

## A talaj P-állapotának változása tartamkísérletben. II.

FÜLEKY GYÖRGY

*MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest*

Előző munkánkban [2] a talaj P-állapotában bekövetkezett változásokat a nagyhorcsögi mészlepedékes csernozjom talajon vizsgáltuk és áttekintettük a kérdéskör irodalmát. Jelen munka célja a kérdésnek több talajtípuson való vizsgálata és további következtetések levonása.

### Anyagok és módszerek

Vizsgálataimhoz az ország 10 különböző helyén folyó műtrágyázási tartamkísérlet talajmintáit használtam fel. A kísérletekben búza és kukorica volt a termesztett növény. A talajmintákat 1972-ben, a kísérletek talajainak 0–20 cm-es szántott rétegéből vettem, és e mintákon végeztem el a kémiai vizsgálatokat. Az eredmények tulajdonképpen a tartamkísérletek talajaiban 1972-re kialakult különbségeket mutatják. Feltételezve, hogy a kísérlet kezdetekor a terület homogén volt, e különbségeket „változásnak” tekinthetjük, a feltüntetett szignifikáns differenciák pedig a vizsgálatok közötti különbségekre vonatkoznak. A 3., 4., 5. és 6. táblázatban levő  $P_0$  jelölés az NK-, a P pedig az NPK-trágyázott mintákat jelenti.

Az összes-, szerves- és szerves P-t izzítási módszerrel [6] mértem meg, a többi vizsgálatot az I. részben [2] leírt módszerek szerint végeztem el. A talajok legfontosabb jellemzőit az I. táblázat tartalmazza.

### Eredmények és értékelésük

Eddigi tapasztalataink [3] és az irodalom szerint [1, 4, 5, 7] a talajhoz adott P-műtrágya beépülését nagymértékben befolyásolja a talaj  $\text{CaCO}_3$  tartalma, PH-ja és kötöttsége. A 2. táblázat néhány talajtulajdonság közötti lineáris összefüggésről ad tájékoztatást. Látható, hogy a  $\text{CaCO}_3$ -tartalom és a legtöbb tényező között szoros összefüggés van. Az eredményeket ezért a későbbiekben többször karbonátos és nem karbonátos csoportokra bontva vizsgálom.

A 3. táblázat a talajok összes-, szerves- és szerves P-tartalmában bekövetkezett változásokat mutatja. Az eredményekből kitűnik, hogy az összes P a legtöbb talajnál jelentősen megnövekedett a P-trágyázás hatására. A szerves P-tartalom megnövekedése ehhez teljesen hasonló képet mutat. Ez a forma a nem karbonátos talajoknál (4.–9. talaj) egy kivétellel, szignifikánsan változott meg, a karbonátos talajok (1.–3. talaj) közül viszont

1. táblázat

## A vizsgált talajok néhány fontosabb jellemzője

szá- ma	(1) A talaj			(2) Leiszap- olható rész %	pH		V <sub>1</sub>	CaCO <sub>3</sub> %	(3) Humusz %
	helye	kezelése	típusa		H <sub>2</sub> O	KCl			
1	Moson- magyaróvár	NK	a) meszes	45	7,8	7,2	—	23,0	2,0
		NPK	Duna-öntés	45	7,7	7,3	—	23,3	2,4
2	Nagy- hőrcsög	∅		52	7,8	7,3	—	4,6	3,4
		NK	b) mészlepedékes	55	7,8	7,3	—	4,2	3,4
3	Kecskemét	NPK	csernozjom	55	7,8	7,3	—	5,2	3,5
		NK	c) meszes lepel- homok	11	7,9	7,6	—	4,1	1,0
4	Karcag	NPK		11	7,9	7,7	—	5,0	1,4
		∅		77	6,3	5,2	9,6	—	3,4
5	Keszthely	NK	d) szolonyeces réti	80	6,2	4,9	9,5	—	3,2
		NPK	csernozjom	75	6,0	5,1	12,2	—	3,4
6	Hosszúhát	∅	e) barna erdőtalaj	50	6,8	5,8	5,0	—	2,0
		NPK		50	6,6	5,6	4,8	—	2,0
7	Putnok	∅	f) réti talaj	72	7,6	7,0	2,2	1,2	3,9
		NK		79	6,0	5,2	12,8	—	3,8
8	Nagykanizsa	NPK		78	5,7	5,0	13,2	—	4,0
		NK	e) barna erdőtalaj	68	6,5	5,5	8,0	—	2,3
9	Kompolt	NPK		72	6,5	5,4	11,0	—	2,4
		NK	e) barna erdőtalaj	53	5,6	4,5	10,0	—	1,6
10	Marton- vásár	NPK		47	5,8	4,7	10,5	—	1,7
		∅	g) csernozjom barna erdőtalaj	68	5,6	4,5	19,0	—	3,8
10	Marton- vásár	A) NPK	h) erdőmaradvá- nyos csernozjom	75	5,9	5,0	20,0	—	3,3
		B) NPK		65	7,7	7,1	1,4	1,1	2,8
				63	7,6	7,0	1,8	1,7	2,7
				60	6,2	5,3	11,5	—	3,0

∅ = 4 évig trágyázatlan, kivéve Martonvásárt, ahol 16 évig trágyázatlan

NK = 4 év alatt 450 kg/ha N, 320 kg/ha K<sub>2</sub>O

NPK = 4 év alatt 600 kg/ha N, 580 kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 640 kg/ha K<sub>2</sub>O; kivéve Martonvásárt, ahol 16 év alatt: A) 1750 kg/ha N, 920 kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 1500 kg/ha K<sub>2</sub>O, illetve B) 1630 kg/ha N, 1100 kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 1020 kg/ha K<sub>2</sub>O

csupán egy talaj szerves P-tartalma növekedett meg szignifikánsan. A szerves P-tartalom az összes vizsgált talaj közül egy esetben növekedett meg igazolható módon. Míg az összes P átlagosan 10–12%-kal, a szerves P 18%-kal, addig a szerves P csak 2–4%-kal növekedett meg a P-trágyázás hatására — amint ezt az 5. táblázat adataiból láthatjuk.

