

A talaj P-állapotának változása tartamkísérletben. I.

FÜLEKY GYÖRGY és KÁDÁR IMRE

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest

A műtrágyázás mai színvonala mellett elengedhetetlenül szükséges, hogy részletes ismereteket nyerjünk a talajba került műtrágya sorsáról és a talaj tápanyag-állapotának megváltozásáról. Hazai talajaink többségénél a makrotápelemek közül a nitrogén mellett elsősorban a foszfornak van nagy jelentősége. Valamely talaj P-állapotának megváltozására az alábbi folyamatok lehetnek hatással:

1. a növények P-felvétele,
2. a talajban levő szervesen és szervetlen foszfátok feltáródása,
3. a) a talajba juttatott műtrágya-P beépülése különböző P-formákba,
b) és e formák további átalakulása.

Egy adott P-állapot ezeknek a folyamatoknak az eredőjeként alakul ki. P-trágyázatlan talajon az 1. és 2. folyamat, kisebb P adaggal történt trágyázás esetében az 1., 2. és 3. folyamat, míg nagy P adagok esetében elsősorban a 3. folyamat a döntő az adott állapot kialakulása szempontjából. Természetesen ezeket a folyamatokat alapvetően befolyásolja a talajtípus, amelyen a folyamatok lezajlanak.

A P-állapot meghatározására talajvizsgálatokat végeznek, emellett fontos útmutatást ad a P-mérleg felállítása, ami a talajba adott és az onnan kivont P különbségét, vagyis a talajban visszamaradt P-mennyiséget mutatja.

A manapság oly sokat használt P-feltöltés (build up) elmélet is azon a tapasztalaton alapul, hogy a talajba juttatott P-műtrágya növeli a talaj könnyen oldható P-készletét, és az így kialakult készlet viszonylag huzamosabb ideig fenntartható. Így például PECK et al. [26] szerint a talaj P-feltöltése egyenesen arányos az alkalmazott műtrágya-P mennyiségével. SHELTON és COLEMAN [31] szerint a feltöltéssel létrejött állapotból csak huzamosabb idő után (néhány év, évtized) alakul ki az egyensúlyi állapot, ami viszont arra enged következtetni, hogy a viszonylag könnyebben oldható P-formák hosszabb ideig is léteznek.

A készlet és állapot fogalma között célszerű különbséget tenni; míg a P-készlet csupán a talaj P-tartalmának a növény rendelkezésére álló, és valamilyen oldószerrel kioldható mennyiségéről ad tájékoztatást, tehát mennyiségi mutató, addig a P-állapot megmutatja a kérdés minőségi oldalát, vagyis a különböző oldékonyságú P-formák mennyiségének, minőségének és egymáshoz való arányának alakulását is.

Korábbi munkánkban [9] ismertettük a talajokban előforduló szerves és szervesen P-formákat. A CHANG és JACKSON [5] által bevezetett csoporto-

sítás szerint az I. frakció az ún. gyengén kötött P-t, a II. frakció — sok talaj esetében, és így elsősorban azoknál, amelyeket nem régen trágyáztak szuperfoszfáttal, valamint amelyekben eredetileg is sok könnyen oldható kalcium-foszfát volt — az alumínium-foszfát mellett változatos összetételű kalcium- és magnézium-foszfátokat is tartalmaz [3, 7, 36, 37, 41]. A III. frakció vas-foszfátokat, a IV. frakció pedig nehezen oldható kalcium-foszfátokat tartalmaz.

Eddig már sok szerző foglalkozott azzal a kérdéssel, hogy a talajhoz adott vízoldható foszforvegyület, mint pl. a szuperfoszfát, milyen formában épül be a talajba. A szerzők többsége szerint a szuperfoszfát elsősorban a II. frakció mennyiségét növeli, de emellett általában jelentős a III. frakció megnövekedése is [1, 4, 6, 8, 11, 12, 13, 14, 18, 19, 21, 22, 24, 31, 32, 38, 40]. Gyakran tapasztalták, hogy az idő múlásával a II. frakció mennyisége a III. frakcióhoz viszonyítva lecsökkent, amit az alumínium-foszfát vas-foszfáttá történő átalakulásával, illetve a növények P-felvételével magyaráznak [2, 4, 11, 16, 19, 22, 31, 33, 34]. A vas-foszfáttá történő átalakulást nemcsak a II., de az I. valamint a IV. frakcióból is tapasztalták [2, 4, 10, 22, 24, 25, 33, 34]. A fenti átalakulásokra a hőmérsékletnek és a talaj nedvességtartalmának is jelentős hatása van [9, 16, 25, 34]. KROBOCSENKO [17] a kalcium-foszfát (IV.) frakció növekedését tapasztalta a többi frakcióból. Amikor azt vizsgálták, hogy a talajok pH-jától függően mely frakcióba épül be a talajhoz adott szuperfoszfát, általában az volt a tapasztalat, hogy a savanyú talajok esetében az alumínium-foszfát és vas-foszfát forma, a pH növekedésével pedig a gyengén kötött P és a kalcium-foszfát frakció került előtérbe a beépülés szempontjából, de ugyanakkor a II. frakció szerepe sem csökkent [15, 17, 20, 23, 30, 41]. KUBAREVA [18] több talajon is vizsgálta a kérdést és azt találta, hogy az I. és II. frakcióban történt a legnagyobb mértékű növekedés a P-trágyázás után. CaCO_3 tartalmú talajok esetében a kalcium-foszfát frakció növekedett meg leginkább a P-trágyázás során [1, 30, 41]. Erősen meszes talajokon az I. frakció megnövekedése is nagyon jelentős lehet [30]. OMOTOSO [24] tapasztalata szerint az I. frakcióban levő gyengén kötött P huzamos ideig ebben a frakcióban marad.

Vizsgálataink arra irányultak, hogy szabadföldi tartamkísérletben vizsgáljuk a talaj P-állapotának és P-készletének változását, valamint a talajba juttatott P-műtrágya beépülését.

