felület,  $CaCO_3$ -tartalom) eltérő hatással voltak a tavaszi árpa P-felvételére mindkét talajon (3. táblázat). Így a P-adagok átlagában a nyersfoszfátok közül a savanyú homoktalajon a jól oldódó algériai nyersfoszfát és a hiperfoszfát hatására volt a legnagyobb a növények P-felvétele (8,96 és 7,09 mg P-edény<sup>-1</sup>). A legkisebb P-felvételek a gyenge P-oldékonyságú szenegáli és floridai nyersfoszfátokhoz kötődtek (2,30 és 2,85 mg P-edény<sup>-1</sup>). A savanyú agyagos vályogtalajon a P-adagok átlagában az algériai (11,64 mg P-edény<sup>-1</sup>) és, némi meglepetésre, a marokkói (11,43 mg P-edény<sup>-1</sup>) nyersfoszfátok bizonyultak a leghatékonyabbaknak.

## 3. táblázat

A P-források [nyersfoszfátok (PR), szuperfoszfát (SSP) és szuperfoszfát + kalcium-karbonát (SSP+Ca)] és -adagok hatása a bokrosodáskori tavaszi árpa hajtás P-felvételére (mg P·edény<sup>-1</sup>)

(1) P-adag (összes) P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg·kg <sup>-1</sup>	(2) Nyersfoszfátok (PR)							SSP	SSP+ Ca	(4) P-formák	
	ALG	FLO	É.KA	SZEN	MAR	HYP	(3) Átlag			(5) SzD <sub>5%</sub>	(3) Átlag
<i>A. Savanyú homoktalaj (Nyírlugos)</i>											
NK	0,76	0,74	0,65	0,65	0,72	0,63	0,69	0,64	8,98		1,72
100	3,43	1,25	2,04	1,16	1,66	2,04	1,93	2,13	14,68	4,60	3,55
400	11,61	2,52	7,96	1,32	8,45	8,81	6,78	16,53	28,99		10,77
1600	20,16	6,90	10,57	6,09	15,68	16,85	12,69	67,55	62,38		25,76
a) SzD <sub>5%</sub>					4,60						1,63
b) átlag	8,96	2,85	5,31	2,30	6,63	7,09	5,52	21,71	28,76	2,30	10,45
<i>B. Savanyú agyagos vályogtalaj (Ragály)</i>											
NK	1,28	1,26	1,37	1,14	1,09	1,14	1,21	1,42	1,46		1,27
100	7,04	2,54	3,78	1,27	3,84	4,97	3,91	17,21	9,10	4,81	6,22
400	17,57	4,37	12,80	2,40	15,04	9,94	10,35	36,47	42,62		17,65
1600	20,69	12,03	21,43	5,28	25,74	11,65	16,14	61,65	57,85		27,04
a) SzD <sub>5%</sub>					4,81						1,70
b) átlag	11,64	5,05	9,85	2,52	11,43	6,92	7,90	29,19	27,76	2,40	13,04

Megjegyzés: Nyersfoszfátok: lásd 1. táblázat

A standardként alkalmazott vízoldható szuperfoszfát hatására a P-adagok átlagában a tavaszi árpa P-felvétele a nyírlugosi talajon 3,9-szerese volt a nyersfoszfát-féleségek átlagos P-felvételének, a ragályi talajon pedig valamivel kevesebb (3,7-szerese) volt. A nyírlugosi talajon a meszezés önmagában a tavaszi árpa P-felvételét az NK-kontrollok átlagához képest 13-szorosára (!) növelte. A ragályi talajon a meszezésnek semmilyen hatása nem volt a P-felvételre. A P-adagok átlagában a szuperfoszfát+CaCO<sub>3</sub>-kezelés a nyírlugosi talajon a P-formák közötti legnagyobb P-felvételt eredményezte, a ragályi talajon viszont közel azonos volt a szuperfoszfát hatásával. Hasonló tapasztalatokról számoltak be a vöröshere-kísérletekben OSZTOICS és munkatársai (2006b) is.

*A nyersfoszfátok oldhatósága és a bokrosodáskori tavaszi árpa hajtás P-felvétele közötti összefüggés*

A nyersfoszfátadagok és a tavaszi árpa hajtástömege, valamint az adagok és a P-felvétel között mindkét talajon a leggyengébb korrelációt akkor kaptuk, ha az adott nyersfoszfátadagok P-tartalmát az összes-P-tartalommal (100–400–1600 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>·kg<sup>-1</sup>) jellemeztük (4. táblázat, 1A., 1C., 2A., 2C. ábra). Az összefüggések szorossága nőtt (4. táblázat, 1B., 1D., 2B., 2D. ábra), ha nem az adott nyersfoszfátadagok

összes-P-tartalmát, hanem annak a 2% -os hangyasavban, 2%-os citromsavban vagy semleges ammónium-citrátban oldható mennyiségét vettük figyelembe. A két talajon minden oldószer esetén hasonló korrelációkat kaptunk a termés vonatkozásában. A felvett foszforral való összefüggésben viszont valamivel szorosabbak voltak

#### 4. táblázat

Az összefüggés szorossága ( $r^2$ ) a vizsgált hat nyersfoszfát eltérő oldhatóságú frakcióival kijuttatott P és a bokrosodáskori tavaszi árpa hajtástömege (A) (az  $y = a \cdot \ln x + b$  illesztésével), ill. az eltérő oldhatóságú frakcióival kijuttatott P és a tavaszi árpa P-felvétele között (B) (az  $y = a \cdot \ln x - b$  illesztésével) ( $n = 18$ , az NK-kezelések nélkül)

(1) Frakció	A.		B.	
	(2) Savanyú homoktalaj (Nyírlugos)	(3) Savanyú agyagos vályogtalaj (Ragály)	(2) Savanyú homoktalaj (Nyírlugos)	(3) Savanyú agyagos vályogtalaj (Ragály)
65% HNO <sub>3</sub> +30% H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> oldható	0,526	0,473	0,585	0,475
2% citromsav oldható	0,656	0,620	0,694	0,580
2% hangyasav oldható	0,728	0,721	0,763	0,671
semleges NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -citrát oldható	0,742	0,751	0,787	0,651