A 4. és 5. táblázat tartalmazza a szerves P-tartalom frakcióiban létrejött változásokat. Látható, hogy a talajok összes P-tartalmában beállott változás, de különösen a szerves P-tartalom megváltozása az úgynevezett „aktív P frakciókban”, — a *Chang-Jackson*-féle I.—IV. frakcióban — létrejött változással magyarázható, vagyis elsősorban e formák játszik a fő szerepet a P-felhalmozásban.

2. táblázat

A szervetlen foszfátfrakciók és a talajtulajdonságok közötti lineáris összefüggések (r értékek, n = 24)

(1) Vizsgált tényezők	AL-P	P-frakciók				CaCO <sub>3</sub>	pH	(2) Humusz
		I.	II.	III.	IV.			
I.	0,92***							
II.	0,42*	0,24						
III.	-0,44*	-0,42*	0,41					
IV.	0,38	0,23	-0,18	-0,78***				
CaCO <sub>3</sub>	0,53**	0,43*	-0,18	-0,54**	0,67***			
pH	0,58**	0,51*	-0,23	-0,91***	0,75***	0,55**		
a) Humusz	-0,26	-0,40	0,15	0,06	0,02	-0,22	-0,20	
b) Leiszapolható rész	-0,63**	-0,03	0,45*	-0,09		-0,39	-0,58**	
							0,75***	

\*\*\* = 0,1 %-on; \*\* = 1 %-on; \* = 5 %-on szignifikáns

3. táblázat

A tartamkísérletek talajainak összes-, szervetlen- és szerves foszfortartalmában bekövetkezett változások (ppm P)

(1) Talaj száma	(2) Összes P			(3) Szervetlen P			(4) Szerves P		
	P <sub>0</sub>	P	P-P <sub>0</sub>	P <sub>0</sub>	P	P-P <sub>0</sub>	P <sub>0</sub>	P	P-P <sub>0</sub>
1	760	878	118	518	572	54	242	306	64
2	966	1001	35	476	534	58	490	467	-23
3	348	437	89*	213	312	99*	135	125	-10
4	480	538	58*	186	250	64*	294	288	0
5	539	620	81*	243	306	63*	296	314	18
6	420	518	98*	260	308	48*	160	210	50*
7	401	455	54*	178	224	46*	223	231	8
8	516	492	-24	264	271	7	252	218	-34
9	492	496	4	201	214	13	291	282	-9

P = P-trágyázotti; P<sub>0</sub> = P-trágyázatlan; \* = 5 %-os szinten szignifikáns

4. táblázat

## A tartamkísérletek talajainak szervesen foszfátfrakcióiban

(1) A talaj száma	(2) P-frakciók					
	I.			II.		
	P <sub>0</sub>	P	P-P <sub>0</sub>	P <sub>0</sub>	P	P-P <sub>0</sub>
1	8,0	17,6	9,6*	16,5	25,2	8,7*
2	1,7	8,4	6,7*	14,5	42,0	27,5*
3	8,2	41,0	32,8*	18,5	43,0	24,5*
4	0,7	1,3	0,6*	14,3	34,3	20,0*
5	0,7	0,6	-0,1	13,7	19,0	5,3
6	1,1	2,5	1,4*	22,0	49,5	27,5*
7	1,1	1,4	0,3	16,8	27,0	10,2*
8	1,0	2,1	1,1*	27,0	43,5	16,5*
9	1,1	1,3	0,2	30,2	46,7	16,5*

P = P-trágyázott    P<sub>0</sub> = P-trágyázatlan    \* = 5%-os szinten szignifikáns

A 4. táblázat eredményeiből látható, hogy jelentős különbség van a karbonátos és a nem karbonátos talajokon létrejött változások között. Míg a karbonátos talajoknál elsősorban az I.—II. frakció növekedett meg szignifikánsan, és ezt a IV. frakció követte, addig a nem karbonátos talajoknál főleg a II. és III. frakcióban sikerült igazolható különbségeket kimutatni a P-trágyázott és P-trágyázatlan talaj között. Emellett több esetben az I. frakció is szignifikánsan növekedett meg. Ha a változások átlagos mértékére vagyunk kíváncsiak, akkor az 5. táblázat adatait kell tekinteni, amely a karbonátos és nem karbonátos talajok átlagában tünteti fel a változásokat. Látható, hogy karbonátos talajoknál legnagyobb mértékben az I. frakció növekedett meg, majd utána — a növekedés mértékét tekintve — a II. III. és IV. frakció. Nem karbonátos talajoknál II. I. III. IV. frakció a sorrend e tekintetben. Ha viszont a növekedéseket az I.—IV. frakció megváltozása %-ában fejezzük ki, még jellemzőbb képet kapunk. Karbonátos talajoknál ugyanis a beépülés mennyiségi oldalát tekintve II. IV. I. frakció a sorrend, kb. azonos mennyiségekkel az egyes frakciók megnövekedésében. A III. frakció növekedése teljesen jelentéktelen ennél a talajcsoportnál. Nem karbonátos talajoknál elsősorban a III. és II. frakcióba épül be a műtrágya-P, az I. és IV. frakcióban történt növekedés csak kis mennyiségű. Ezek a megállapítások az illető talajcsoportok átlagára vonatkoznak, az egyes talajoknál ettől eltérő változásokat is tapasztalhatunk az adott talaj genetikai sajátosságaitól függően.

