

A monokalciumfoszfát oldhatóságának és hatásának időbeli változása homoktalajokon

A. A. AL-ASHTAR, SARKADI JÁNOS és THAMM FRIGYESNÉ

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest

Közismert, hogy a talajba adott foszfátokból képződő vegyületek meta-stabilok és idővel mind állandóbb, kevésbé oldható, a növények által kevésbé felvehető formákká alakulnak. Ennek, a részleteiben még nem teljesen ismert folyamatnak többféle elnevezése - mint pl. reverzió, retrogradáció, fixáció, ill. megkötődés, előregedés stb. - ismeretes. Célszerűnek látszik a kémiai, fiziko-kémiai módszerekkel mért "szorbeált" vagy "megkötött" foszfor változását megkülönböztetni a növénykísérletekkel mért hatékonyság csökkenésétől. Számos szerző, így pl. MATZEL és RICHTER /1982/ terminológiai javaslatukban a növények által "nehezen felvehetővé" vált trágya-foszfort fixált foszfor-nak nevezi. Mások viszont fixálás vagy fixáció alatt a különböző oldószerekben történő oldhatóság csökkenését értik. Ez gyakran együtt jár a növények termésének, ill. a P-felvételének csökkenésével, de nem mindig.

A magyar nyelvű szakirodalomban is célszerűnek látszik, ha e két jelenséget elválasztjuk egymástól. Az oldhatóság csökkenését szorpciónak, megkötődésnek, a növények általi felvehetőség csökkenését pedig "hatékonyságcsökkenésnek" vagy öregedésnek /aging, Alterung/ nevezzük. A hatékonyságcsökkenését elsősorban a talajtulajdonságok, a környezeti viszonyok és a talajba adott foszfor jellemzői befolyásolják /OLSEN, 1953/. LARSEN és munkatársai /1965/ szerint a vizsgált britanniai szabadföldi kísérletekben a foszfor öregedését exponenciális görbével, ill. az öregedés felezési idejével lehatott jellemezni. LARSEN /1967/ is megjegyzi azonban, hogy modell- és tenyészedeny-kísérletekben szabatosabban lehet az öregedést vizsgálni. Ez tünik ki pl. LEWIS és munkatársai /1950/, BARROW /1974/, SUNTHEIM és munkatársai /1987/ tenyészedeny-kísérleteiből is.

Jelen munkában homoktalajok CaCO_3 -tartalmának és P-ellátottságának szerepét kívántuk modellkísérletekben tanulmányozni.

Anyag és módszer

1986 őszén az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete Őrbottyáni Kísérleti Telepén beállított tartamkísérletek kontroll- és NPK-kezelések karbonátos és nem karbonátos parcelláinak feltalajából talajmintákat gyűjtöttünk be. A talajok fontosabb jellemzőit az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat
A talajok fontosabb jellemzői

/1/ Talajtulajdonság	/2/ A talaj száma és kezelés jele			
	1. /φ/	2. NPK	3. /φ/	4. NPK
pH(KCl)	6,8	6,1	7,8	7,8
CaCO ₃ %	nyom	0,0	6,1	7,8
AL-Ca, %	0,1	0,09	1,87	2,70
AL-K ₂ O mg/kg	52	150	54	123
AL-P ₂ O ₅ , mg/kg	40	190	73	260
NaHCO ₃ -P, mg/kg	7	48	7	36
H ₂ O-P, mg/kg	nyom	24	nyom	16
a/ Humusz, %	0,45	0,45	0,24	0,30
b/ Durva homok /> 0,25 mm/	46,4	41,0	52,2	53,0
c/ Finom homok /0,25-0,02 mm/	45,9	50,3	45,5	42,9
d/ Iszap /0,02-0,002 mm/	5,2	7,0	2,2	3,8
e/ Agyag % /< 0,002 mm/	2,5	1,7	0,1	0,3

A négy, egyenként mintegy 120 kg tömegű talajt szárítás után gondosan homogenizáltuk, majd 3-3 részre osztottuk. Mindegyik talaj első harmada 2,3 kg-os adagjaihoz 1986. december 16-án Ca(H₂PO₄)₂-oldat formájában 0, 20, 40, 80 és 160 mg/kg foszfort adtunk. A kezeléseket 3 ismétlésben állítottuk be. A patogén gombák elszaporodásának meggátolására minden talajhoz 10 cm³ 1 %-os orthocid-olajat adtunk, majd a keverékekből 100-100 g mintát vettünk. A talajokat desztillált vízzel a maximális vízkapacitás 60 %-ára benedvesítettük és nyitott tálakban helyeztük el. Az elpárolgott vizet 2-3 naponként súlymérés alapján pótoltuk. A talajokat 20-25 °C-on 6 hónapig érleltük. Közben 3-havi érlelés után, majd az érlelés végén minden tál 10-10 helyéről vett részminták összekeverésével kb. 100-100 g tömegű átlagmintákat készítettünk.