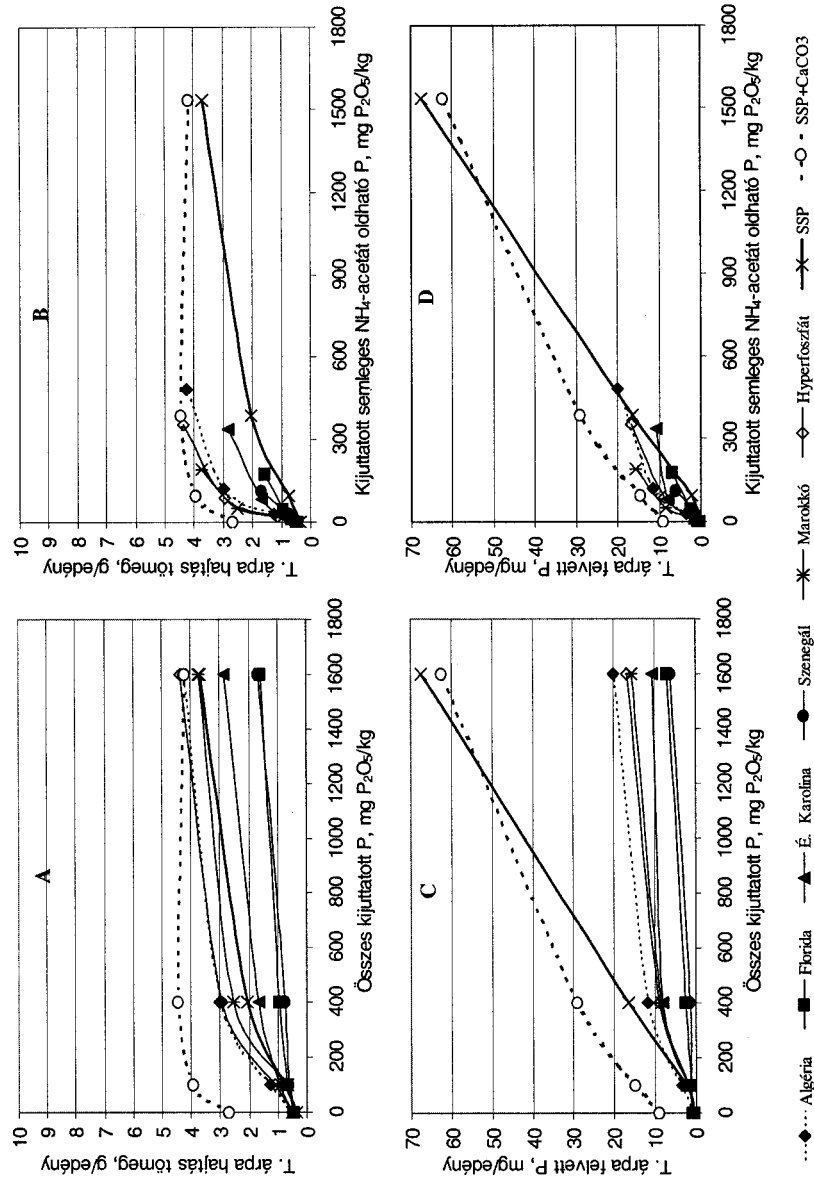
az összefüggések a savanyú homoktalajon. Mindkét talajon a legszorosabb korrelációt általában a semleges ammónium-citrátban történő oldhatóság figyelembevételkor kaptuk. Ebből arra következtetünk, hogy a semleges ammónium-citrát a legjobb oldószer a vizsgált nyersfoszfátok közötti P-oldhatósági sorrend megállapításához.

Az irodalomban ENGELSTAD és munkatársai (1974) LÉON és munkatársai (1986), ZAHARAH és SHARIFUDDIN (2002), valamint OSZTOICS és munkatársai (2006b) is hasonló eredményekről számoltak be. A 2%-os citromsavban mért nyersfoszfát-P oldhatósággal találtak viszont a legjobb korrelációt kísérletükben CARO és HILL (1956), és a 2%-os hangyasavban mért oldhatósággal CHIEN és HAMMOND (1978), MACKAY és munkatársai (1984), valamint RAJAN és munkatársai (1992).

#### A nyersfoszfát relatív agronómiai hatékonysága (RAE)

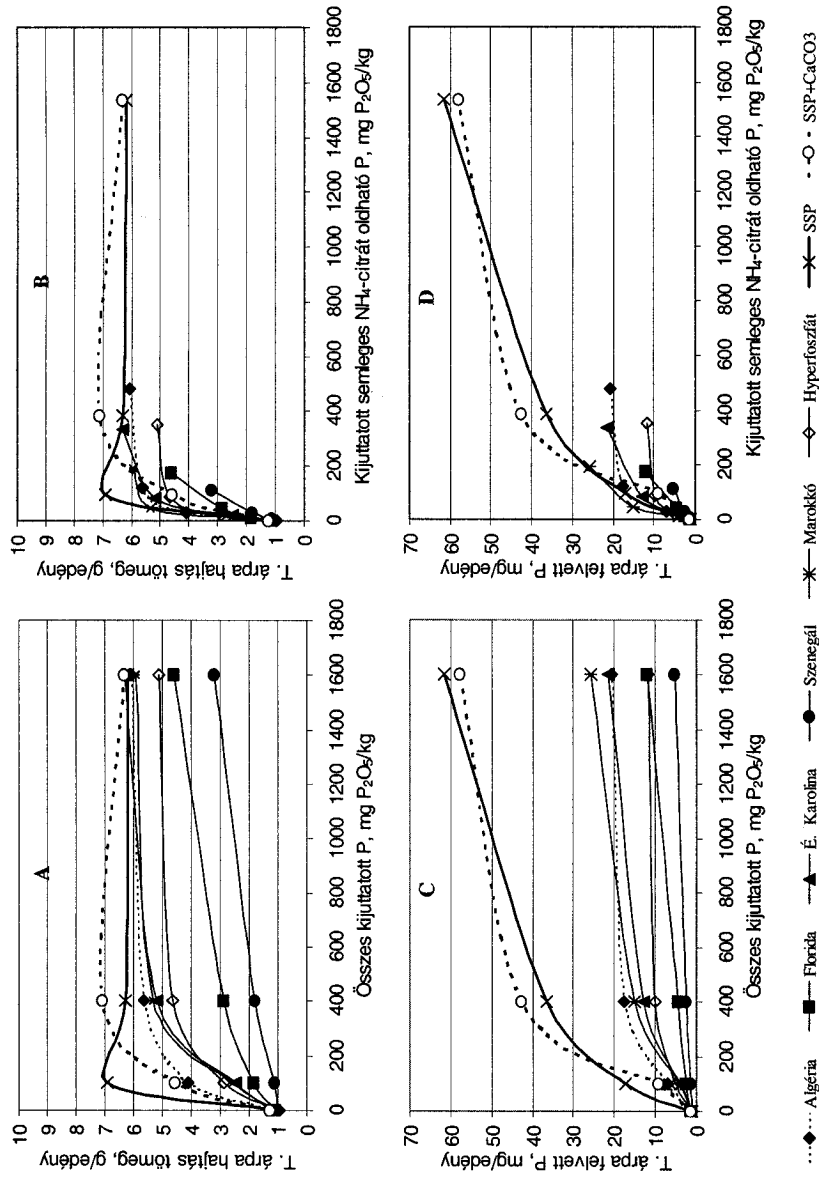
Amikor a nyersfoszfátot, mint közvetlen alkalmazású P-trágyát agronómiai hatása szempontjából minősítik, általában egy standard, általánosan használt, vízoldható P-trágya, például a szuperfoszfát (SSP) hatásához viszonyítják. A minősítés alapjaként szolgáló paraméter lehet a tavaszi árpa hajtástömege, vagy P-felvétel. Korábbi közleményünkben a relatív agronómiai hatékonyságot a tavaszi árpa hajtástömegek alapján már értékeltük (Csathó et al., 2006). Jelen dolgozatban a P-felvétel alapján kifejezett agronómiai hatékonyságokat értékeljük (5. táblázat).