Anyagok és módszerek

A P-állapot változását a nagyhorcsógi mészlepedékes csernozjom talajon 1961-ben beállított tartamkísérlet talajain vizsgáltuk egyrészt a gyakorlatban használt talajvizsgáló módszerrel (AL) [28], valamint az OLSEN-féle NaHCO_3 -os módszerrel [39], másrészt a szervesetlen foszfátfrakciók vizsgálatán keresztül [9]. A kísérlet 1. ciklusában (1961—65) kukorica, az utóbbi 8 évben (1965—73) pedig búza volt a jelzőnövény. A kísérleti terület, illetve a kísérlet részletesebb ismertetésével az e témában korábban megjelent dolgozatokban foglalkoztunk [29, 35]. A terület legfontosabb átlagos talajvizsgáló adatai a következők: pH (H_2O) = 7,3, CaCO_3 % = 5, humusz % = 3,5, összes foszfor = 1000 ppm P, leiszapolható rész = 45%. A jelen dolgozatban feldolgozásra került kezeléseket az 1. táblázat mutatja be. A feltüntetett kezelések mindegyike 4 ismétlésben volt beállítva és vizsgálva.

1. táblázat

A kísérletben évente és az egyes mintavételi időpontokig összesen felhasznált P-műtrágya mennyisége, P₂O₅ kg/ha

(1) Kezelés jele	(2) 1961—68 évi adag	(3) 1969-ig összesen	(3) 1969 és 1970. évi adag	(5) 1971-ig összesen	(6) 1971-ben parcella felelés évi adag		(7) 1972-ig összesen b	(8) 1972 évi adag a	(9) 1973-ig összesen a
					a	b			
P _{0/0}	0	0	0	0	0	960	960	1920	1920
P _{0/40}	0	0	40	80	40	960	1040	1920	2040
P _{0/80}	0	0	80	160	80	960	1120	1920	2160
P _{0/120}	0	0	120	240	120	960	1200	1920	2280
P _{180/0}	60	480	0	480	0	960	1440	0	480
P _{180/40}	60	480	40	560	40	960	1520	40	640
P _{180/80}	60	480	80	640	80	960	1600	80	800
P _{180/120}	60	480	120	720	120	960	1680	120	960

Az eredmények és értékelésük

Ahhoz, hogy a P-állapotok közötti különbséget jól észlelhessük, célszerű volt olyan kezeléssű talajokat vizsgálni, amelyek hosszabb időn keresztül rendszeresen lettek P-trágyázva, illetve amelyek nem kaptak P-műtrágyát, valamint olyanokat, ahol egyszerre juttattunk nagyobb mennyiségű foszfort a talajba. A 2. táblázat a kísérlet talajaiban az 1961—68-as időszakban létrejött változásokat mutatja a 8. év végén. Az eredményekből kitűnik, hogy a I. frakcióban történt %-osan a legnagyobb mértékű változás (241%), míg az I.—IV. frakció irányában csökkenő tendenciát tapasztaltunk a növekedés mértékében (241—88—58—3%). Az I., II. és a IV. frakcióban, valamint az AL- és Olsen foszfor értékekben bekövetkezett változás volt szignifikáns. A III. frakció megváltozása statisztikailag nem bizonyított. A %-os változás értékeiből azt is láthatjuk, hogy az AL-foszfor megközelítően olyan mértékben változott meg, mint a II. frakció, az Olsen-foszfor pedig az I. és II. frakció közötti mértékben. A 8 évig trágyázatlan parcellákon a P-mérleg jelentősen lecsökkent, (—140) míg a P-trágyázott kezeléseknél a P-mérleg növekedése volt tapasztalható (+242). A talajban a P-trágyázott és trágyázatlan kezelések között létrejött különbségeket így egyrészt a folyamatos növényi kivonás okozta csökkenés, másrészt az évenként adott P-műtrágya hatására létrejött növekedés eredőjének tekinthetjük. Abból, hogy a vas-foszfát frakcióban bekövetkezett változás nem szignifikáns, arra következtethetünk, hogy ez a forma a vizsgált talajon sem a növényi kivonás, sem a műtrágya-P beépülése szempontjából nem elsődleges jelentőségű. A változások elsősorban a legkönnyebben mobilizálódó I. valamint II. frakcióban történnek, de jelentős a talajtípusra jellemző kalcium-foszfát frakció (IV) megváltozása is.

A 3. táblázat adatai a különböző adagú P-trágyázás hatására létrejött változásokat mutatják. Majdnem minden adag esetében igaz, hogy legnagyobb mértékben az I. és II. frakció növekedett meg, majd a III. és IV. frakció. Míg az I. frakció 1,2 ppm-ről 172 ppm-re, a II. frakció 19,6 ppm-ről 174 ppm-re, addig a III. frakció 6,2 ppm-ről 22,5 ppm-re, a IV. frakció pedig 427 ppm-ről

2. táblázat

8 éves P-műtrágyázás hatása a szervesetlen foszfátfrakciókra,
a könnyen oldható foszfortartalomra, a P-mérlegre és a szemtermésre (1969-ben)

(1) Vizsgált tényezők	P ₀	P ₁₈₀	SzD _{50/0}	(2) Változás	
				ppm P-ben	P ₀ %-ában
A) <i>Frakciók</i>					
<i>Chang-Jackson szerint</i>					
<i>ppm P</i>					
I.	1,2	4,1	1,6	2,9	241
II	19,6	36,8	4,0	17,2	88
III	6,2	9,8	6,1	3,6	58
IV	427	440	9,3	13,0	3
B) <i>Könnyen oldható foszfortartalom</i>					
mg P ₂ O ₅ /100 g talaj				mg P ₂ O ₅	P ₀ %-ában
AL	4,7	8,7	1,7	4,0	84
Olsen	1,3	3,4	1,0	2,1	156
C) <i>P-mérleg</i>					
kg P ₂ O ₅ /ha	-140	+242			
D) <i>Szemtermés</i>					
q/ha	16,0	30,6			