A talajok második harmadához 1987. március 16-án adtuk az előzőekhez hasonlóan a P-adagokat. Újabb 3 hónap múlva, június 24-én a harmadik harmadhoz kevertük a P-adagokat. Minden egyes bekeverés után, ill. az érlelés végén talajmintákat vettünk az előzőekben leírtak szerint /összesen 6x60 = 360 mintát/.

Az utolsó mintavétel után kiszárított, 2 mm-es szitán átszitált talajokból egységesen 1,8 kg-ot 2 l-es, alul lyuggatott, 500 g mosott kvarchomokot tartalmazó műanyag edényekbe töltöttünk. 1987. július 1-én 8 szem Pi 3901 kukorica hibridet vetettünk az edényekbe, majd kelés után 5 növényre egyeltünk. Alaptrágyaként 83 mg N/kg és 125 mg K/kg adagot adtunk KNO₃ és (NH₄)₂SO₄-oldat formájában. A N- és K-adagolást a tenyészidő alatt még háromszor megisméltettük. Az edényeket desztillált vízzel a szükség szerinti gyakorisággal öntöttük úgy, hogy a talajok nedvességtartalma a vízkapacitás kb. 60 %-a körül ingadozzék. Az edényeket tenyészházban a 3-tényezős split-split-plot elrendezés szerint helyeztük el. A kezeléseik száma 60 /4 talaj, 3 érlelési idő, 5 P-szint/, ismétlés 3, összesen 180 edény. A növények föld feletti részét 1987. július 30-án vágtuk le, majd 60 °C-on kiszárítottuk a hajtásokat és légszáraz állapotban megmértük a tömegüket.

A talajminták AL-oldható P-, K- és Ca-tartalmát SARKADI és munkatársai /1965/, ill. FACZÓNÉ /1987-1988/, a NaHCO₃-oldható P-t OLSEN és munkatársai /1954/, ill. WATANABE és OLSEN /1965/ szerint határoztuk meg. A vízdoldható-P mérése SISSINGH /1971/, ill. SCHACHTSCHABEL /1966/ nyomán az alábbiak szerint

történt: 4 g talajt 200 cm³ 10 mg/l poliacrilamidot tartalmazó desztillált vízzel 2 óráig rázattunk és a szüredék P-tartalmát MURPHY és RILEY /1962/ módszerével meghatároztuk. A talaj könnyen oldható Cu-, Mn- és Zn-tartalmát a TVG módszerfüzet /1978/ szerint készített KCl+EDTA kivonatból atomadszorpcióval, manuálisan határoztuk meg.

A növények NPK-tartalmát H₂SO₄-as + H₂O₂-os roncsolás után FÜLEKY /1970/, ill. THAMMÉ és munkatársai /1968/ szerint határoztuk meg. Ugyancsak a kénsavas roncsolmányokból mértük meg atomadszorpcióval a Mn-, Cu- és Zn-tartalmakat. A különbségek megbízhatóságát variancia-analízissel értékeltük.

Az eredmények értékelése

Talaj-P vizsgálati adatok

A 2. táblázatban - ahol mind a 3 oldószerben oldható foszfátot elemi P formájában adtuk meg - a 6 hónapos érlelési időhöz tartozó értékeket az első, decemberi P-bekeverés 3 ismétlésének átlagából, a 3-hónapos adatokat az első és második bekeverés 2x3 = 6 ismétlésének átlagából, a 0 hónapos, azaz érlelés nélküli - a bekeverés után legfeljebb 1-2 napig száradó - talajok elemzési adatait az első, második és harmadik P-adagolás összesen 9 ismétlésének átlagából számoltuk. /A közölt SzD-értékek a 0 és 6 hónapos eredmények közötti különbségekre vonatkoznak./

2. táblázat

A talajok AL-, NaHCO₃- és H₂O-P tartalma a különböző érlelési idők után

/1/ P-adag mg/kg	/2/ Az érle- lés ide- je, hó- nap	AL-P, mg/kg				NaHCO ₃ -P, mg/kg				H ₂ O-P, mg/kg			
		1.	2.	3.	4.	1.	2.	3.	4.	1.	2.	3.	4.
		/3/ számú talajban											
0	0	17	83	32	114	7	48	7	36	ny	24	ny	16
	3	16	76	31	110	6	46	6	32	ny	21	ny	13
	6	16	82	32	113	6	46	6	32	ny	21	ny	10
	a/ SzD _{5%}	2	5	2	6	2	5	1	3	-	2	-	3
20	0	29	96	49	128	14	60	19	51	7	35	12	27
	3	27	87	44	126	12	56	15	42	4	27	8	18
	6	28	92	44	128	12	55	15	42	3	25	6	18
	a/ SzD _{5%}	2	8	5	4	2	4	2	4	2	2	3	2
40	0	42	117	62	147	21	66	32	66	19	45	21	36
	3	36	105	59	143	19	63	25	55	11	34	16	24
	6	38	107	59	145	18	62	24	53	9	31	17	22
	a/ SzD _{5%}	5	6	4	8	2	5	3	4	2	3	10	2
80	0	69	144	90	182	41	91	59	92	36	62	47	60
	3	62	128	90	178	37	82	51	80	25	47	32	41
	6	65	127	87	179	33	81	50	78	24	41	27	29
	a/ SzD _{5%}	8	7	11	9	6	13	8	8	4	4	3	5
160	0	127	212	165	254	89	125	119	155	73	97	99	112
	3	112	186	156	252	72	113	99	128	49	67	70	65
	6	118	185	155	252	71	108	86	103	48	57	49	39
	a/ SzD _{5%}	9	14	10	6	8	10	15	10	9	5	4	6