A talajok könnyen oldható P-tartalmában (AL, *Olsen*) bekövetkezett változás (6. táblázat) minden talaj esetében szignifikáns. A %-os változás az AL-foszfortartalom esetében mind a két talajcsoportnál azonos (5. táblázat), az *Olsen*-foszfortartalomban viszont a karbonátos talajok esetében nagyobb mértékű volt a növekedés. Az AL-P mennyiségében bekövetkezett növekedés a karbonátos talajoknál minden esetben nagyobb volt mint a nem karbonátos talajoknál. Az *Olsen*-P növekedésére általában hasonló mondható el (6. táblázat).

Amint az a 4., 5. és 6. táblázat adataiból látható, P-műtrágyázás esetén a CaCO<sub>3</sub>-tartalmú talajokban jobban megnövekedik a legtöbb kémiai oldó-

## bekövetkezett változások (ppm P)

III,			IV.			I-IV.
P <sub>0</sub>	P	P-P <sub>0</sub>	P <sub>0</sub>	P	P-P <sub>0</sub>	P-P <sub>0</sub>
8,5	7,1	-1,4	426	443	17,0	34
8,2	8,2	0,0	419	434	15,0	48
8,0	11,5	3,5*	170	194	24,0*	85*
44,7	72,0	27,3*	89	115	26,0	74*
36,7	46,8	10,1*	185	217	32,0*	47*
40,3	73,8	33,5*	108	111	3,0	66*
58,0	83,0	25,0*	53	58	5,0	40*
104,0	102,0	-2,0	110	105	-5,0	11
88,0	95,3	7,3*	56	26	-30,0*	-6

5. táblázat

A tartamkísérletek talajainak összes-, szerves- és szervesen foszfortartalmában, valamint a szervesen foszfátfrakcióiban és a könnyen oldható foszfortartalmában bekövetkezett változások

(1) Vizsgált tényezők	(2) Talaj jellege	P-P <sub>0</sub> ppm P	(3) P <sub>0</sub> %-ában	(4) Az I-IV. frak- ció megválto- zása %-ában
A) P-frakciók				
I.	a) karbonátos	16,3	274	29
	b) nem karbonátos	0,6	61	1
II.	a) karbonátos	20,2	123	36
	b) nem karbonátos	16,0	77	42
III.	a) karbonátos	0,7	8	1
	b) nem karbonátos	16,8	27	44
IV.	a) karbonátos	19,0	6	34
	b) nem karbonátos	5,0	5	13
I-IV.	a) karbonátos	56,0	15	100
	b) nem karbonátos	38,0	21	100
B) Összes P	a) karbonátos	81	12	
	b) nem karbonátos	45	10	
C) Szervesen P	a) karbonátos	70	18	
	b) nem karbonátos	40	18	
D) Szerves P	a) karbonátos	11	4	
	b) nem karbonátos	5	2	
E) Könnyen oldható foszfortartalom				
AL	a) karbonátos	47,0	113	
	b) nem karbonátos	15,7	118	
Olsen	a) karbonátos	17,9	215	
	b) nem karbonátos	8,3	95	

P = P-trágyázott P<sub>0</sub> = P-trágyázatlan

szerrel kioldható P-tartalom [5] mint a nem karbonátos talajokban, és ez a növekedésbeli különbség a legkönnyebben oldható, I. P-frakció esetében a legszembetűnőbb. Korábbi munkákból [2] arra is fény derült, hogy karbonátos talajon huzamos ideig, aránylag jól oldódó formában marad a talajba adott foszfátok egy része. Nem karbonátos talajokon azonban ettől viszonylag eltérő a P oldékonyságának a változása. Ez utóbbi talajoknál általában jóval kisebb mértékben növekedik meg P-trágyázás hatására az I. frakció, és a változás

## 6. táblázat

A tartamkísérletek talajainak könnyen oldható P-tartalmában bekövetkezett változások (ppm P)

(1) Talaj száma	AL-P			Olsen-P		
	P <sub>0</sub>	P	P-P <sub>0</sub>	P <sub>0</sub>	P	P-P <sub>0</sub>
1	53,0	82,2	29,2*	12,0	20,5	8,5*
2	25,8	55,5	29,7*	4,4	18,6	14,2*
3	45,8	127,8	82,0*	8,4	39,4	31,0*
4	7,2	23,8	16,6*	5,6	15,0	9,4*
5	10,6	20,5	9,9*	5,4	7,0	1,6*
6	19,5	46,8	27,3*	10,2	26,0	15,8*
7	7,4	21,2	13,8*	8,0	15,0	7,0*
8	16,5	28,8	12,3*	11,5	18,5	7,0*
9	18,8	33,2	14,4*	11,5	20,5	9,0*

P = P-trágyázott

P<sub>0</sub> = P-trágyázatlan

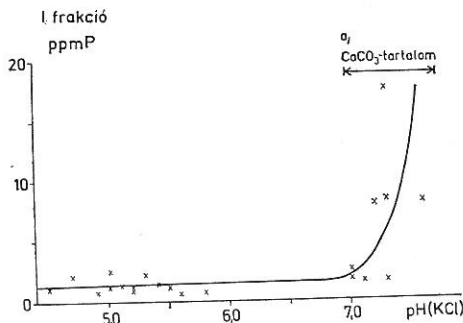
\* = 5%-os szignifikáns

(növekedés) főleg a kevésbé könnyen oldható formákban (II. és III. frakció) történik. Ez úgy is magyarázható, hogy karbonátos talajokon elsősorban a különböző oldékonyságú Ca-foszfátok, nem karbonátos talajokon pedig a Fe- és Al-foszfátok játsszák a fő szerepet.