P₀ = 1961-68 között 0 kg P₂O₅/ha

P₁₈₀ = 1961-68 között 480 kg P₂O₅/ha

3. táblázat

Különböző adagú P-műtrágyázás hatása a szervesetlen foszfátfrakciókra
és a könnyen oldható foszfortartalomra

(1) Vizsgált tényezők	(2) Összes felhasznált P ₂ O ₅ kg/ha					
	0	80	160	240	1080	2100
A) <i>Frakciók</i>						
<i>ppm P</i>						
I	1,2	3,0	4,7	5,6	16,8	172
II	19,6	27,0	33,0	38,0	55,4	174
III	6,2	11,0	9,9	8,9	10,0	22,5
IV	427	453	448	442	460	534
B) <i>Könnyen oldható foszfortartalom</i>						
mg P ₂ O ₅ /100 g talaj						
AL	4,7	6,7	7,7	9,1	14,8	74,0
Olsen	1,3				7,4	42,0

4. táblázat

Különböző adagú P-műtrágyázás hatása a szervesetlen foszfátfrakciók %-os megoszlására

(1) Frakciók	(2) Összes felhasznált P ₂ O ₅ kg/ha					
	0	80	160	240	1080	2100
<i>a) A szervesetlen foszfátfrakciók %-os megoszlása</i>						
I	0,3	0,6	0,9	1,1	3,1	19,0
II	4,3	5,5	6,6	7,7	10,2	19,3
III	1,4	2,2	2,0	1,8	1,8	2,5
IV	94,0	91,7	90,5	89,4	84,9	59,2
Összeg	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
<i>b) A trágyázatlan kontrollhoz képest az I–IV. frakcióba beépült P %-os megoszlása</i>						
I		4,5	8,4	10,9	17,7	38,1
II		18,5	32,2	45,4	40,6	34,4
III		12,0	8,9	6,7	4,3	3,6
		65,0	50,0	37,0	37,4	23,9
Összeg		100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

534 ppm-re nőtt meg. Láthatjuk tehát, hogy a változás — jellegét tekintve — nagy adagok esetében hasonló ahhoz, amit az 1961–68 közötti időszakban tapasztaltunk kisebb adagoknál. Nagyobb adagok esetén azonban nyilván már nem a növényi P felvétel és az esetleges P-feltáródás az elsődleges az adott P-állapot kialakítása szempontjából, hanem a talajhoz adott műtrágya-P beépülése az egyes frakciókba és az elsődlegesen képződött P formák további átalakulása.

A ténylegesen bekövetkezett változásokat az előbbinél talán még jobban mutatja a 4. táblázat, ahol a szervesetlen foszfátfrakciók %-os megoszlása, illetve az I–IV. frakcióba beépült P %-os megoszlása van feltüntetve. Az eredményekből jól látható az a tendencia, hogy a P-adagok növekedésével növekszik az I. és II. frakció és csökken a IV. frakció %-os aránya. A III. frakció %-os aránya alig változik a különböző P-adagokkal. 80 kg P₂O₅ adag esetében az I. frakció 0,6 %-a, 1080 kg esetében már 3,1 %-a, 2100 kg esetében pedig 19 %-a a szervesetlen foszfátfrakcióknak. A IV. frakció ennek a fordítottja, 80 kg esetében 91,7 %, 1080 kg esetében 84,9 %, míg 2100 kg P₂O₅ adagnál 59,2 %-át teszi ki a szervesetlen foszfátfrakcióknak. Hasonló képet ad az I–IV. frakcióba beépült P-többlet %-os megoszlása is. Az I. frakcióba beépült P aránya fokozatosan növekedik az adagokkal, a IV. frakcióba beépült P aránya pedig csökkenő tendenciát mutat. A II. frakció a beépülés szempontjából viszonylag változatlan képet mutat.

Az eredményekből az a következtetés vonható le, hogy a P-adagok növekedésével fokozatosan előtérbe kerül az I. frakció — vagyis a legkönnyebben oldható P-forma — aránya és mennyisége. A nehezen oldható kalcium-foszfátokban bekövetkezett növekedés pedig az adagok növelésével

5. táblázat

A régi (1961—68. évi) és az új (1969—70. évi) P-műtrágyázás hatása a szervesetlen foszfátfrakciókra, a könnyen oldható foszfortartalomra és a termésre (talajmintavétel 1971-ben)

(1) Vizsgált tényezők	(2) P-szintek	(3) 1969—70-ben felhasznált P ₂ O ₅ kg/ha					(4) Átlag	%
		0	80	160	240	SzD _{5%}		
A) Frakciók ppm P								
I	P ₀	1,9	3,0	4,7	5,6	1,8	3,8	100
	P ₄₈₀	3,7	5,3	6,5	7,5	1,8	5,7	151
a) különbség SzD _{5%}		1,8	2,3	1,8	1,9		1,9	51
			1,8				1,9	
II	P ₀	22	27	33	38	7	30	100
	P ₄₈₀	31	40	44	46	7	40	133
a) különbség SzD _{5%}		9	13	11	8		10	33
			8				4	
III	P ₀	7,8	11,0	9,9	8,9	4,2	9,4	100
	P ₄₈₀	9,5	10,6	13,5	13,6	4,2	11,8	125
a) különbség SzD _{5%}		1,7	0,4	3,7	4,7		2,4	25
			3,9				1,9	
IV	P ₀	430	453	448	442	18	443	100
	P ₄₈₀	431	454	455	456	18	449	101
a) különbség SzD _{5%}		1	1	7	14		6	1
			19				20	
B) AL-P ₂ O ₅ mg/100 g talaj								
	P ₀	5,6	6,8	7,8	9,2	1,0	7,4	100
	P ₄₈₀	8,3	9,4	11,1	12,4	1,0	10,3	139
a) különbség SzD _{5%}		2,7	2,6	3,3	3,2		2,9	39
			0,9				0,5	
C) Szemtermés q/ha								
	P ₀	17,2	28,6	36,9	39,4	4,8	30,1	100
	P ₄₈₀	34,0	41,5	42,1	42,2	6,8	39,9	132
a) különbség SzD _{5%}		16,8	13,9	5,2	2,8		9,8	32
			5,9				4,7	