Közismert, hogy minél erőteljesebb oldószert használunk, annál kisebb a kivont foszfor relatív változása. Esetünkben is az AL-P a karbonátos, igen gyengén humuszos, 1 %-nál kevesebb agyagot tartalmazó talajokon a 6-havi érlelés után sem csökkent igazolhatóan és csak a nem karbonátos, valamint több kolloidot tartalmazó talajokban, főleg a nagyobb P-adagok bekeverése után mutatkozott az AL-P oldhatóságának kismértékű csökkenése. A NaHCO_3 -oldható-/Olsen-/P az esetek többségében már a 3-havi érlelés után is szignifikánsan csökkent. Leghatározottabban a vízdoldható-P változott. A karbonátos talajokon a nagyobb P-adagok esetében a 3-havi érlelés után még tovább csökkent a kioldott foszfor mennyisége.

A 3. táblázatban a könnyebb áttekinthetőség kedvéért az érlelési idők, ill. a P-adagok átlagában mutatjuk be a szorbeált P-t, az adott P %-ában. Látható, hogy az adott P már rögtön a talajba történő bekeverés után kisebb-nagyobb mértékben megkötődött, ill. a vizsgált oldószerben az adott viszonyok között nem-oldhatóvá vált. Az előbbieknél megfelelően a talajokhoz adott P szorpciója legkevésbé az AL-kivonattal, és legnagyobb mértékben a vizes kivonattal volt kimutatható.

A foszfor szorpciója az érlelési idő növekedésével - egy-két kivételtől eltekintve - mindhárom oldószerben növekedett. A P-szorpció %-a és az adott P, ill. a talaj eredeti P-tartalma között általában fordított összefüggés figyelhető meg. A várakozásunkkal bizonyos mértékig ellentétben, a 6-8 % CaCO_3 -tartalmú homoktalajokon kevésbé kötődött meg az adott P, mint a szabad CaCO_3 -ot nem, de több kolloidot tartalmazó talajokban.

Hasonló tendenciák figyelhetők meg a 4. táblázatban, ahol az egységnyi AL-, Olsen- és H_2O -P növelését eredményező monokalcium-foszfát mennyiségeket tüntettük fel.

3. táblázat
A különböző kivonatokban nem oldódott P az adott P %-ában

/1/ Talaj száma	/2/ P adag, mg/kg				/4/ érlelési idő /hónap/			/6/ Átlag
	20	40	80	160	0	3	6	
	/3/ az érlelési idők átlagában				/5/ a P adagok átlagában			
A. P_s % az AL-kivonatból								
1.	40	45	39	36	36	43	41	40
2.	43	27	34	29	23	35	42	33
3.	29	29	28	21	22	28	31	27
4.	24	18	16	12	19	15	19	18
a/ Átlag	34	30	29	24	25	30	33	29
B. P_s % a NaHCO_3 kivonatból								
1.	67	67	62	55	58	64	67	63
2.	49	56	52	57	47	55	58	54
3.	52	49	42	41	36	50	52	46
4.	40	37	38	40	26	43	48	39
a/ Átlag	52	52	48	48	42	53	56	50
C. P_2 % a vizes kivonatból								
1.	78	68	64	65	57	73	76	69
2.	67	63	65	68	50	69	78	66
3.	59	55	56	55	43	60	66	56
4.	58	63	62	63	44	70	71	62
a/ Átlag	66	62	62	63	48	68	73	63