A talaj foszfor-állapotának jelzésére szolgáló különböző oldékonyságú P-formák és a talajtulajdonságok között szoros összefüggések állapíthatók meg. A 2. táblázat adatai alapján a CaCO<sub>3</sub>-tartalom és az I., valamint IV. frakció között pozitív, a CaCO<sub>3</sub>-tartalom és a III. frakció között pedig negatív lineáris összefüggés van. A CaCO<sub>3</sub>-tartalom és a II. frakció között nincs összefüggés, bár a pH csökkenésével mennyisége és jelentősége kis mértékben növekedik. A CaCO<sub>3</sub>-tartalomnál tapasztaltakkal megegyező összefüggéseket mutatnak a szerves foszfátfrakciók a pH-val is. A humusztartalomnak egyik frakcióval sincs bizonyított összefüggése. A leiszapolható rész a III. frakcióval pozitív, az I. frakcióval negatív összefüggésben van. Az 1. ábra a pH (KCl) és az I. frakció összefüggését mutatja. Látható, hogy pH 7 fölött, vagyis amikor megjelenik a CaCO<sub>3</sub>, megnövekedik az I. frakció mennyisége. A 2. A., illetve a 2. B. ábra a pH (KCl) és a nehezen oldható Ca-foszfát (IV. frakció), illetve a Fe-foszfát (III. frakció) %-os mennyiségének összefüggését mutatja. Az ábráról kitűnik, hogy míg a Fe-foszfát %-os mennyisége a pH növekedésével fokozatosan csökken, és pH 7–7,2 körül minimális értéket ér el, addig a Ca-foszfát %-os mennyisége a pH növekedésével a telítődési görbének megfelelően növekszik és pH 6 körül az I–IV. frakció P-tartalmának több mint 80%-át teszi ki. E pH érték fölött a növekedés jóval kisebb mértékű.

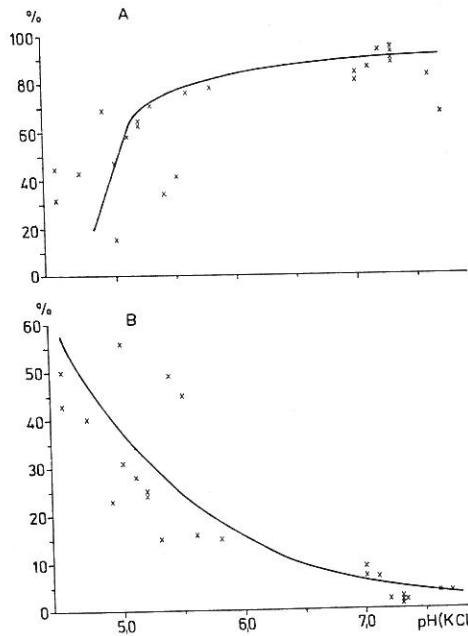
pH 6 alatt a Ca-foszfáttartalom rohamosan csökken, de még pH 4,5 körül is csak az I-IV. frakció 30-40%-ára csökken le. E pH értéknél a Fe-foszfát %-os mennyisége 40-50%. A II. frakció mennyisége, illetve %-os aránya viszonylag állandó a pH függvényében.

Ezen összefüggések szolgálnak a különböző típusú talajok P-állapotának megváltozásában tapasztaltak magyarázatára. Így az 1. ábrán látottakból adódik, hogy a CaCO<sub>3</sub>-tartalom megjelenésével és jelenlétével kerül előtérbe az I. frakció a talaj P-állapotának kialakításánál. A II. frakciónak karbonátos és nem karbonátos talajoknál egyformán jelentős a szerepe. Mindkét csoportnál betöltött fontos szerepét mutatja, hogy karbonátos talajoknál az I-IV. frakció megváltozásának 36%-a, nem karbonátos talajoknál pedig 42%-a volt ebben a frakcióban P-trágyázás esetén. Megállapítható, hogy valószínű-



1. ábra

A talaj pH (KCl)-jának és a gyengén kötött foszfátok (I. frakció) mennyiségének összefüggése. a) CaCO<sub>3</sub>-tartalom



2. ábra

A) A nehezen oldható Ca-foszfát (IV.) frakció %-os mennyiségének függése a talaj pH (KCl)-jától. Független tengely: Ca-foszfát (IV.) frakció az I.-IV. frakció %-ában. B) A Fe-foszfát (III.) frakció %-os mennyiségének függése a talaj pH (KCl)-jától. Független tengely: Fe-foszfát (III.) frakció az I.-IV. frakció %-ában

leg mindkét esetben ez a forma jelenti azt a közvetlen tartalékot, amely a növények számára még könnyen hozzáférhető. Nem karbonátos talajok esetében pedig emellett a közvetlenül felvehető, illetve a viszonylag legkönnyebben oldható P is ebben a formában van.