P₀ = 1961—68 között 0 kg P₂O₅/ha

P₄₈₀ = 1961—68 között 480 kg P₂O₅/ha

csökkenő tendenciát mutat. Úgy tűnik, hogy az adagoktól függetlenül viszonylag állandó a nehezen oldható formában történő megkötődés és így az adagok növekedésével egyre jelentősebb mennyiségű P jut viszonylag könnyebben oldható formába. Nagyobb adagok esetében azonban az így kialakult állapot az évek múlásával valószínűleg meg fog változni az elsődlegesen létrejött P formák átalakulása következtében.

Az 5. táblázat adatai arra adnak utalást, hogy mennyiben mutatható ki a régebbi P-trágyázás az egyes foszfátfrakciókban, különböző mennyiségű újonnan adott P jelenlétében. Az I. és II. frakciónál — a legtöbb esetben — a IV. frakciónál csak egy esetben kaptunk szignifikáns különbséget az újonnan adott P-adagok között, mind a korábban P-trágyázott, mind pedig a P-

6. táblázat

Az extrém nagyadagú (960 kg P_2O_5 /ha) P-műtrágyázás hatása a korábban (1961—68-ban) létrehozott P-szintekre az 1969—70-ben felhasznált P-adagok átlagában

(1) 1961-ban—68 létrehozott P-szintek	(2) Frakciók, ppm P				AL	Olsen	(3) Szentermés q/ha
	I	II	III	IV	foszfor mg P_2O_5 /100 g talaj		
P_0	17	56	10	460	15,0	7,5	46,8
P_{480}	20	66	13	464	17,7	7,9	46,5
a) különbség	3	10	3	4	2,7	0,4	— 0,3
SzD _{50/0}	18	8	4	12	4,8	1,5	5,1

P_0 = 1961—68 között 0 kg P_2O_5 /ha
 P_{480} = 1961—68 között 480 kg P_2O_5 /ha

trágyázatlan talajokon. A III., vas-foszfát frakcióban viszont nem, vagy alig igazolható különbség volt az újonnan adott P-adagok hatására, hasonlóan az 1961—68 évek között kialakult állapothoz. Az összes újonnan adott P-adag esetében csak az I. és II. frakcióban mutatkozott meg szignifikánsan a régebben adott P-trágya hatása. A III. frakció esetében csak az összes új adag átlagában sikerült bizonyíthatóan kimutatni a korábban adott P-műtrágya jelenlétét. A IV. frakciónál — bár tapasztaltunk különbséget a korábban P-trágyázott kezelések javára — ez a különbség nem volt igazolható. A korábban adott foszfor hatása tehát — mint azt a %-os különbségek is mutatják — leginkább az I. frakcióban volt kimutatható, majd sorrendben a II., III. és IV. frakcióban. Ezek az eredmények is azt erősítik meg, hogy mészlepedékes csernozjom talajon a korábban adott P-műtrágya több éven keresztül is könnyen oldható formában marad. Ezt támasztják alá az 5. táblázatban bemutatott terméseredmények is, ugyanis a korábban nem trágyázott talajon a 80, 160 és 240 kg P_2O_5 műtrágyaadagok csaknem lineárisan növelték a termést. A korábban P-trágyázott talajon azonban már csak az első adag esetén volt szignifikáns terméstöbblet — a jelentős P-utóhatás következtében. Az AL-foszfor értékek az I. és II. frakció változásával mutattak hasonlóságot.

A 6. táblázat 960 kg újonnan adott P-trágya kiszórása utáni vizsgálatok eredményeit mutatja. Sem a termések, sem a talajvizsgálatok között nem volt bizonyítható különbség az 1969—70 évben adott 0, 80, 160 és 240 kg-os régebbi adagok között, ezért csupán ezen adagok átlagában közöljük a vizsgálati eredményeket. A fenti 960 kg vízoldható P-trágya adag általában megszüntette mind az 1961—68-ban, mind pedig az 1969—70-ben létrehozott bizonyítható különbségeket az egyes frakciókban és a terméseredmények között is. Ennek ellenére azonban majdnem minden esetben nagyobb értékeket kaptunk a korábban (1961—68) P-trágyázott kezelésekből. Szignifikáns azonban csak a II. frakcióban volt a különbség. A 8 év alatt létrehozott szintek között meglevő különbségek arra utalnak, hogy még ilyen rendkívül nagy adag hatása sem tűnteti el teljesen a jóval régebben (4—12 évvel korábban) adott P-trágya hatását a talaj P-állapotára.

7. táblázat

A szervesetlen foszfátfrakciók közötti összefüggések (r értékek)

Év	n	I-II	I-III	I-IV	II-III	II-IV	III-IV
1969	32	0,79***	0,28	0,34	0,53**	0,31	0,18
1971	32	0,86***	0,10	0,49*	0,36*	0,60***	0,58***
1972	32	0,62***	0,09	0,68***	0,28	0,50*	0,09
1973	16	0,85***	0,09	0,40	0,23	0,27	0,50*

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

8. táblázat

Könnyen oldható foszfortartalom
és a szervesetlen foszfátfrakciók közötti összefüggések
(r értékek)

Év	n	AL-P ₂ O ₅			
		I	II	III	IV
1969	32	0,91***	0,89***	0,53**	0,35*
1971	32	0,81***	0,88***	0,36*	0,44*
1972	32	0,92***	0,71***	0,26	0,70***
1973	16	0,92***	0,84***	0,01	0,50*