I. ábra

Összefüggés az összes, ill. a semleges NH<sub>4</sub>-citrát oldható frakcióval adott P mennyisége és a bokrosodáskori tavaszi árpa hajástömege (A, B), valamint az összes, ill. a semleges NH<sub>4</sub>-citrát oldható frakcióval adott P mennyisége és a felvett P mennyisége között (C, D) a savanyú homoktalajon (Nyírlugos)



2. ábra

Összefüggés az összes, ill. a semleges NH<sub>4</sub>-citrát oldható frakcióval adott P mennyisége és a bokrosodáskori tavaszi árpa hajtástömege (A, B), valamint az összes, ill. a semleges NH<sub>4</sub>-citrát oldható frakcióval adott P mennyisége és a felvett P mennyisége között (C, D) a savanyú agyagos vályogtalajon (Ragály)

A relatív agronómiai hatékonyság (RAE%) számításának képlete:

$$RAE(\%) = \frac{100(X_1 - X_0)}{X_2 - X_0}$$

*ahol:*  $X_1$  = a tavaszi árpa P-felvétele egy adott nyersfoszfátkezelésnél;  $X_2$  = a tavaszi árpa P-felvétele a nyersfoszfátéval megegyező adagú szuperfoszfát-kezelésnél;  $X_0$  = a tavaszi árpa P-felvétele P-trágyázás nélkül (NK-kontroll).

Mint ahogy az várható volt, jelentős különbségek adódtak a hajtástömegekben és a hajtással felvett foszforban kifejezett relatív agronómiai hatékonyságok (RAE) között. Korábbi közleményünkben (CSATHÓ et al., 2006) megállapítottuk, hogy a nyírlugosi savanyú homoktalajon a 3 P-szint átlagában az algériai nyersfoszfát, a hyperfoszfát és az é-karolinai nyersfoszfát is a szuperfoszfátnál jobb, tehát 100% feletti RAE értékeket adott. Ennek oka az lehetett, hogy a közepesen–erősen savanyú nyírlugosi talajon a tovább savanyító szuperfoszfát nagyobb adagjai nemhogy további terméstudbilletet nem eredményeztek, hanem, ellenkezőleg, termésűcsökkenést tapasztaltunk. A savanyú homoktalajon, valamennyi nyersfoszfátforma és adag átlagában, a hajtástömegekben mért RAE% 110%-nak adódott, tehát jobb volt, mint a szuperfoszfát RAE%-a (CSATHÓ et al., 2006).

A savanyú agyagos vályogtalajon ugyanakkor, továbbra is a hajtástömegekben mérve, a 3 P-szint átlagában a három legjobb szereplő nyersfoszfát (az algériai, é-karolinai és marokkói) a szuperfoszfát RAE értékének csupán 79–68–67%-át érte el. Valamennyi nyersfoszfátforma és -adag átlagában pedig, a hajtástömegekben mért RAE% csupán 55% volt, tehát alig több mint fele a szuperfoszfát RAE%-ának (CSATHÓ et al., 2006).

#### 5. táblázat

A nyersfoszfátok relatív agronómiai hatékonysága (RAE%) a tavaszi árpa hajtás által felvett foszfor alapján

(1) P-forrás	(2) Savanyú homoktalaj (Nyírlugos)				(5) Savanyú agyagos vályogtalaj (Ragály)			
	(3) P-adag (összes) mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ·kg <sup>-1</sup>							
	100	400	1600	(4) Átlag	100	400	1600	(4) Átlag
a) algériai nyersfoszfát	191	69	29	96	36	46	32	38
b) floridai nyersfoszfát	39	12	9	20	8	9	18	12
c) é-karolinai nyersfoszfát	94	46	15	52	16	33	33	27
d) szenegáli nyersfoszfát	33	4	8	15	0	3	7	3
e) marokkói nyersfoszfát	68	49	22	46	16	39	41	32
f) hyperfoszfát	94	51	24	57	23	25	17	22
g) nyersfoszfátok átlaga	86	38	18	48	17	26	25	22
h) szuperfoszfát (SSP)	100	100	100	100	100	100	100	100
SSP+Ca	396	126	80	201	48	117	93	86
i) P formák átlaga	127	57	36	73	31	47	43	40

Sokkal kedvezőtlenebbül alakult ugyanakkor a nyersfoszfátoknak a felvett foszfor mennyiségében kifejezett relatív agronómiai hatékonysága. A nyírlugosi savanyú homoktalajon a 3 P-szint átlagában három legjobban szereplő nyersfoszfát (az algériai, a hyperfoszfát és az É-karolinai) RAE értéke csupán 96–57–52% volt (5. táblázat). A savanyú homoktalajon, valamennyi nyersfoszfátforma és -adag átlagában a P-felvétel alapján mért RAE% már csak 48%-nak adódott, tehát a szuperfoszfát RAE%-ának csupán mintegy felét érte el. A legkisebbek voltak a leggyengébb P-oldhatóságú szenegáli és floridai nyersfoszfátok P-felvételben kifejezett RAE%-ai (15 és 20%). A szuperfoszfát+CaCO<sub>3</sub>-kezelés a savanyú homoktalajon megduplázta a szuperfoszfát standard RAE értékét, savanyú agyagos vályogon viszont valamivel az alatt maradt (5. táblázat).