A III. frakció csupán a nem karbonátos talajoknál játszik fontos szerepet, ugyanis ahogyan növekszik a frakció %-os aránya a többi frakcióhoz képest, úgy növekszik a szerepe az adott P-állapot kialakításában is. pH 7-7,2 körül minimális értéket ér el a III. frakció %-os mennyisége, és ebben az esetben a jelentősége az adott P-állapot kialakítására is minimálisra csökken. Nem kar-

bonátos talajoknál az I—IV. frakció megváltozásának majdnem a fele (46%-a) (5. táblázat) ebben a frakcióban történik, ezért a frakció döntő jelentőségű a nem karbonátos talajok P-állapotának kialakításánál.

A IV. frakció, a nehezebben oldódó Ca-foszfátok frakciója — bár mennyiségileg a nem karbonátos talajokban is legtöbbször elég jelentős — a P-állapot kialakításában elsősorban a karbonátos talajokon játszik szerepet. A karbonátos talajokon a talajhoz adott P-műtrágya beépülésének egyik helye, megváltozása mennyiségileg egyike a legjelentősebbeknek. Bár követi a P-műtrágyázást, de feltehetően nem itt raktározódik a növények számára a későbbiekben is könnyen felvehető foszfor. Nem karbonátos talajok esetében — amikor is ez a frakció 90% alá csökken, de még ekkor is nagy, sőt sokszor a legnagyobb mennyiségben van jelen az összes forma közül — úgy tűnik, hogy szerepe az előbbi csoporthoz képest valamivel kisebb.

### Ö s s z e f o g l a l á s

Az ország több helyén folyó tartamkísérlet talajaiban vizsgáltam meg a különböző foszfátfrakciókban, valamint az összes-, szervetlen-, szerves- és a könnyen oldható foszfortartalomban P-műtrágyázás hatására bekövetkezett változásokat. Munkám célja az volt, hogy további következtetéseket vonjak le arra vonatkozóan, miként befolyásolja egy-egy jellegzetes talajtulajdonság az adott P-állapot kialakulását.

Amint az eredményekből kiderül, a talaj P-állapotának alakulása, vagyis a különböző oldékonyságú foszfátformák mennyiségének és egymáshoz viszonyított arányának az alakulása alapvetően függ a talaj típusától, azon belül is a talaj kémhatásától és  $\text{CaCO}_3$ -tartalmától. A foszfortrágyázásnak a talaj P-állapotának megváltozására gyakorolt hatása szintén a fenti talajtulajdonságok függvénye. Így nem karbonátos talajoknál a talajba adott P-műtrágya elsősorban a *Chang—Jackson*-féle II. és III. frakcióba épül be, míg karbonátos talajok esetében a P-felhalmozódás az I., II. és IV. frakcióban történik.

Az I. frakció a korábbi alacsony szintről, pH 7 fölött, a  $\text{CaCO}_3$ -tartalom megjelenésével megnő (1. ábra). A pH növekedésével a III. — Fe-foszfát — frakció mennyisége csökken, a IV. — nehezen oldható Ca-foszfát — mennyisége pedig növekszik (2. ábra). A III. frakció mennyiségének csökkenésével jelentősége is kisebb lesz a P-állapot kialakítása szempontjából. A II. frakció, függetlenül a pH-tól, alapvető jelentőségű minden vizsgált talaj P-állapotának kialakításánál.

Megállapítható tehát, hogy amíg karbonátos talajokon a különböző oldékonyságú Ca-foszfátok játsszák a döntő szerepet a P-állapot kialakításánál, addig nem karbonátos talajoknál a Fe-foszfátoknak és az Al-, ill. könnyen oldható Ca-foszfátoknak (II. frakció) a szerepe a meghatározó. A gyengén kötött (I.) frakció csupán a karbonátos talajoknál játszik fontosabb szerepet.

### I r o d a l o m

- [1] AMBERGER, A., SOMMER, G. & SÜSS, A.: Umsetzungen von wasserlöslichem Düngersphosphat in verschiedenen Böden. Landw. Forsch. **22**. 10—25. 1969.  
 [2] FÜLEKY, GY. & KÁDÁR, I.: A talaj P-állapotának változása tartamkísérletben. I. Agrokémia és Talajtan. **24**. 29—45. 1975.



- [3] KRÁMER, M. & FÜLEKY, Gy.: Superphosphate availability as affected by the  $\text{CaCO}_3$  content of the soil. *Agrokémia és Talajtan*. **23**. Suppl. 101-110. 1974.
- [4] SAYEGH, A. H. & MAJID, A. A.: Phosphorus fractionation and retention in alkaline Lebanese soil. *Agrochimica*. **13**. 265-276. 1969.
- [5] SIGMOND, E.: Új kémiai módszer a talajban előforduló foszforsav meghatározására. *Kísérletügyi Közlem.* **3**. 532-552. 1900.
- [6] WALKER, T. W. & ADAMS, A. F. R.: Studies on soil organic matter. I. *Soil Sci.* **85**. 307-318. 1958.
- [7] WERNER, W. & WIECHMANN, H.: Untersuchungen zur Pflanzenverfügbarkeit des durch langjährige Phosphatdüngung angereicherten Bodenphosphats. *Z. PflEr-nähr. Bodenk.* **133**. 4-17. 1972.

Érkezett: 1975. január 8.

## Changes of the Soil Phosphorus Status in Long-term Field Experiments. II.

G. FÜLEKY

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

### Summary

The changes of total-, inorganic-, organic- and available phosphorus, as well as that of inorganic phosphate fractions due to P fertilizing were investigated in soil samples taken from 10 long-term field experiments located in different parts of Hungary.