4. táblázat
Egységnyi talaj-P növeléséhez szükséges trágya-P

/1/ Talaj száma	/2/ P adag, mg/kg				/3/ SzD _{5%}	/5/ Érlelési idő, hónap				
	20	40	80	160		0	3	6	/3/ SzD _{5%}	/6/ Átlag
/4/ az érlelési idők átlagában					/7/ a P-adagok átlagában					
<u>A. 1 mg/kg AL-P növeléséhez szükséges Ca(H₂PO₄)₂-P mg/kg</u>										
1.	1,7	1,8	1,6	1,6		1,6	1,8	1,7		1,7
2.	1,8	1,4	1,6	1,4		1,3	1,6	1,7		1,5
3.	1,4	1,4	1,4	1,3	0,1	1,3	1,4	1,5	0,1	1,4
4.	1,3	1,2	1,2	1,1		1,2	1,2	1,2		1,2
a/ SzD _{5%}			0,1					0,1		0,06
b/ Átlag	1,6	1,5	1,4	1,4	0,06	1,4	1,5	1,5	0,06	1,5
<u>B. 1 mg/kg NaHCO₃-P növeléséhez szükséges Ca(H₂PO₄)₂-P mg/kg</u>										
1.	3,1	3,1	2,6	2,3		2,4	2,8	3,1		2,8
2.	2,0	2,3	2,1	2,3		1,9	2,2	2,4		2,2
3.	2,1	2,0	1,7	1,7	0,2	1,6	2,0	2,1	0,2	1,9
4.	1,7	1,6	1,6	1,7		1,4	1,8	1,9		1,7
a/ SzD _{5%}			0,2					0,2		0,1
b/ Átlag	2,2	2,3	2,0	2,0	0,1	1,8	2,2	2,4	0,1	2,1
<u>C. 1 mg/kg H₂O-P növeléséhez szükséges Ca(H₂PO₄)₂-P mg/kg</u>										
1.	5,6	3,4	2,9	2,9		2,4	3,9	4,8		3,7
2.	3,8	3,0	3,1	3,4		2,0	3,2	4,6		3,3
3.	2,6	2,3	2,4	2,4	1,2	1,8	2,5	3,0	1,1	2,4
4.	2,7	3,0	3,0	3,5		1,8	3,3	3,8		3,0
a/ SzD _{5%}			1,2					1,1		0,6
b/ Átlag	3,7	2,9	2,8	3,0	0,6	2,0	3,3	4,1	0,5	3,1

A tenyészedénykísérlet eredményei

A talaj- és növényvizsgálatok eredményeinek jobb összehasonlíthatósága érdekében az edényenként 1,8 kg talajon termett növények tömegét és a felvett tápelemek mennyiségét 1 kg talajra számítottuk át. A légszáraz tömeg, a növények P %-a és a növények föld feletti részével felvett P adataiból számított háromtényezős variancia-analizisek szerint a főtenyezők, azaz a talaj /T/, a P-adag /P/ és az érlelési idő /É/, továbbá a TxP kölcsönhatások mind a három esetben erősen szignifikánsak voltak. A PxÉ és a TxPxÉ kölcsönhatások nem voltak igazolhatók.

Az 5. táblázatban közölt TxP kölcsönhatásokból, azaz talajonként, az érlelési idők átlagában közölt P-adagok okozta változásokból jól látható, hogy a P-trágyázás legjobban a foszforban szegény, semleges kémhatású, 1. jelű talajon, majd az ugyancsak foszforban szegény, de karbonátos 3. számú talajon növelte a növények tömegét. A foszforral jól ellátott talajokon a P-trágyázás már nem, vagy alig fokozta a növények tömegét.

A föld feletti részek P-tartalmát is elsősorban a P-szegény talajokon növelte a P-adagolás. A vegetatív részek P-luxusfelvételének következtében azonban szignifikáns többleteket kaptunk a foszforban gazdag talajokon is. Az adatokból az is látható, hogy a karbonátos, kolloidokban igen szegény ho-

5. táblázat
A kukorica növények légszáraz tömege, P tartalma és az átlagos P-hatások

/1/ Talaj száma	/2/ P adag, mg/kg talaj				/3/ Érlelési idő, hónap				/5/ Érlelési idő, hónap								
	0	20	40	80	160	SzD _{5%}	0	3	6	9	12	SzD _{5%}	0	3	6	9	SzD _{5%}
az érlelési idők átlagában																	
/4/ P ₀ -P ₁₆₀ átlagában																	
/7/ többlet a P ₀ -hoz a P ₂₀ -P ₁₆₀ átlagában																	
A. Légszáraz tömeg, g/kg talaj																	
1.	3,7	6,9	8,2	8,4	8,2		6,5	7,0	7,7	4,1	4,2	4,4					
2.	8,8	8,9	8,7	9,9	9,4		8,8	9,0	9,5	0,7	0,6	0,1					1,5
3.	4,0	5,9	6,4	7,4	6,6	0,9	5,6	5,7	6,9	0,6	2,4	2,8					
4.	7,6	7,2	7,2	7,0	7,2		6,8	7,3	7,6	-1,3	-0,2	0,2					
a/ SzD _{5%}			0,9					0,7			1,6						
B. P % a légszáraz növényekben																	
1.	0,16	0,20	0,24	0,31	0,34		0,26	0,25	0,24	0,11	0,11	0,11					
2.	0,28	0,31	0,34	0,35	0,40		0,35	0,33	0,32	0,06	0,07	0,07					0,05
3.	0,16	0,20	0,24	0,26	0,31	0,02	0,27	0,22	0,21	0,02	0,11	0,09					
4.	0,21	0,23	0,25	0,27	0,31		0,27	0,26	0,24	0,06	0,04	0,06					
a/ SzD _{5%}			0,03					0,02			0,05						
C. Felvett P, mg/kg talaj																	
1.	6	14	20	26	28		18	18	20	16	16	17					
2.	25	28	30	35	37		31	30	31	8	8	7					
3.	6	12	15	19	20	3	16	13	15	3	11	9					6
4.	16	17	18	19	22		18	19	18	1	1	2					
a/ SzD _{5%}			3				2				6						

mokokon nevelt növények tömege, P %-a és felvett P-tartalma igazolhatóan kisebb volt, mint a nem karbonátos, valamint több kolloidot tartalmazó talajokon nevelt növényeké.