A savanyú agyagos vályogtalajon ugyanakkor, továbbra is a P-felvételben mérve, még kedvezőtlenebbül alakultak a nyersfoszfátok RAE értékei. A 3 P-szint átlagában a három legjobban szereplő nyersfoszfát (az algériai, marokkói és é-karolinai) a szuperfoszfát RAE értékének csupán 38–32–27%-át érte el. Valamennyi nyersfoszfátforma és -adag átlagában pedig a P-felvételben mért RAE% csupán 22% volt, tehát kevesebb, mint negyede a szuperfoszfát RAE%-ának. A savanyú agyagos vályogtalajon is a gyenge P-oldékonyságú szenegáli és floridai nyersfoszfátok P-felvételben kifejezett RAE%-ai voltak a legkisebbek (3 és 12%) (5. táblázat).

Összefoglalóan megállapíthatjuk, hogy a valamennyi nyersfoszfátforma és -adag átlagában, a nyersfoszfátoknak a bokrosodáskori tavaszi árpa hajtástömegében kifejezett relatív agronómiai hatékonyságaihoz (RAE%) képest a P-felvételben kifejezett RAE% értékei mindkét talajon a felére csökkentek (Nyírlugos: 110 → 48%; Ragály: 55 → 22%). Az eredményekből az is megállapítható, hogy a savanyú agyagos vályogtalajon csupán fele akkorák voltak mind a hajtástömegekkel, mind a P-felvétellel meghatározott RAE%-ok, mint a savanyú homoktalajon. Fontos megjegyeznünk, hogy mindkét talaj, és mindkét értékelési mód (árpahajtás bokrosodáskori tömeg és P-felvétel) átlagában, a nyersfoszfátok relatív agronómiai hatékonyságának sorrendje megegyezett a nyersfoszfátok semleges ammónium-citrátban mért oldhatósági sorrendjével.

Fontos lehet annak vizsgálata, hogy a tenyészedény-kísérletek mennyiben alkalmasak a különböző nyersfoszfátok minőségének összehasonlítására, a laboratóriumi oldhatósági tesztek ellenőrzésére. Irodalmi adatok alapján a tenyészedény-kísérletek általánosan elfogadottak ezekre a vizsgálatokra (CHIEN & HAMMOND, 1978; KUCEY & BOLE, 1984; MACKAY et al., 1984; RAJAN et al., 1992). Nagyon fontosak az azonos talajon, azonos növényvel, azonos nyersfoszfátsorral végzett tenyészedény- és szabadföldi kísérletek (ENGELSTAD et al., 1974; CHIEN & HAMMOND, 1978; RAJAN et al., 1996). Eredményeik azt mutatták, hogy a tenyészedény-kísérletben legjobb nyersfoszfátféleség bizonyult a legjobbnak a szabadföldön is. A nyersfoszfátok agronómiai hatékonyságának sorrendje tehát hasonló volt a kísérletekben.

### Következtetések

A P-formák és P-adagok hatását vizsgáló tenyészedény-kísérletünk értékelése során mindenképpen meg kell jegyeznünk, hogy a kísérlet felépítése során azt a célt fogalmaztuk meg, hogy az eltérő oldékonyságú és nehézfém-szennyezettségű nyersfoszfátoknak nem csupán agronómiai hatékonyságát, de alkalmazásuk környezeti kockázatát is vizsgáljuk. Ennek megfelelően határoztuk meg a P-adagokat is. Az agronómiai hatékonyságokat az NK-kontroll kezeléshez képest a 100 és 400 mg  $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$  adagokkal vizsgáltuk (ha-onként 3 millió kg talajtömeggel számolva a szántott rétegben, ez 300 és 1200  $kg \cdot ha^{-1}$  szabadföldi  $P_2O_5$ -adagoknak felel meg, azaz már P előretrágyázási, ill. feltöltő P-trágya dózisoknak). Figyelembe kell venni ugyanakkor azt is, hogy tenyészedény-kísérletekben általában nagyobb NPK-adagokkal dolgozunk, mint szabadföldi kísérletekben. Az 1600 mg  $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$  adaggal viszont már a reaktív üledékes nyersfoszfátokban 10, ill. 100  $mg \cdot kg^{-1}$  nagyságrenddel szennyező anyagként jelenlevő potenciálisan káros elemek kijuttatásával okozott környezeti kockázatot is modellezni kívántuk. Ez utóbbi adag már extrémén nagy ( $4800 \cdot ha^{-1}$ ) szabadföldi  $P_2O_5$ -adagoknak felel meg. Ha a bázikus nyersfoszfátok átlagos  $P_2O_5$ -tartalmát 30%-nak tekintjük, átlagosan 16  $t \cdot ha^{-1}$ -nak megfelelő nyersfoszfátmennyiségekkel juttatjuk ki ezeket az extrémén nagy P-adagokat. Ezek a nyersfoszfátmennyiségek tehát – változó mésztartalmuk okán (ALG: 18,3%; FLO: 6,9%; É.KA: 12,8%; SZE: 4,3%; MAR: 14,4%; HYP: 13,3%  $CaCO_3$ ) (OSZTOICS et al., 2005c) melioratív meszezési adagoknak is tekinthetők. Tenyészedény-kísérletünk értékelésekor ezeket a tényezőket is figyelembe kell venni.

P-szolgáltatásukon túl az erősebben savanyú nyírlugosi homoktalajon [pH(KCl) 3,8] a bázikus nyersfoszfátok meszező hatása erőteljesebben érvényesülhetett, mint a kevésbé savanyú ragályi agyagos vályogtalajon [pH(KCl) 4,5]. Ezt erősíti az a tény is, hogy a savanyú homoktalajon a legtöbb P-szinten a szuperfoszfát-kezelésekhez képest a szuperfoszfát+ $CaCO_3$ -kezelések termése több mint megduplázódott, míg a savanyú agyagos vályogtalajon mészhatást nem tapasztaltunk a bokrosodáskori tavaszi árpában. Hasonlókat tapasztaltak az ugyanezen a két talajon, azonos kezelésekkal vörös herével beállított tenyészedény-kísérletben OSZTOICS és munkatársai (2006b) is.