Év	n	Olsen-P ₂ O ₅			
		I	II	III	IV
1969	32	0,90***	0,88***	0,46*	0,36*
1971	32	—	—	—	—
1972	32	0,84***	0,63***	0,26	0,56***
1973	16	0,96***	0,81***	0,06	0,42

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

A 7. és 8. táblázat adatai a szervesetlen foszfátfrakciók közötti, illetve a könnyen oldható foszfor és a szervesetlen foszfátfrakciók közötti lineáris kapcsolatok szorosságát mutatják. A vizsgált szervesetlen foszfátfrakciók közül ezen a talajtípuson elsősorban az I. és II. frakció között van egyértelműen szoros és következetes összefüggés. A két vizsgált kivonószer (AL és Olsen-féle NaHCO₃) is ezzel a két frakcióval mutat szoros összefüggést. Az egyes éveket figyelembe véve látható, hogy 1969-ben az összefüggések valamivel szorosabbak voltak. Abban az évben sikerült mind a négy frakció lineáris kapcsolatát bizonyítani a könnyen oldható foszfortartalommal. Ez arra utal, hogy P-trágyázatlan talajon és kis adagokkal történt trágyázás esetében a konvencionális kivonószerek valószínűleg nemcsak az I. és II. frakciókból, de a III. és IV. frakcióból is képesek kioldani foszfort. A könnyen oldható foszfortartalom-

9. táblázat

A szervesetlen foszfátfrakciók és a könnyen oldható foszfortartalom összefüggése a P-mérleggel

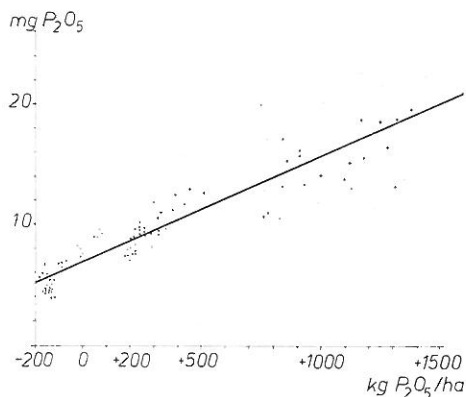
(1) Vizsgált tényezők	Év	n	b	r
A) Frakciók				
			ppm/P/ /100 kg P ₂ O ₅ /ha	
I	1969	32	0,8	0,90***
	1971	32	0,7	0,71***
	1972	32	0,7	0,17
	1969, 71, 72	96	1,4	0,81***
II	1969	32	4,3	0,87***
	1971	32	3,4	0,80***
	1972	32	1,8	0,26
	1969, 71, 72	96	3,1	0,86***
III	1969	32	0,9	0,46*
	1971	32	0,6	0,34
	1972	32	0,8	0,41*
	1969, 71, 72	96	0,3	0,39***
IV	1969	32	3,3	0,41*
	1971	32	2,6	0,34
	1972	32	1,7	0,18
	1969, 71, 72	96	2,4	0,58***
B) Könnyen oldható foszfor				
			mg P ₂ O ₅ / /100 kg P ₂ O ₅ /ha	
AL	1969	32	1,0	0,94***
	1971	32	1,0	0,91***
	1972	32	0,7	0,36*
	1969, 71, 72	96	0,9	0,89***
Olsen	1969	32	0,6	0,95***
	1972	32	0,2	0,16
	1969, 71, 72	64	0,5	0,83***

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

nak a növényi P-felvétellel, illetve a terméssel mutatott szoros összefüggése [27, 29] arra utal, hogy ilyen esetben a növényi tápanyagfelvétel is hasonlóan alakul az egyes frakciókból. Más szavakkal, foszforral rosszul ellátott talajon — növénytáplálkozási szempontból — a III. frakció is szerephez juthat.

A 9. táblázat a talajok P-feltöltésére vonatkozóan ad képet, ahol is a P-mérleg és az egyes foszfátfrakciók közötti lineáris kapcsolat van feltüntetve 1969 és 1971 és 1972-ben. Az összefüggés az I. és II. frakció esetében a legszorosabb. Hasonlóan szoros összefüggést mutat a P-mérleggel a könnyen oldható foszfortartalom is. Látható az is, hogy azokban az években, amikor viszonylag kisebb adagokat szórtunk ki (1969 és 1971) a korreláció szorossága nagyobb volt. Az eredmények tehát azt bizonyítják, hogy a szervesetlen foszfátfrakciók a P-adagokkal lineárisan növekednek. Az 1. ábra pedig szemléletesen mutatja

az AL-foszfor változását a P-mérleg függvényében. Az ábráról látható, hogy a P-mérleg növekedésével a vizsgálati adatok szórása megnő, de az egyenes irány-tangense változatlan, még a negatív mérlegtartományban is. Kísérleti viszonyaink között tehát mind a növényi kivonás, mind pedig a P-trágyázás hatására a talaj P-állapotában létrejött változás megközelítően azonos jellegű volt és mértéke is állandónak tekinthető. A mérleg 100 kg P_2O_5 /ha-ral történő



I. ábra

A P-mérleg és az AL-oldható foszfortartalom összefüggése. $r = 0,89$; $b = 0,9$ mg P_2O_5 (AL)/100 kg P_2O_5 /ha. Függőleges tengely: AL-oldható foszfortartalom, mg P_2O_5 /100 g talaj. Vízszintes tengely: P-mérleg, kg P_2O_5 /ha.

megváltozásakor az AL-foszfor kb. 1 mg-mal, az Olsen-foszfor pedig csupán 0,5 mg-mal változott meg. A vizsgálati értékek előbb említett csökkenő megbízhatóságát a t.s₀ értékek növekedésével is bizonyíthatjuk; így pl. az AL-foszfor értékeknél a mérleg növekedésével a következőképpen alakulnak: 0,00145, 0,00154 és 0,00678 (mg AL- P_2O_5 /kg mérleg P_2O_5).