A 0-160 mg/kg P-szintek átlagában közölt adatokból első pillantásra úgy tűnik, hogy a növények növekedése ellentétesen alakult a foszfor megkötődésével. A 6 hónapig érlelt talajokon növekedett növények tömege ugyanis nagyobb volt, mint a 3, illetve 0 hónapig érlelt talajokon termett növényeké. Ez a tény azonban minden valószínűség szerint nem közvetlenül a talajok P-szolgáltatásával kapcsolatos. A növények %-os P-tartalma például, a nem érlelt, illetve frissen trágyázott - főleg karbonátos - talajokon igazolhatóan nagyobb volt, mint a 3 és 6 hónapig érlelt talajokon termett növényeké. Így az érlelés ideje a növények P-felvételét, valamint az átlagos P-hatásukat - amint ez az 5. táblázat utolsó három oszlopából látható - nem befolyásolta igazolhatóan.

Szignifikánsan növekedett azonban az érlelés hatására a növények N- és Zn-tartalma /6. táblázat/. A N %-ok növekedése eléggé meglepő, mert minden edénybe összesen 332 mg nitrogént adtunk. A P-adagok hatására bekövetkezett N-növekedés SUMNER és FARINA /1986/ eredményeihez hasonlóan viszonylag jól magyarázható a pozitív NxP kölcsönhatással. Így jó összefüggés mutatkozott a növények tömege, valamint az N és P %-ok szorzata között /1. ábra/.

A növények Zn-tartalmából számított variancia-analízis szerint a főhatásokon kívül csak a TalajxÉrlelési idő kölcsönhatás volt szignifikáns, ezért a 7. táblázatban talajonként és érlelési időnként csoportosítottuk a növények és talajok Zn-tartalmát, illetve a növényekben a P/Zn arányokat. A talaj könnyen oldható-, és a növények Zn-tartalma közötti összefüggés ugyan nem teljesen egyértelmű, de valószínű, hogy az érlelés folyamán a P megkötődésével együtt a talaj Zn-szolgáltatása, ill. a növények Zn-felvétele növekedett és ez lehetett az egyik oka az érlelt talajokon a növények erőteljesebb növekedésének.

6. táblázat

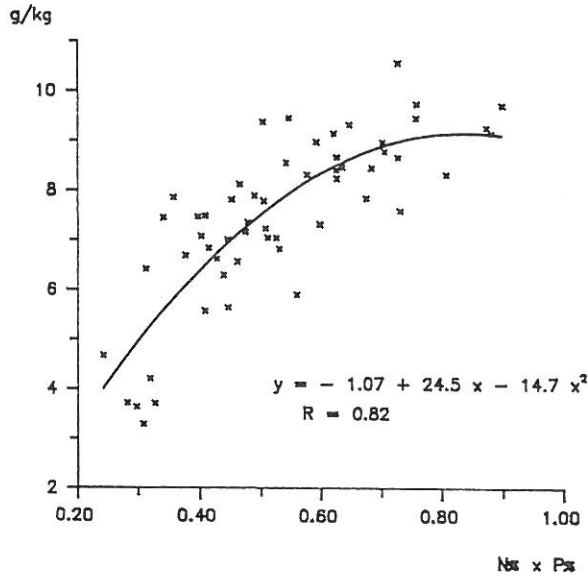
A kukorica föld feletti részeinek N-, K-, Mn-, Fe- és Zn-tartalma

/1/ Tényező	/2/ felvett										
	N	K	Mn	Fe	Zn						
	mg/kg talaj										
	%										
	ppm										
a/ Talaj	1.	2,05	3,11	65	152	27	147	214	0,46	1,11	0,19
	2.	2,08	3,19	98	191	20	190	290	0,90	1,74	0,18
	3.	1,96	3,23	67	225	19	120	194	0,41	1,38	0,12
	4.	1,90	3,36	66	218	23	138	244	0,43	1,57	0,17
c/ SzD _{5%}		0,03	0,06	2	21	5	11	17	0,04	0,12	0,01
P, mg/kg	0	1,87	3,51	67	165	25	113	209	0,42	1,04	0,15
	20	1,94	3,31	70	187	22	140	239	0,52	1,34	0,16
	40	2,01	3,24	74	246	27	154	246	0,57	1,84	0,21
	80	2,05	3,08	77	206	20	169	251	0,65	1,67	0,17
	160	2,12	2,97	81	179	18	168	232	0,65	1,37	0,14
c/ SzD _{5%}		0,04	0,07	2	24	5	9	14	0,04	0,09	0,01
b/ Érlelési idő, hónap	0	1,92	3,31	78	220	14	134	228	0,56	1,53	0,10
	3	1,99	3,17	72	185	21	145	228	0,53	1,36	0,15
	6	2,08	3,18	72	184	32	167	250	0,59	1,47	0,25
c/ SzD _{5%}		0,03	0,05	2	18	4	6	10	0,02	0,06	0,01