A nyírlugosi savanyú homoktalaj sokkal nagyobb környezeti sérülékenységet jelzi az a tény is, hogy az NK- (P kontroll) kezelés talajához képest a szuperfoszfát-kezelés 1600  $mg \cdot kg^{-1}$  szintjén 0,4 egységgel csökkent a vizes szuszpenzióban mért pH-érték. Ugyanez a csökkenés csupán 0,1 egységnyi volt a nagy pufferkapacitású ragályi agyagos vályogtalajon.

A másik oldalról, a bázikus nyersfoszfátok meszező hatása is erőteljesebben érvényesült a savanyú homoktalajon: 0,5 egységgel nőtt a pH( $H_2O$ ) a nyersfoszfát-kezelések átlagában az 1600  $mg \cdot kg^{-1}$  szinten az NK-hoz képest. Ugyanez a növekedés csupán 0,1 egységnyi volt az agyagos vályogtalajon.

A két talaj eredeti P-ellátottságában meglevő különbség a P-hatások mértékében is megmutatkozott. Míg a nyírlugosi gyenge P-ellátottságú homoktalajon a nyersfoszfátok átlagában 2,6  $g \cdot edény^{-1}$ , a szuperfoszfát-kezelésekben (az SSP- és az SSP+ $CaCO_3$ -kezelések átlagában) 2,4  $g \cdot edény^{-1}$  volt a különbség az 1600 mg

$P_2O_5 \cdot kg^{-1}$  adag és a NK (P-kontroll) tavaszi árpa hajtástömege között, addig ugyanezek a terméstöbbletek 4,1, ill. 5,0 g·edény<sup>-1</sup> voltak az igen gyenge P-ellátottságú ragályi agyagos vályogtalajon.

A nyírlugosi savanyú homoktalaj sokkal kisebb pufferkapacitása abban is nyilvánvalóvá vált, hogy az ezen a talajon nőtt bokrosodáskori tavaszi árpa hajtás P-koncentrációja sokkal erőteljesebben növekedett (0,27%-kal a nyersfoszfát-, 1,40%-kal a szuperfoszfát-kezelések átlagában), mint a nagyságrenddel nagyobb pufferkapacitású ragályi savanyú agyagos vályogtalajon nőtt tavaszi árpáé (0,19, ill. 0,83%-kal a nyersfoszfát-, ill. szuperfoszfát-kezelések átlagában), ugyancsak az 1600 mg  $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$  adag és az NK (P-kontroll) különbségeként.

A tavaszi árpa hajtástömegekben mért P-hatásokban a két talajon meglévő különbségek jelentősen mérséklődtek, ill. ki is egyenlítődték a felvett P-ben kifejezett P-hatásokban. Míg a nyírlugosi gyenge P-ellátottságú homoktalajon a nyersfoszfátok átlagában 12,0 mg P·edény<sup>-1</sup>, a szuperfoszfát-kezelésekben 60,1 mg P·edény<sup>-1</sup> volt a különbség az 1600 mg  $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$  adag és az NK- (P kontroll) kezelés tavaszi árpával felvett P-mennyisége között, addig ugyanezek a felvett P-többletek 14,7, ill. 58,3 mg P·edény<sup>-1</sup> voltak az igen gyenge P-ellátottságú ragályi agyagos vályogtalajon.

Mindenképpen figyelemre méltó, hogy amíg az NK-kezeléshez képest az 1600 mg  $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$  szinten a tavaszi árpa hajtástömeg terméstöbbleteiben kifejezett P-hatásokban alig volt különbség a két fő P-forma (citrát-oldható nyersfoszfátok, és vízdoldható szuperfoszfátok) átlagaiban, addig a hajtás P%-okban és a felvett P mennyiségében többszörös különbségek alakultak ki a vízdoldható P-forma javára. Feltételezhető, hogy amíg a citrát-oldható P-frakciójú nyersfoszfátok nagyobb, melioratív adagjai együttes P-, ill. meszező hatása a vízdoldható szuperfoszfát P-hatásával a hajtástömeg növelésében hasonló volt, a növényi P-tartalom növelésében a gyengébb P-oldékonyságú nyersfoszfátok már nem voltak „méltó vetélytársai” az extrém nagy luxus P-felvételt mutató vízdoldható szuperfoszfátnak. Itt jegyezzük meg ugyanakkor, hogy ez a luxus P-felvétel nem eredményezett további hajtástömeg növekedést. A kísérlet második felében, a virágzáskori fejlettségben betakarított, később közlendő tavaszi árpa eredmények további információval szolgálhatnak majd arról, hogy a növény a fejlődés későbbi szakaszában is hasonló trendeket mutat-e.

### Összefoglalás

Tenyészedény-kísérletben savanyú homoktalajon (Nyírlugos) és savanyú agyagos vályogtalajon (Ragály) hat nyersfoszfát (algériai, floridai, é-karolinai, szenegáli, marokkói nyersfoszfát és hyperfoszfát) hatását vizsgáltuk a bokrosodáskori tavaszi árpa hajtástömegére, P-koncentrációjára és P-felvételére. Standard P-forrásként szuperfoszfátot alkalmaztunk. Külön kezelésben a szuperfoszfát mellett adagolt  $CaCO_3$  hatását is tanulmányoztuk.

A kísérlet átlagában az árpa hajtástömege csaknem kétszerese volt a kolloidban gazdag ragályi agyagos vályogtalajon (3,69 g·edény<sup>-1</sup>), mint a kolloidban szegény

nyírlugosi homoktalajon ( $1,90 \text{ g}\cdot\text{edény}^{-1}$ ). P-felvétele viszont az agyagos vályogtalajon a kísérlet átlagában csak 25%-kal volt nagyobb ( $13,0 \text{ mg P}\cdot\text{edény}^{-1}$ ), mint a homoktalajon ( $10,4 \text{ mg P}\cdot\text{edény}^{-1}$ ). Ennek oka a ragályi talajhoz képest a nyírlugosi talajon nött árpahajtásnak a nyersfoszfátkezelésekben kapott átlagosan csaknem 0,1%-kal nagyobb, a szuperfoszfát- és a szuperfoszfát+CaCO<sub>3</sub>-kezelésben 0,2–0,3%-kal nagyobb P-koncentrációja volt.