The purpose of the study was to reveal how the soil type and some soil characteristics influence the developing of a given soil phosphorus status. Experimental results show that soil phosphorus status (i.e. the quantity and quality as well as the ratio of different phosphorus forms) depends on the soil type, more exactly on the pH and the  $\text{CaCO}_3$  content of the soil. There is also a relationship between the above mentioned soil characteristics and the alteration of the soil phosphorus status due to P fertilization. After P fertilization fertilizer-P can be found mainly in fractions II. and III. on non-calcareous soils and in fractions I. II. and IV. on calcareous soils.

Above pH 7, with the appearance of  $\text{CaCO}_3$ , fraction I. increased sharply from a very low level (Fig. 1.). With increasing pH the percentage of fraction III. decreases, while fraction IV., the hardly soluble Ca-phosphates, increases (Fig. 2.). With the decrease in its amount, the importance of fraction III. — from the point of view of fertilizer-P fixation — diminishes as well.

The importance of fraction II. does not depend on the pH.

On calcareous soils the differently soluble Ca-phosphates, on non-calcareous soils the Al- and easily soluble Ca-phosphates as well as the Fe-phosphates influence mainly the developing of a given soil phosphorus status. Adsorbed phosphates are important only on calcareous soils.

*Table 1.* Some characteristics of the soils. (1) No. of soil, sampling site, treatment, soil type: a) calcareous Danube alluvial soil; b) calcareous chernozem; c) calcareous sandy soil; d) solonetzic meadow chernozem; e) brown forest soil; f) meadow soil; g) chernozem brown forest soil; h) chernozem with forest remnants. (2) Percentage of particles < 0,02 mm. (3) Humus. Treatments:  $\emptyset$  = not fertilized for 4 years, except No. 10, which was not fertilized for 16 years; N K = 450 kg/ha N, 320 kg/ha  $\text{K}_2\text{O}$ , during 4 years; N P K = 600 kg/ha N, 580 kg/ha  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 640 kg/ha  $\text{K}_2\text{O}$  during 4 years, except No. 10 which received during 16 years: A) 1750 kg/ha N; 920 kg/ha  $\text{P}_2\text{O}_5$ ; 1500 kg/ha  $\text{K}_2\text{O}$ . B) 1630 kg/ha N; 1100 kg/ha  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 1020 kg/ha  $\text{K}_2\text{O}$ .

*Table 2.* Relationship between inorganic phosphate fractions and soil characteristics (r values, n = 24). (1) Investigated factors: a) Humus. b) Percentage of particles < 0,02 mm. (2) Humus. Levels of significance: \* = 5%, \*\* = 1%, \*\*\* = 0,1%.

*Table 3.* Changes of total-, inorganic- and organic phosphorus in the soils (ppm P). (1) No. of soil. (2) Total P. (3) Inorganic P. (4) Organic P. P = fertilized with P,  $\text{P}_0$  = not fertilized with P. Level of significance: \* = 5%.

*Table 4.* Changes of inorganic phosphate fractions in the soils (ppm P). (1) No. of soil. (2) Inorganic phosphate fractions. For the other signs, see Table 3.

*Table 5.* Changes of total-, inorganic-, organic-, available phosphorus and that of inorganic phosphate fractions in the soils. (1) Investigated factors: A) Inorganic phosphate fractions; B) Total P; C) Inorganic P; D) Organic P; E) Available P (with the AL- and Olsen-methods). (2) Soil property: a) calcareous; b) non-calcareous. (3) In the percentage of  $P_0$ . (4) In the percentage of the summarised change of the inorganic phosphate fractions. P = fertilized with P;  $P_0$  = not fertilized with P.

*Table 6.* Changes of available phosphorus in the soils (ppm P). (1) No. of soil. For the other signs, see Table 3. Level of significance: \* = 5%.

*Fig. 1.* Relationship between pH (KCl) and the quantity of adsorbed phosphates. a)  $CaCO_3$  content.

*Fig. 2.* A. Relationship between pH (KCl) and the percentage of the hardly soluble Ca-phosphate (IV) fraction. Vertical axis: Ca-phosphate (IV) fraction in the percentage of the total of fractions I–IV. B. Relationship between pH (KCl) and the percentage of the Fe-phosphate (III) fraction. Vertical axis: Fe-phosphate fraction in the percentage of the total of fractions I–IV.

## Änderung des P-Zustandes im Boden in einem Dauerversuch. II.

G. FÜLEKY

Forschungsinstitut für Bodenkunde und Agrikulturchemie der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, Budapest

### Zusammenfassung

In der Krume von Böden an verschiedenen Orten des Landes durchgeführter Dauerversuche wurden die als Folge der P-Düngung auftretenden Änderungen in den verschiedenen anorganischen P-Fraktionen, sowie in dem gesamten, anorganischen, organischen und leichtlöslichen P-Gehalt untersucht. Ziel der Arbeit war zu erforschen auf welche Weise die Herausbildung des P-Zustandes durch den Bodentyp, bzw. durch einige Bodenkennwerte beeinflusst wird.

Der P-Zustand (d. h. die Menge und das Verhältnis der P-Fraktionen) hang vorwiegend vom Bodentyp, darunter vom pH-Wert und  $CaCO_3$ -Gehalt ab. Die im P-Zustand als Folge der P-Düngung auftretenden Änderungen sind auch von den genannten Bodeneigenschaften beeinflusst.