7. táblázat
A kukorica föld feletti részeinek és a talajok Zn-tartalma a P-adagok
átlagában

/1/ Érlelési idő, hónap	/2/ Talaj száma				/3/ SzD _{5%}	/4/ Átlag
	1.	2.	3.	4.		
<u>A. Zn, µg növény</u>						
0	13,2	12,5	16,1	15,4		14,3
3	22,0	23,5	18,3	19,1	7,9	20,7
6	46,2	23,5	22,0	35,2		31,7
a/ SzD _{5%}		7,9				3,9
b/ Átlag	27,2	19,8	18,8	23,2	4,6	
<u>B. Felvett Zn, mg/kg talaj</u>						
0	0,08	0,11	0,09	0,11		0,10
3	0,16	0,21	0,10	0,14	0,02	0,15
6	0,34	0,22	0,15	0,27		0,25
a/ SzD _{5%}		0,01				0,01
b/ Átlag	0,19	0,18	0,12	0,17	0,01	
<u>C. P/Zn arány</u>						
0	207	308	184	220		230
3	111	150	129	138	13	132
6	61	154	94	72		95
a/ SzD _{5%}		13				6
b/ Átlag	127	204	136	143	8	
<u>D. KCl-EDTA-oldható Zn, mg/kg talaj</u>						
0	1,39	1,10	0,90	0,83		1,06
3	1,51	1,08	0,87	0,73	0,08	1,05
6	1,78	1,32	0,99	0,84		1,23
a/ SzD _{5%}		0,08				0,04
b/ Átlag	1,56	1,17	0,92	0,80	0,04	

A fenti okok miatt ugyan nem lehet egyszerűen eldönteni, hogy melyik talajvizsgálati módszer jelzi jobban a megkötődéssel együtt a hatékonyságcsökkenést is, de a viszonylag nagyszámú adatot felhasználtuk a talaj könnyen oldható P-tartalma és a növények növekedése, valamint P-felvétele közötti összefüggések vizsgálatára. Mivel a kvadratikus regresszióból számított R-értékek az esetek többségében kisebb-nagyobb mértékben nagyobbak voltak a lineáris regressziókból számított r-értékeknél, a 8. táblázatban a kvadratikus korrelációs koefficienseket mutatjuk be. E táblázatból látható, hogy a növények tömegének és P-tartalmának alakulását - régebbi tapasztalatainkkal egyezően /SARKADI és THAMM, 1988/ - az AL-P valamivel gyengébben tükrözte, mint az Olsen-P és a H₂O-P. Természetesen a foszforral nem trágyázott talajokon a 36 adatpárból számított korrelációk szorosabbak voltak, mint a 180 adatpárból számítottak. Ugyancsak jobban voltak leírhatók a növényi mutatók a 6 hónapig érlelt talajok már bizonyos egyensúlyi helyzetet elért könnyen oldható P-tartalmával.



1. ábra

Összefüggés a növények tömege, valamint N- és P-tartalmának szorzata között.
 Független tengely: légszáraz tömeg, g/kg

8. táblázat

A talajok könnyen oldható P-tartalma és a növények tömege, valamint P-tartalma között számított kvadratikus korrelációs együtthatók

		1-4	1-4	1-4	1-4	1-4	1-2	3-4
A. Talaj száma:		1-4	1-4	1-4	1-4	1-4	1-2	3-4
B. P adag /mg/kg/:		0	0-160	0-160	0-160	0-160	0-160	0-160
C. Érlelés ideje /hónap/:		0-6	0-6	0	3	6	0-6	0-6
D. Adatpárok száma /n/:		36	180	60	60	60	90	90
Y	X	R						
a/ Száraz tömeg	AL-P	0,91	0,53	0,59	0,57	0,49	0,73	0,57
	Olsen-P	0,95	0,63	0,66	0,63	0,61	0,73	0,62
	H ₂ O-P	0,95	0,60	0,67	0,66	0,64	0,69	0,57
P %	AL-P	0,80	0,65	0,65	0,68	0,66	0,92	0,67
	Olsen-P	0,87	0,80	0,79	0,81	0,80	0,92	0,80
	H ₂ O-P	0,89	0,84	0,82	0,82	0,87	0,92	0,83
b/ Kivont-P	AL-P	0,88	0,61	0,60	0,63	0,60	0,91	0,74
	Olsen-P	0,94	0,73	0,72	0,75	0,74	0,90	0,79
	H ₂ O-P	0,94	0,74	0,73	0,73	0,80	0,88	0,76