Összefoglalás

A nagyhörségi mészlepedékes csernozjom talajon 1961-ben beállított tartamkísérletből 1969, 1971, 1972 és 1973-ban vett talajmintákon vizsgáltuk meg az AL- és $NaHCO_3$ -oldható foszfortartalmat, valamint a szervesetlen foszfátfrakciók eloszlását. Munkánk célja a talaj P-állapotában beállott változások nyomkövetése volt.

A kérdés részletesebb vizsgálata előtt célszerűnek mutatkozott különbséget tenni a készlet és állapot fogalma között. Míg a P-készlet a talaj P-tartalmának a növény rendelkezésére álló és valamilyen oldószerrel kioldható mennyiségéről ad tájékoztatást, tehát mennyiségi mutató, addig a P-állapot megmutatja a kérdés minőségi oldalát, vagyis a különböző oldékonyságú P-formák mennyiségének, minőségének és egymáshoz való arányának alakulását is.

A vizsgálatokból levonhatjuk azt a következtetést, hogy ezen a talajtípuson a P-készlet fokozatosan adott kisebb, vagy egyszerre adott nagyobb

P-adag segítségével megnövelhető. A P-trágyázással így kialakított állapot huzamosabb idő után is kimutatható és hatással van az elkövetkezendő évek termésére. Az ekkor kialakult könnyebben oldható I. és II. frakció az idő múlásával részben megtartja oldékonyságát, sőt kisebb-nagyobb frissen adott P-műtrágya adagok sem szüntetik meg az e frakcióban korábban létrejött különbségeket. A talajhoz adott műtrágya-P az adagtól függően megváltoztatja az egyes frakciók abszolút és relatív mennyiségét. Legnagyobb mértékben minden esetben az I. frakció növekedik meg, majd utána sorrendben a II., III. és IV. frakció. A talajba juttatott P legnagyobb része — kisebb adagok esetében — elsősorban a IV. és II. frakcióban található meg. Nagyobb adagoknál relatíve egyre több P kerül az I. és II. frakcióba és kevesebb a IV. és III. frakcióba. Egy adott P-állapot kialakulása emellett függ a trágyázás után eltelt időtől, valamint a P-mérleg alakulásától is.

A P-állapot, vagyis a különböző oldékonyságú P-formák mennyiségének és minőségének illetve egymáshoz való arányának az alakulása a mészlepedékes csernozjom talajokra jellemző képet mutat. Elsősorban a gyengén kötött P (I. frakció), a könnyen- (II. frakció) és nehezen-oldható (IV. frakció) kalcium-foszfátok mennyisége növekszik meg. A vas-foszfátok és valószínűleg az alumínium-foszfátok a talajhoz adott P formáinak kialakulásakor nem játszanak fontos szerepet, azonban rossz P-ellátottság esetén a növények foszfortáplálkozásánál számításba jöhetnek.

A talajok P-feltöltődése egyenes arányos volt a talajhoz adott P-mennyiségével, pontosabban a P-mérleggel. A görbe meredeksége mind a pozitív (feltöltő trágyázás), mind a negatív P-mérleg esetén azonos volt. Kísérletünkben a $-200 + 1500$ mérlegtartományban a mérleg $100 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$ egységgel történő megváltozásakor az AL- P_2O_5 1 mg -mal, az Olsen P_2O_5 pedig $0,5 \text{ mg}$ -mal változott meg.

Irodalom

- [1] AMBERGER, A., SOMMER, G. & SÜSS, A.: Umsetzungen von wasserlöslichem Düngersphosphat in verschiedenen Böden. Landw. Forsch. **22**. 10—25. 1969.
- [2] APPELT, H. & SCHALSCHA, E. B.: Effect of added phosphate on the inorganic phosphorus fractions of soils derived from volcanic ash. Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. **34**. 599—602. 1970.
- [3] BROMFIELD, S. M.: Phosphate sorbing sites in acid soils. II. An examination of the use of NH_4F as a selective extractant for Al-bound phosphate in phosphated soil. Austr. J. Soil. Res. **5**. 225—234. 1967.
- [4] CHANG, S. C. & CHU, W. K.: The fate of soluble phosphate applied to soils. J. Soil Sci. **12**. 286—293. 1961.
- [5] CHANG, S. C. & JACKSON, M. L.: Fraction of soil phosphorus. Soil Sci. **84**. 133—144. 1957.
- [6] CHANG, S. C. & JACKSON, M. L.: Soil phosphorus fractions in some representative soils. J. Soil Sci. **9**. 109—119. 1958.
- [7] DALAL, R. C.: Characterization of soil inorganic phosphorus. I. Relationship of phosphorus to iron and aluminium. Agrochimica. **17**. 385—396. 1973.
- [8] FASSBENDER, H. W.: Phosphate retention and its different chemical forms under laboratory condition for 14 Costa Rican soils. Agrochimica. **12**. 512—521. 1968.
- [9] FÜLEKY, GY. & VARGA, GY.: A foszforvegyületek eloszlása jellegzetes hazai talajokban. Agrokémia és Talajtan. **23**. 41—52. 1974.
- [10] GUL', A. F.: Gruppovoj szosztav dosztupnih foszfatov nekotorih pocsv KOMI ASzSZR. Agrohimiya. (2) 34—38. 1972.
- [11] GULJAKIN, I. V. & CSUPRIKOV, J. K.: Vlijanie udobrenij na foszfatnűj rezsim dernovo-podzolisztoj pocsvű. Agrohimiya. (8) 11—19. 1973.