Im Falle von karbonatfreien Böden erscheint der Dünger-P in der II. und III. Chang-Jackson'schen Fraktion, während bei karbonathaltigen Böden die Fraktionen I, II und IV durch die P-Düngung erhöht werden. Über dem pH-Wert 7, mit dem Erscheinen des  $CaCO_3$ -s steigt plötzlich die Menge der I. Fraktion an (Abb. 1.). Mit dem Anstieg des pH-Wertes nimmt die III. Fraktion (Fe-Phosphat) ab und die IV. Fraktion (schwerlösliches Ca-Phosphat) zu (Abb. 2.). In der Gestaltung des P-Zustandes spielt die II. Fraktion unabhängig vom pH-Wert eine bedeutende Rolle, der Einfluss der III. Fraktion auf den P-Zustand verringert sich aber mit zunehmendem pH.

Es kann also festgestellt werden, dass bei der Gestaltung des P-Zustandes im Falle von karbonathaltigen Böden die unterschiedlich löslichen Ca-Phosphate die wichtigste Rolle spielen, während im Falle von nicht karbonathaltigen Böden die Fe-, Al- und leichtlöslichen Ca-Phosphate (II. bzw. III. Fraktion) in dieser Hinsicht entscheidend sind. Die schwach gebundene I. Fraktion spielt nur bei den karbonathaltigen Böden eine bedeutendere Rolle.

*Tab. 1.* Kennwerte der untersuchten Böden. (1) Bezeichnung, Ort der Probenahme, Düngungsvariant und Bodentyp: a) kalkhaltiger Donau-Alluvialboden; b) Tschernozemboden mit Kalkhüllen; c) kalkhaltiger Sandboden; d) solonisierter Wiesenschernozem; e) brauner Waldboden; f) Wiesenboden; g) Tschernozem brauner Waldboden; h) Tschernozemboden mit Waldresten. (2) Abschlämmbare Teilehen, %. (3) Humusgehalt. Düngungsvarianten:  $\emptyset$  = 4 Jahre hindurch ungedüngt, ausgenommen Bodenprobe Nr. 10 (Martonvásár), wo 16 Jahre lang nicht gedüngt wurde; NK = 450 kg/ha N + 320 kg/ha  $K_2O$  in vier Jahren; NPK = 600 kg/ha N, 580 kg/ha  $P_2O_5$  + 640 kg/ha  $K_2O$ , in vier Jahren, ausgenommen Bodenprobe Nr. 10, wo in 16 Jahren in Variante A) 1750 kg/ha

N, 920 kg/ha  $P_2O_5$  und 1500 kg/ha  $K_2O$ , und in Variante B) 1630 kg/ha N, 1100 kg/ha  $P_2O_5$  und 1020 kg/ha  $K_2O$  gegeben wurden.

*Tab. 2.* Linearer Zusammenhang zwischen den anorganischen Phosphatfraktionen und den Bodeneigenschaften (r-Werte, n = 24). (1) Bestimmte Faktoren: a) Humusgehalt; b) Abschlammbare Teilchen. (2) Humus, \* = signifikant bei P = 5%; \*\* = signifikant bei P = 1%; \*\*\* = signifikant bei P = 0,1%.

*Tab. 3.* Änderungen in dem gesamten, anorganischen und organischen P-Gehalt der Böden (P in ppm). (1) Bezeichnung der Bodenprobe. (2) Gesamtes P. (3) Anorganisches P. (4) Organisches P. P = mit P-Düngung.  $P_0$  = ohne P-Düngung. \* = signifikant bei P = 5%.

*Tab. 4.* Änderungen in den anorganischen Phosphatfraktionen der untersuchten Böden (P in ppm). (1) Bezeichnung der Bodenprobe. (2) Fraktionen. Übrige Bezeichnungen s. in Tab 3.

*Tab. 5.* Änderungen in dem gesamten, organischen und anorganischen Phosphorgehalt, den anorganischen Phosphatfraktionen, sowie in dem leichtlöslichen P-Gehalt der untersuchten Böden. (1) Faktoren: A) P-Fraktionen; B) Gesamtes P; C) Anorganisches P; D) Organisches P; E) Leichtlösliches P nach der AL- und Olsen-Methode. (2) Charakter des Bodens: a) karbonathaltig; b) nicht karbonathaltig. (3) in % von  $P_0$ . (4) In % der Änderungen in den Fraktionen I-IV. P = mit P-Düngung.  $P_0$  = ohne P-Düngung.

*Tab. 6.* Änderungen in dem leichtlöslichen P-Gehalt der untersuchten Böden (P in ppm). (1) Bezeichnung der Bodenprobe. Übrige Bezeichnungen s. in Tab. 2. und 3.

*Abb. 1.* Zusammenhang zwischen dem Boden-pH (KCl) und der Menge der schwach gebundenen Phosphate (Fraktion I). a)  $CaCO_3$ -Gehalt.

*Abb. 2.* A) Zusammenhang zwischen dem Boden-pH (KCl) und dem %-Anteil der schwer löslichen Ca-Phosphate (Fraktion IV). Ordinate: Ca-Phosphat (IV) Fraktion als % der Fraktionen I-IV. B) Zusammenhang zwischen dem Boden-pH (KCl) und der prozentuellen Menge der Eisenphosphate (Fraktion III). Ordinate: Fe-Phosphat (III) Fraktion als % der Fraktionen I-IV.