A nyersfoszfátfeleségek függvényében, mindkét talajon, a hatóanyag-azonosság elvén beállított 0–100–400–1600 mg összes P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>·kg<sup>-1</sup> adagok hatására eltérő P-hatások jelentkeztek. A hozamtöbbletekben és P-felvételben megnyilvánuló P-hatás különbségek szoros összefüggést mutattak az egyes nyersfoszfátok P-oldékonyságában megnyilvánuló különbségekkel. Így mindkét talajon a kiváló természetes oldékonyságú algériai nyersfoszfátkezelés eredményezte a legnagyobb terméstöbbleteket és P-felvételt. Szintén hatékonyak bizonyult a hyperfoszfát, a marokkói és az é-karolinai nyersfoszfát. A másik végletet a kis fajlagos felülettel, alacsony P-oldhatósággal, kis mésztartalommal rendelkező szenegáli, és részben a floridai nyersfoszfát jelentette. A nyersfoszfátok közötti különbségek jól jellemezhetők a relatív agronómiai hatékonysággal (RAE%) is, amikor a nyersfoszfát hatását egy vízdoldható P-műtrágya – kísérletünkben szuperfoszfát (SSP) – hatásához viszonyítjuk. A két talaj, és az árpa hajtástömege, ill P-felvétele alapján számolt RAE% átlagában, a nyersfoszfátok relatív agronómiai hatékonyságának sorrendje megegyezik a nyersfoszfátok semleges ammónium-citrátban mért oldhatósági sorrendjével.

A nyersfoszfát oldhatósága és a bokrosodáskori tavaszi árpa hajtástömege, illetve P-felvétele közötti összefüggést vizsgálva mindkét talajon a leglazább összefüggést akkor kaptuk, ha a kijuttatott P-adagokat az összes-P-tartalom alapján adtuk meg, a legszorosabbat pedig akkor, amikor a nyersfoszfátok semleges ammónium-citrát oldható P-frakciójával kijuttatott mennyiségeket vettük figyelembe. Ez, valamint a nyersfoszfátok relatív agronómiai hatékonysági sorrendje arra enged következtetni, hogy kísérletünkhöz hasonló körülmények között a semleges ammónium-citrát a legjobb extrahálószer a vizsgált nyersfoszfátok közötti P-oldhatósági sorrend megállapításához.

Az egyes nyersfoszfátok hatását külön-külön vizsgálva a tavaszi árpa P-felvételére megállapítható, hogy a P-hatás különbségek szoros összefüggést mutattak az egyes nyersfoszfátok tulajdonságaiban (P-oldékonyság, fajlagos felület, CaCO<sub>3</sub>-tartalom) meglévő különbségekkel mindkét talajon.

**Kulcsszavak:** eltérő P-oldhatóságú nyersfoszfátok, szuperfoszfát, hatóanyag-azonosság, tavaszi árpa P-tartalom, relatív agronómiai hatékonyság

A dolgozat a T038046 sz. OTKA pályázat támogatásával készült.

**Irodalom**

- BERGMANN, W., 1992. Nutritional Disorders of Plants: Development, Visual and Analytical Diagnosis. Gustav Fisher. Jena–Stuttgart–New York.
- BÉSÁN J.-NÉ, 1992. Nyersfoszfát bázisú műtrágyák szerepe a gazdaságos műtrágyázásban. *Agrofórum* 1992/1. különszám 41–43.
- BRAITHWAITE, A. C., EATON, A. C. & GROOM, P. S., 1990. Factors affecting the solubility of phosphate rock residues in 2% citric acid and 2% formic acid. *Fert. Res.* **23**, 37–42.
- CARO, J. H. & HILL, W. L., 1956. Characteristics and fertilizer value of phosphate rock from different fields. *J. Agric. Food Chem.* **4**, 684–687.
- CHIEN, S. H., 1993. Solubility assessment for fertilizer containing phosphate rock. *Fert. Res.* **35**, 93–99.
- CHIEN, S. H. & HAMMOND, L. L., 1978. A comparison of various laboratory methods for predicting the agronomic potential of phosphate rocks for direct application. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **42**, 935–939.
- CSATHÓ P., 2003. Őszi búza P-hatásokat befolyásoló tényezők vizsgálata az 1960 és 2000 között publikált hazai szabadföldi kísérletek adatbázisán. *Növénytermelés.* **52**, 679–701.
- CSATHÓ, P. et al., 2006. The effect of phosphate rocks on spring barley shoot yield in a pot trial. *Agrokémia és Talajtan.* **55**, 193–202.
- CSILLAG J. et al., 2005. Nyersfoszfát- és savkezelés hatása a talajoldat toxikus elem koncentrációira laboratóriumi kísérletben. *Agrokémia és Talajtan.* **54**, 325–340.
- CSILLAG, J. et al., 2006a. Trace metal concentrations in the liquid phase of phosphate rock-treated soils. *Agrokémia és Talajtan.* **55**, 203–212.
- CSILLAG, J. et al., 2006b. Extraction and analysis of soil solution of phosphate rock and acid treated soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* **37**, 2339–2350.
- ENGELSTAD, O. P., JUGSUJINDA, A. & DE DATTA, S. K., 1974. Response by flooded rice to phosphate rocks varying in citrate solubility. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* **38**, 524–529.
- FILEP GY., 1999. Talajtani alapismeretek. II. Talajrendszertan és alkalmazott talajtan. Debreceni Agrártudományi Egyetem Mezőgazdaságtudományi Kara. Debrecen.
- 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.
- KHASAWNEH, F. E. & DOLL, E. C., 1978. The use of phosphate rock for direct application. *Adv. Agron.* **30**, 159–206.
- KRÁMER M., 1962. Adatok az északafrikai (Hyper) és izraeli (Cyklon) foszfátok műtrágyahatásáról. I. Az oldhatóság laboratóriumi vizsgálata. *Agrokémia és Talajtan.* **11**, 345–354.
- KRÁMER M., 1963. Adatok az északafrikai (Hyper) és izraeli (Cyklon) foszfátok műtrágyahatásáról. II. Szemcsefinomság és fajlagos felület vizsgálata. *Agrokémia és Talajtan.* **12**, 275–283
- KRÁMER M. & LAMBERGER I., 1965. Hazai adatok a nyersfoszfátok érvényesüléséről. *MTA Agrártud. Oszt. Közlem.* **24**, 119–124.