- [12] HAGEMANN, O., ANSORGE, H. & SAUERT, R.: Möglichkeiten für eine Verbesserung des P-Versorgungszustandes der Böden durch hohe P-Gaben. Arch. Acker- u. PflBau Bodenk. **16**. 329—339. 1972.
- [13] HALSTEAD, R. L.: Chemical availability of native and applied phosphorus in soil and their textural fractions. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. **31**. 414—419. 1967.
- [14] KAILA, A.: Forms of newly retained phosphorus in mineral soils. Maat. Aikak. **36**. 65—76. 1969.
- [15] KOLJANDA, N. K.: Formirovanie foszfatnogo fonda pocsvü pri szisztematicheszkom primenenii udobrenij v szevooborote i na beszmennüh poszevah. Agrohimiya (6) 3—14. 1971.
- [16] KOSZOLAPOVO, A. J.: Vlijanie udobrenij i vozdelivaemüh kultur na dinamiku mineralnüh foszfatov v pocsve. Agrohimiya (1) 24—29. 1973.
- [17] KROBOCSENKO, J. T. & VORONÜJ V. V.: Foszfatinj rezsim bolotnüh pocsv v zaviszimoszti ot sztepeni i prodolzitelnoszti ih oszusenija. Agrohimiya. (1) 30—33. 1973.
- [18] KUBAREVA, L. Sz. & KULESOVA, A. N.: Izmenenie szoderzsniya mineral'nüh form foszfora v pocsve pri vneszenij raznüh doz foszfornüh udobrenij. Agrohimiya. (10) 26—30. 1973.
- [19] KURTZ, L. T. & QUIRK, J. P.: Phosphate adsorption and phosphate fraction in field soils of varying histories of phosphate fertilization. Austr. J. Agr. Res. **16**. 403—412. 1965.
- [20] LAVERTY, J. C. & MCLEAN, E. O.: Factors affecting yields and uptake of phosphorus by different crops. 3. Soil Sci. **91**. 166—171. 1961.
- [21] MANNING, P. B. & SALOMON, M. Forms of phosphorus in soil after long-continued fertilization. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. **29**. 421—423. 1965.
- [22] MASSEY, D. L. SHEARD, R. W. & MILLER, M. H.: Availability of reaction products of fertilizer phosphorus to alfalfa and bromegrass seedlings. Canad. J. Soil Sci. **50**. 141—149. 1970.
- [23] NAZAROV, J. J. & NEMCOVA, E. J.: Formü szoedinenij foszfora v esernozjomah szevernovo Kazahsztana. Agrohimiya. (8) 12—17. 1972.
- [24] OMOTOSO, T. I.: Transformation of phosphates after five years of superphosphate fertilizer application to cacao in a Western Nigeria soil. Agrochimica. **16**. 555—561. 1972.
- [25] PATRICK, W. H. & MAHAPATRA, I. C.: Transformation and availability to rice of nitrogen and phosphorus in waterlogged soils. Adv. Agron. **20**. 339—359. 1968.
- [26] PECK, T. R., KURTZ, L. T. & TANDON, H. L. S.: Changes in Bray P-1 soil phosphorus test values resulting from applications of phosphorus fertilizer. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. **35**. 595—598. 1971.
- [27] SARKADI, J.: A műtrágyaigény-becslési módszerek alapelvei. MTA Doktori értekezés. Budapest. 1971.
- [28] SARKADI, J., KRÁMER, M. & THAMM, F.-né.: Kalcium- és ammónium-laktátos talajkivonatok P tartalmának meghatározása aszkorbinsav-ónkloridos módszerrel melegítés nélkül. Agrokémia és Talajtan. **14**. 75—86. 1965.
- [29] SARKADI, J. & KÁDÁR, I.: The interaction between phosphorus fertilizer residues and fresh phosphate dressings in a chernozem soil. Agrokémia és Talajtan. **23**. Suppl. 93—100. 1974.
- [30] SAYEGH, A. H. & MAJID, A. A.: Phosphorus fractionation and retention in alkaline soils. Agrochimica, **13**. 265—276. 1969.
- [31] SHELTON, J. E. & COLEMAN, N. T.: Inorganic phosphorus fractions and their relationship to residual value of large applications of phosphorus on high phosphorus fixing soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. **32**. 91—94. 1968.
- [32] SCHILLING, G. & WITTER, B.: Die Phosphatbilanz und die Phosphatbindungsformen im Boden bei statischen Felddüngungsversuchen. A. Thier-Arch. **9**. 153—164. 1965.
- [33] SMITH, A. N.: The supply of soluble phosphorus to the wheat plant from inorganic soil phosphorus. Plant and Soil. **22**. 314—316. 1965.
- [34] SMITH, A. N.: Growth of wheat and changes in phosphorus availability in waterlogged soil. Agrochimica. **13**. 235—242. 1969.
- [35] SZÜCS, L.: A mészlepedékes esernozjomok osztályozásának továbbfejlesztése és alkalmazása. Agrokémia és Talajtan. **14**. 153—170. 1965.
- [36] TERPUGOV, A. V. & JUZSAKOV, JU. I.: K metodike frakcionirovanija form foszfora pocsvü. Agrohimiya, (10) 116—121. 1969.
- [37] VAHRAS, K. & WIKLANDER, L.: Phosphate studies in soils, with special reference to Chang and Jackson's fractionation procedure. Lantbrukshögsk. Ann. **36**. 225—234. 1970.

- [38] VOLK, V. V. & McLEAN, E. O.: The fate of applied phosphorus in four Ohio soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. **27**. 53—58. 1963.
- [39] WATANABE, F. S. & OLSEN, S. R.: Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO_3 extracts from soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. **29**. 677—678. 1965.
- [40] WERNER, W.: Kennzeichnung des pflanzenverfügbaren Phosphats nach mehrjähriger Düngung mit verschiedenen Phosphaten. Z. Pflernähr. Bodenk. **122**. 19—32. 1969.
- [41] WERNER, W. & WIECHMANN, H.: Untersuchungen zur Pflanzenverfügbarkeit des durch langjährige Phosphatdüngung angereicherten Bodenphosphats. Z. Pflernähr. Bodenk. **133**. 4—17. 1972.

Érkezett: 1974. augusztus 2.

Change of the Soil Phosphorus Status in a Long-Term Field Experiment. I.