## Изменение состояния фосфора в почве в продолжительных опытах. II

Дь. ФЮЛЕКИ

Научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии ВАН, Будапешт

### Резюме

В почвах, на которых были заложены продолжительные опыты во многих местах страны, изучали влияние внесения фосфорных минеральных удобрений на изменения, наступающие в различных минеральных фракциях фосфора, а также в содержании общего, минерального, органического и легкорастворимого фосфора. Целью данной работы было изучение характерных свойств почвы на различное состояние внесенного в почву фосфора.

Как показали результаты опытов, изменение состояния фосфора в почве, т. е. количество различных по растворимости форм фосфора и их соотношения находятся в тесной связи с типом почвы, с ее характерными свойствами особенно с реакцией среды и содержанием  $CaCO_3$ . Влияние, оказываемое фосфорными минеральными удобрениями на изменение состояния фосфора в почве, также является функцией вышеуказанных свойств почвы.

В некарбонатных почвах внесенные P-минеральные удобрения, в первую очередь, встраиваются во II и III фракции, а в карбонатных почвах накопление фосфора происходит в I, II и IV фракциях. I фракция при pH выше, 7, при наличии  $CaCO_3$  резко увеличивается (Рис. 1). С увеличением pH содержание III, Fe-фосфатной фракции уменьшается и возрастает содержание IV, трудно растворимой Ca-фосфатной фракции (Рис. 2). С уменьшением содержания III фракции, снижается ее значение в смысле встраивания фосфора. II фракция, независимо от pH во всех почвах играет значительную роль при встраивании фосфора.

Таким образом можно сказать, что в то время, как в карбонатных почвах при формировании состояния фосфора значительная роль принадлежит Ca-фосфатам различной растворимости, в некарбонатных основными являются Fe-фосфаты, Al — или легко растворимые формы Ca-фосфатов (II фракция). Слабо связанная (I) фракция играет важную роль только в карбонатных почвах.

*Табл. 1.* Основные свойства изученных почв. (1) Номер почвенного образца, место взятия, вариант и тип почвы: а) карбонатный аллювий Дуная; б) мицелярный чернозем; с) карбонатный покровный песок; д) солонцеватый луговой чернозем; е) бурая лесная почва; ф) луговая почва; г) черноземовидная бурая лесная почва; и) лесостаточный чернозем. (2) Илистая фракция в %. (3) Гумус. Варианты:  $\varnothing$  = четыре года без внесения удобрений, за исключением почвы 10. (Мартовашар), где удобрения не вносили 16 лет. НК = за четыре года 450 кг/га азота, 320 кг/га  $K_2O$ ; NPK = за четыре года 600 кг/га азота, 580 кг/га  $P_2O_5$ , 640 кг/га  $K_2O$ , за исключением почвы 10, где за 16 лет вносили: А) 1750 кг/га азота, 920 кг/га  $P_2O_5$ , 1500 кг/га  $K_2O$ , или В) 1630 кг/га азота, 1100 кг/га  $P_2O_5$ , 1020 кг/га  $K_2O$ .

*Табл. 2.* Линеарные зависимости (величины —  $r$ ,  $n = 24$ ) между минеральными фракциями фосфора и свойствами почвы. (1) Изученные факторы: а) гумус. б) илистая фракция. (2) Гумус. \* = на 5%-ом уровне достоверности. \*\* = на 1%-ом уровне достоверности. \*\*\* = на 0,1%-ом уровне достоверности.

*Табл. 3.* Изменения, наблюдаемые в содержании общего, минерального и органического фосфора почвы в продолжительных опытах (мг/кг Р). (1) Номер почвы. (2) Общий-Р. (3) Минеральный-Р. (4) Органический-Р. Р = внесение фосфорных удобрений.  $P_0$  = без внесения фосфорных минеральных удобрений. \* = на 5%-ом уровне достоверности.

*Табл. 4.* Изменения, наблюдаемые в минеральной фракции фосфата в продолжительных опытах (мг/кг Р). (1) Номер почвы. (2) Р-фракции. Остальные обозначения смотри в таблице № 3.

*Табл. 5.* Изменения, наблюдаемые в содержании общего, органического и минерального фосфора почвы, а также в минеральной фракции фосфора и в содержании легко растворимого фосфора в продолжительных опытах. (1) Изученные факторы: А) Р-фракции. В) Общий-Р. С) Минеральный-Р. Д) Органический-Р. Е) Легко растворимый фосфор, определенный АЛ-методом и методом Олесн. (2) Свойства почвы. а) карбонатная; б) не карбонатная. (3) в %-ах от  $P_0$  (4) Изменение в %-ах от I—IV фракций. Р = внесение фосфорных минеральных удобрений.  $P_0$  = без внесения фосфорных минеральных удобрений.

*Табл. 6.* Изменения, наблюдаемые в содержании легко растворимого фосфора почвы в продолжительных опытах (мг/кг Р). (1) Номер почвы. Остальные обозначения смотри в таблице 3.

*Рис. 1.* Зависимость между рН (КСИ) почвы и содержанием слабо связанных фракций фосфора (I фракция). а) содержание  $CaCO_3$ .

*Рис. 2.* А) Зависимость между содержанием в %-ах трудно растворимого Са-фосфата и реакцией среды почвы, рН (КСИ). По вертикальной оси: Са-фосфат (IV) фракция в процентах от I—IV фракций. В) Процентное содержание Fe-фосфат (III) фракции в зависимости от рН (КСИ) почвы. По вертикальной оси: Fe-фосфат (III) фракция в процентах от I—IV фракций.