- KUCEY, R. & BOLE, J., 1984. Availability of phosphorus from 17 rock phosphates in moderately and weakly acidic soils as determined by  $^{32}\text{P}$  dilution, E value, and total P uptake methods. *Soil Sci.* **138**. 180–188.
- LÉON, L. A., FENSTER, W. E. & HAMMOND, L. L., 1986. Agronomic potential of eleven phosphate rocks from Brazil, Colombia, Peru, and Venezuela. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* **50**. 798–802.
- MACKAY, A. D., SYERS, J. K. & GREGG, P. E. H., 1984. Ability of chemical extraction procedures to assess the agronomic effectiveness of phosphate rock materials. *N. Z. J. Agric. Res.* **27**. 219–230.
- MÁRTONFFY T. & PEKÁRY K., 1978. Az egyedi és összetett műtrágyák, valamint a hyperfoszfát tápanyag-hatásának összehasonlítása az Egységes Országos Műtrágyázási Tartamkísérletek keretében. *Növénytermelés.* **27**. 247–254.
- NÉMETH, T. et al., 2002. Long-term field evaluation of phosphate rock and superphosphate use strategies in acid soils of Hungary: Two comparative field trials. *Nutrient Cyclings in Agro-Ecosystems.* **63**. 81–89.
- OSZTOICS A.-NÉ, CSATHÓ P. & NÉMETH T., 1997. Az algériai nyersfoszfát és a szuperfoszfát hatásának vizsgálata. I. A foszfortrágyák összehasonlító vizsgálata a tavaszi árpa termésére és foszfortartalmára tenyészedény-kísérletben különböző talajokon. *Agrokémia és Talajtan.* **46**. 289–310.
- OSZTOICS E., CSATHÓ P. & RADIMSZKY L., 2004. Az algériai nyersfoszfát és a szuperfoszfát hatásának vizsgálata. IV. A talajtulajdonságok, a foszforforma és foszforadag hatása a vörös here Mn-, Ni-, Al- Co- és Mo-koncentrációjára tenyészedény-kísérletben. *Agrokémia és Talajtan.* **53**. 125–142.
- OSZTOICS E., CSATHÓ P. & RADIMSZKY L., 2005a. Az algériai nyersfoszfát és a szuperfoszfát hatásának vizsgálata. V. A talajtulajdonságok és a foszfortrágyák hatása a tavaszi árpa (*Hordeum vulgare*) Cd-, Cr-, Co-, Ni-, Sr-, Mn-, Al- és Mo-koncentrációjára tenyészedény-kísérletben. *Agrokémia és Talajtan.* **54**. 105–120.
- OSZTOICS A.-NÉ et al., 2001. Az algériai nyersfoszfát és a szuperfoszfát hatásának vizsgálata. II. A foszfortrágyák hatása a vöröshere termésére és foszfortartalmára tenyészedény-kísérletben. *Agrokémia és Talajtan.* **50**. 247–266.
- OSZTOICS A.-NÉ et al., 2003. Az algériai nyersfoszfát és a szuperfoszfát hatásának vizsgálata. III. A talajtulajdonságok, a foszforforma és a foszforadag hatása a vöröshere Cd-, Cr- és Sr-koncentrációjára tenyészedény-kísérletben. *Agrokémia és Talajtan.* **52**. 363–382.
- OSZTOICS E. et al., 2002. A nyersfoszfát, mint közvetlen P-trágya alkalmazásának feltételei és agronómiai hatása. *Agrokémia és Talajtan.* **51**. 505–535.
- OSZTOICS, E. et al., 2005b. Influence of phosphate fertilizer sources and soil properties on trace element concentrations of red clover (*Trifolium pratense* L.). *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* **36**. 557–570.
- OSZTOICS E. et al., 2005c. 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 oldékony-

- sága, és a vörös here termése, valamint P-felvétele között. *Agrokémia és Talajtan*. **55**. 415–432.
- OSZTOICS, E. et al., 2006c. Effect of six reactive phosphate rocks on trace element concentration of red clover (*Trifolium pratense* L.) in pot trials. In: Proc. Int. Symp. on Trace Elements in the Food Chain. (Eds.: SZILÁGYI, M. & SZENTMIHÁLYI, K.) 345–349. Budapest.
- OSZTOICS E. et al., 2007. Nyersfoszfátok agronómiai hatékonyságának vizsgálata tenyészedény-kísérletben. III. A talaj könnyen oldható P-tartalmának meghatározása FeO- és hagyományos módszerekkel. *Agrokémia és Talajtan*. **56**. 107–126.
- RAJAN, S. S. S., WATKINSON, J. H. & SINCLAIR, A. G., 1996. Phosphate rocks for direct application to soils. *Adv. Agron.* **57**. 77–159.
- RAJAN, S. S. S. et al., 1992. Extractable phosphorus to predict agronomic effectiveness of ground and unground phosphate rocks. *Fert. Res.* **32**. 291–302.
- SARKADI J., 1960. Kísérletek különféle foszfátműtrágyákkal. *Növénytermelés*. **9**. 159–167.
- SIK, K., 1964. Vergleichende Dauerversuche mit feingranulierten Rohphosphaten auf drei Bodentypen in Ungarn. *Agrokémia és Talajtan*. **13**. Suppl. 139–146.
- STEFANOVITS P., FILEP GY. & FÜLEKY GY., 1999. *Talajtan*. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- TAKÁCS, T. et al., 2006. Comparative effects of rock phosphates on arbuscular mycorrhizal colonization of *Trifolium pratense* L. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* **37**. 2779–2790.
- VÉGH, K. R. et al., 2006. Effect of five phosphate rocks on the bio-availability of phosphorus and cadmium. *Cereal Research Communications*. **34**. (1) 347–350.
- WATKINSON, J. H., 1994. A test for phosphate rock reactivity in which solubility and size are combined in a dissolution rate function. *Fert. Res.* **39**. 205–215.
- 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*. IAEA-TEDOC-1272. 294–302.