Összefoglalás

Tenyészedény-kísérletben vizsgáltuk négy különböző P- és CaCO_3 -tartalmú homoktalajba kevert és 0, 3, 6 hónapig érlelt öt, 0-160 mg P/kg tartalmazó $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ -adag hatását az 1 hónapig nevelt kukoricánövények tömegére, valamint P-, N-, K-, Zn-, Mn- és Fe-felvételére. Az érlelés folyamán a vizsgált oldószerekben /AL-, NaHCO_3 -, H_2O -/ csökkent a foszfor oldhatósága, de ezt a növények nem jelezték egyértelműen. Az érlelt talajokon nevelt növények erőteljesebb fejlődésének egyik oka az lehetett, hogy a foszfor megkötődésével együtt a talaj Zn-szolgáltatása és a növények Zn-felvétele növekedett, az érlelt talajokon termelt növényekben a P/Zn arány kedvezőbb volt, mint a foszforral frissen trágyázott talajokon.

Irodalom

- A TVG Tápanyagvizsgáló Laboratóriumok Módszerfüzete. 1978. MÉM Növényvédelmi és Agrokémiai Központ. Budapest.
- BACZÓ G.-né, 1987-1988. Zavaró hatások vizsgálata ammóniumlaktátos talajkivonatok kalciumtartalmának meghatározásánál. Agrokémia és Talajtan. 36-37. 97-108.
- BARROW, N. J., 1974. The slow reactions between soil and anions. 1. Effects of time, temperature, and water content of a soil on the decrease in effectiveness of phosphate for plant growth. Soil Sci. 118. 380-386.
- FÜLEKY Gy., 1970. A dead-stop végpontjelzéses nátriumhipobromitos titrálás alkalmazása növényi anyagok és műtrágyák nitrogéntartalmának meghatározására. Agrokémia és Talajtan. 19. 339-346.
- LARSEN, S., GUNARY, D. and SUTTON, C. D., 1965. The rate of immobilization of applied phosphate in relation to soil properties. J. Soil Sci., 16. 141-148.
- LARSEN, S., 1967. Soil phosphorus. In: Advances in Agronomy. 19. 151-210.
- LEWIS, G. C., BAKER, G. O. and SNYDER, R. S., 1950. Phosphate fixation in calcareous soils. Soil Sci. 69. 55-62.
- MATZEL, W. und RICHTER, D., 1982. Russische und deutsche Fachtermini aus der Agrochemie einschliesslich der zugehörigen Definitionen /Stickstoff, Phosphor, Kalium/. Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenk. 26. 1-10.
- MURPHY, J. and RILEY, J. P., 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chim. Acta. 27. 31-36.
- OLSEN, S. R., 1953. Inorganic phosphorus in alkaline and calcareous soils. In: Agronomy, Vol. IV. 89-122. Academic Press Inc. Publ. New York.
- OLSEN, S. R. et al., 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Dept. Agric. Circ. 939. Washington.
- SARKADI J., KRÁMER M., THAMM F.-né, 1965. Kalcium- és ammóniumlaktátos talaj-kivonatok P-tartalmának meghatározása aszkorbinsav-ónkloridos módszerrel, melegítés nélkül. Agrokémia és Talajtan. 14. 75-86.
- SARKADI, J. und THAMM, B., 1988. Charakterisierung des optimalen Phosphor-Versorgungsgrades im Boden. Tag. Ber. Akad. Landwirtschaft.-Wiss., DDR-Berlin. 267. 167-172.
- SCHACHTSCHABEL, P., 1966. Extraktion der Böden mit Wasser, Interner Verbandsvorschlag. Cit. in: AMBERGER, A., SOMMER, G. und GUTSER, R., 1971. Zur P-Dynamik weicherdiger Rohphosphate. Landw. Forsch. 24. 260-271.
- SISSINGH, H. A., 1971. Analytical technique of the Pw method, used for the assessment of the phosphate status of arable soils in the Netherlands. Plant and Soil. 34. 483-486.

- SUMNER, M. E. and FARINA, M. P. W., 1986. Phosphorus interactions with other nutrients and lime in field cropping systems. *Advances in Soil Science*. 5. 201-236.
- SUNTHELM, L., MATZEL, W. und KUHLMANN, B., 1987. Untersuchungen zum Verlauf der P-Alterung im Boden. *Arch. Acker-, Pflanzenbau Bodenkd.* 31. 285-291.
- THAMM F.né, KRÁMER M. és SARKADI J., 1968. Növények és trágyaanyagok P-tartalmának meghatározása ammónium-molibdo-vanadátos módszerrel. *Agrokémia és Talajtan*. 17. 145-156.
- WATANABE, F. S. and OLSEN, S. R., 1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO_3 extracts from soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 29. 6. 677-678.