*Érkezett: 2007. február 12.*

**Pot experiments on the agronomic efficiency of rock phosphates.**  
**IV. Effect of rock phosphates on the shoot yield and P uptake of spring barley at tillering**

<sup>1</sup>P. CSATHÓ, <sup>1</sup>E. OSZTOICS, <sup>1</sup>J. CSILLAG, <sup>2</sup>T. LENGYEL, L. <sup>2</sup>GODA, <sup>1</sup>L. RADIMSZKY,  
<sup>1</sup>G. BACZÓ, <sup>1</sup>M. MAGYAR, <sup>1</sup>K. RAJKAI-VÉGH, <sup>1</sup>T. TAKÁCS and <sup>1</sup>A. LUKÁCS

<sup>1</sup>Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest and <sup>2</sup>Nitrogen Works Shareholding Co., Pétfürdő (Hungary)

**Summary**

A pot experiment was set up using acidic sandy soil from Nyírlugos and acidic clay loam soil from Ragály to investigate the effect of five types of rock phosphates (from Algeria, Florida, N. Carolina, Senegal and Morocco) and hyperphosphate on the shoot yield, P concentration and P uptake of spring barley at tillering. Superphosphate was used as the standard P source. The effect of applying CaCO<sub>3</sub> in combination with superphosphate was also examined in a separate treatment.

Averaged over the experiment, the shoot yield of barley was almost twice as high on the colloid-rich clay loam soil from Ragály (3.69 g·pot<sup>-1</sup>) as on the colloid-poor sandy soil from Nyírlugos (1.90 g·pot<sup>-1</sup>). The P uptake, however, was only 25% higher on average on the clay loam soil (13.0 mg P·pot<sup>-1</sup>) as on the sandy soil (10.4 mg P·pot<sup>-1</sup>). This could be attributed to the fact that on the Nyírlugos soil the P concentration of the barley shoots was almost 0.1% higher on average in the rock phosphate treatments and 0.2–0.3% higher in the superphosphate and superphosphate+CaCO<sub>3</sub> treatments.

Diverse P effects were observed on both soils when total P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> rates of 0–100–400–1600 mg·kg<sup>-1</sup>, adjusted on the principle of active agent equivalence, were applied using the different rock phosphate types. The differences between the P effects manifested as yield surpluses and P uptake exhibited a close correlation with differences in the P solubility of the different rock phosphates. On both soils the Algerian rock phosphate, which had excellent natural solubility, gave the greatest yield surpluses and P uptake on both soils. Hyperphosphate and the rock phosphates from Morocco and N. Carolina were also efficient. The other extreme was represented by the rock phosphates from Senegal and, to a certain extent, from Florida, which had low specific surface area, poor P solubility and low CaCO<sub>3</sub> content. The differences between the rock phosphates can also be described in terms of relative agronomic efficiency (RAE%), when the effect of the rock phosphate is compared with that of a water-soluble P fertilizer, in the present case superphosphate (SSP). Averaged over the two soils and over RAE% values calculated in terms of barley shoot yield or P uptake, the ranking of the rock phosphates based on RAE was the same as that based on their solubility in neutral ammonium citrate.

When correlations were analysed between the solubility of rock phosphate and the shoot yield or P uptake of spring barley at tillering, the loosest correlations on both soils were observed when the P rates applied were given in terms of total P content and the closest when the quantities were expressed as the P fraction soluble in neutral ammonium citrate. Together with the ranking of the rock phosphates on the basis of relative agronomic efficiency, this suggests that under conditions similar to those of the present

experiments the best extracting agent for determining the P solubility of rock phosphates is neutral ammonium citrate.

When the effects of the individual rock phosphates on the P uptake of spring barley were examined separately, the differences in P effects were found to exhibit a close correlation with differences in the various properties of the rock phosphates (P solubility, specific surface, CaCO<sub>3</sub> content) on both soils.

*Table 1.* Effect of P sources [rock phosphates (PR), superphosphate (SSP) and superphosphate + calcium carbonate (SSP+Ca)] and rates on the shoot yield of spring barley at tillering (g·pot<sup>-1</sup>). (1) P rate (total) mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>·kg<sup>-1</sup>. a) LSD<sub>5%</sub>, b) Mean. (2) Rock phosphates. (3) Mean. (4) P forms. (5) LSD<sub>5%</sub>. *Note:* Rock phosphates: ALG: Algeria; FLO: Florida; É.KA: North Carolina; SEN: Senegal; MAR: Morocco; HYP: hyperphosphate.

*Table 2.* Effect of P sources [rock phosphates (PR), superphosphate (SSP) and superphosphate + calcium carbonate (SSP+Ca)] and rates on the P content of spring barley shoots at tillering (%). (1)–(5) and *Note:* see Table 1.

*Table 3.* Effect of P sources [rock phosphates (PR), superphosphate (SSP) and superphosphate + calcium carbonate (SSP+Ca)] and rates on the P uptake of spring barley shoots at tillering (mg P·pot<sup>-1</sup>). (1)–(5) and *Note:* see Table 1.

*Table 4.* Closeness of the correlation (r<sup>2</sup>) between the P quantities applied with six rock phosphate fractions of different solubility and the shoot yield of spring barley at tillering (A) (by fitting the function  $y = a \cdot \ln x + b$ ) and between the P quantities applied and the P uptake of spring barley (B) (by fitting the function  $y = a \cdot \ln x - b$ ) (n = 18 without the NK treatments). (1) Fraction: from top to bottom: soluble in 65% HNO<sub>3</sub> + 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; soluble in 2% citric acid; soluble in 2% formic acid; soluble in neutral NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-citrate. (2) Acidic sandy soil (Nyírlugos). (3) Acidic clay loam soil (Ragály).

*Table 5.* Relative agronomic efficiency (RAE%) of the rock phosphates in terms of the phosphorus taken up by spring barley shoots. (1) P source. Rock phosphates from a) Algeria; b) Florida; c) N. Carolina; d) Senegal; e) Morocco; f) Hyperphosphate; g) Rock phosphate mean; h) Superphosphate (SSP); i) P forms mean. (2) Acidic sandy soil (Nyírlugos). (3) P rate (total) mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>·kg<sup>-1</sup>. (4) Mean. (5) Acidic clay loam soil (Ragály).

*Fig. 1.* Correlation between the P quantity applied, as total P or the fraction soluble in neutral NH<sub>4</sub>-citrate, and the shoot yield of spring barley at tillering (A, B), and between the P quantity applied, as total P or the fraction soluble in neutral NH<sub>4</sub>-citrate, and the P uptake (C, D) on acidic sandy soil (Nyírlugos).

*Fig. 2.* Correlation between the P quantity applied, as total P or the fraction soluble in neutral NH<sub>4</sub>-citrate, and the shoot yield of spring barley at tillering (A, B), and between the P quantity applied, as total P or the fraction soluble in neutral NH<sub>4</sub>-citrate, and the P uptake (C, D) on acidic clay loam soil (Ragály).