Érkezett: 1990. március 14.

Changes in Solubility and Availability of $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ in Sandy Soils

A. A. AL-ASHTAR, J. SARKADI and B. THAMM

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

Summary

To four sandy soil samples /with $\text{Al-P}_2\text{O}_5$ and CaCO_3 contents ranging between 40 and 260 mg/kg and 0-8.2% / 0-160 mg P/kg were given as a solution of $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ and mixed well. These soil samples were then incubated for 0, 3 or 6 months. At the end of the incubation periods, the soil samples were used in a pot experiment with maize as test plant. Plants were grown for one month. During this time the plants received 83 mg N and 125 mg K per kg soil weekly. The harvested plants were weighed in air-dry state and digested to determine their P-, K-, N-, Zn-, Mn- and Fe-contents. Al- /Egnér-Riehm-Domingo/, NaHCO_3 - /Olsen/ and H_2O -soluble /Sissingh/ P-contents of the soil samples were determined at the beginning and at the end of each incubation period.

The solubility of soil-P in any of the above mentioned extractants diminished when lengthening the incubation period. However, test plants did not indicate this decrease as a decrease of P availability. Moreover, the longer the soil samples were incubated, the better the plants grew on them. The reason for this result may be that with progressing of P fixation the soils' Zn-supply and the plants' Zn-uptake could increase. In this way the plants grown on incubated soils developed better /had a higher dry matter weight/ and showed a more favourable P/Zn ratio than those grown on the soils fertilized with P immediately at the beginning of the pot experiment.

Table 1. Main characteristics of the soil samples. /1/ Soil characteristics. a/ Humus, %; b/ Coarse sand /> 0.25 mm/; c/ Fine sand /0.25-0.02 mm/; d/ Silt /0.02-0.002 mm/; e/ Clay % /< 0.002 mm/. /2/ Sign and treatment of soil samples. nyom = traces.

Table 2. Al- , NaHCO_3 - and H_2O -soluble P-content of the soils after different incubation periods. /1/ Amounts of P added to the soil samples, mg P/kg soil. a/ $\text{LSD}_{5\%}$. /2/ Length of incubation period, month; /3/ Sign of soil samples. ny = traces.

Table 3. Quantities of P remaining in the soil /given in per cents of added P/ when determined by different extractants. /1/ Sign of soil samples. a/ Mean. /2/ Amounts of added P, mg/kg. /3/ In the average of incubation periods. /4/ Incubation period /month/. /5/ In the average of added P. /6/ Mean. Amount of sorbed P in per cents of added P /P_s %/: A. determined in the AL-extract; B. determined in the NaHCO₃ extract; C. determined in the H₂O extract.

Table 4. Amount of fertilizer-P needed to increase soil-P values by 1 mg/kg. /1/ Sign of soil samples. a/ LSD_{5%}; b/ Mean. /2/ Amounts of added P, mg/kg. /3/ LSD_{5%}. /4/ In the average of incubation periods. /5/ Incubation period /month/. /6/ Mean. /7/ In the average of added P. Amount of Ca(H₂PO₄)₂-P in mg/kg, needed to increase the: A. AL-P value by 1 mg/kg; B. NaHCO₃-P value by 1 mg/kg; C. H₂O-P value by 1 mg/kg.

Table 5. Air-dry matter and P content of maize plants, as well as mean P-effects. /1/-/5/: See Table 4. /6/ In the mean of all P-levels /P₀-P₁₆₀/. /7/ Mean excess of the levels P₂₀ to P₁₆₀ in relation to the P₀ level. A. Air-dry matter, g/kg soil. B. P% in the air-dry matter. C. P-uptake by plants, mg/kg soil.

Table 6. N-, K-, Mn-, Fe- and Zn-contents of maize plants. /1/ Factor. a/ Sign of soil samples; b/ Incubation period, month; c/ LSD_{5%}; /2/ N-, K-, Mn-, Fe-, Zn-uptake, mg/kg soil.

Table 7. Zn-content of the maize plants and the soil /in the average of P-levels/. /1/ Incubation period, month. a/ LSD_{5%}; b/ Mean. /2/ Sign of soil samples. /3/ LSD_{5%}. /4/ Mean. A. Zn in plants, µg Zn/g plant. B. Zn uptake by plants, mg Zn/kg soil. C. P/Zn ratio. D. KCl-EDTA-soluble Zn-content of the soil, mg Zn/kg soil.

Table 8. Quadratic correlation coefficients for the relationship between the soils' easily soluble P-contents, and the plants' characteristics. A. Sign of soil samples. B. Added P, mg/kg. C. Incubation period /month/. D. Number of data pairs /n/. a/ Dry matter; b/ P-uptake.

Fig. 1. Relationship between the amount of air-dry matter and the product of N% x P% in plants. Vertical axis: air-dry matter, g/kg soil.