G. FÜLEKY and I. KÁDÁR

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

Summary

The AL- and NaHCO_3 -soluble phosphorus and the distribution of inorganic phosphorus fractions (I, II, III and IV) were investigated in samples taken in 1969, 1971, 1972 and 1973 from a calcareous chernozem soil, on which a long-term field experiment was started in 1961.

Our aim was to determine how the phosphorus status of the soil changed during the investigated period.

In our paper by the term "phosphorus pool" we mean the quantitative index of plant-available phosphorus and of P extractable by chemical agents, respectively. The term P-status, on the other hand, is used in a more restricted sense than usual and describes the quantity and quality, as well as the ratio of different phosphorus forms in soils.

Experimental results show that the phosphorus pool of the studied soil can be increased either by applying repeatedly small doses, or one heavy dose of P-fertilizers. The enriched phosphorus status achieved by P-application can be detected by chemical methods and manifests itself also in forthcoming yields. The easily soluble fractions (I and II) remain rather significant for several years and the quantitative differences in the respective fractions are not equalized by some additional small phosphorus doses. Fertilizer phosphorus changes the absolute and relative quantities of inorganic phosphorus fractions, depending on the rate of P-fertilization. Fraction I changes in the highest degree followed by fractions II, III and IV. In the case of moderate phosphorus fertilization most of the phosphorus can be found in fractions II and IV. When the amount of fertilizer phosphorus is raised, relatively more P can be found in fractions I and II. The change of the P status depends, besides the rate of P fertilization, on the time elapsed since P fertilization and on the phosphorus balance in the soil.

The phosphorus status, i.e. the quantity and quality as well as the ratio of different phosphorus forms, is characteristic of a calcareous chernozem soil. The adsorbed phosphates (fraction I), the easily- (fraction II) and hardly- (fraction IV) soluble calcium phosphates are the most important; the iron- and, probably, aluminium phosphates do not play a significant role but in the case of depleted phosphorus pool, plants can take up these forms, too.

The phosphorus "building up" of this soil is in linear correlation with the amount of applied phosphorus and with the scale of phosphorus balance. The slope of the curve of the relationship is the same both in the positive (build up) and negative (depleting) ranges of phosphorus balance. In this experiment AL-soluble P_2O_5 changed by 1 mg, NaHCO_3 -soluble P_2O_5 by 0,5 mg at a 100 kg P_2O_5 /ha change of the P balance, in the range of -200 + 1500 kg P_2O_5 /ha.

Table I. The amount of fertilizer phosphorus used at the sampling time, and the total amount used till that time, kg P_2O_5 /ha. (1) Treatment; (2) P-amount used yearly,

from 1961 to 1968; (3) Total amount of P used till 1969; (4) P-amount used yearly in 1969 and 1970; (5) Total amount of P used till 1971; (6) Division of plots in two parts in 1971; P-amounts on plots "a" and "b", (7) Total amount of P used on plots "b" till 1972; (8) P-amount used on plots "a" in 1972; (9) Total amount of P used on plots "a" till 1973.

Table 2. The effect of 8-year -phosphorus-fertilization on inorganic phosphate fractions, easily soluble phosphorus, phosphorus balance and crop-yield (in 1969).

(1) Investigated factors: A. Inorganic phosphorus fractions according to Chang and Jackson, ppm P; B. Easily soluble phosphorus, mg $P_2O_5/100$ g soil; C. Phosphorus balance, kg P_2O_5/ha ; D. Crop-yield, q/ha; $P_0 = 0$ kg P_2O_5 in the period of 1961–68, $P_{350} = 480$ kg P_2O_5/ha in the period of 1961–68; (2) Change.

Table 3. The effect of phosphorus fertilization of different rates on inorganic phosphate fractions and easily soluble phosphorus. (1) Investigated factors: A. and B.: see Table 2.; (2) Total applied amount of P_2O_5 kg/ha.

Table 4. The effect of phosphorus fertilization of different rates on the distribution of inorganic phosphate fractions, in percentage. (1) Inorganic phosphate fractions; a. Inorganic phosphate fractions in the percentage of the total of inorganic phosphate fractions; b. Distribution of fixed P in fractions I–IV, in percentage; (2) Total applied amount of P_2O_5 kg/ha.

Table 5. The effect of previously (in 1961–68) and newly (in 1969–70) applied phosphorus on inorganic phosphate fractions, easily soluble phosphorus and crop-yield (sampling in 1971). (1) Investigated factors: A. Inorganic phosphate fractions, ppm P; B. AL-soluble P_2O_5 mg/100 g soil; C. Crop-yield, q/ha; a. difference and $LSD_{5\%}$; (2) Phosphorus levels P_0 and P_{480} : see Table 2; (3) P_2O_5 applied in 1969–70, kg/ha; (4) Average.

Table 6. The effect of extremely heavy phosphorus fertilization (960 kg P_2O_5/ha) on the earlier P levels (in 1961–68) in the average of treatments in 1969–70; (1) P levels developed between 1961–68; a. difference and $LSD_{5\%}$; (2) Inorganic phosphate fractions, ppm P; (3) Crop-yield, q/ha.

Table 7. Relationship between inorganic phosphate fractions (r values). Levels of significance: *** = 0,1%, ** = 1%, * = 5%.

Table 8. Relationship between easily soluble phosphorus and inorganic phosphate fractions. (r values). Levels of significance: *** = 0,1%, ** = 1%, * = 5%.

Table 9. Relationships between inorganic phosphate fractions, easily soluble phosphorus and soil phosphorus balance, respectively. (1) Investigated factors: A. Inorganic phosphorus fractions; b = ppm P/100 kg P balance; B. Easily soluble phosphorus; b = mg $P_2O_5/100$ kg P balance. Levels of significance: *** = 0,1%, ** = 1%, * = 5%.

Figure 1. Relationship between AL-soluble phosphorus and P balance, $r = 0.89$, $b = 0.9$ mg $P_2O_5(AL)/100$ kg P_2O_5/ha . Vertical axis: AL-soluble phosphorus, mg $P_2O_5/100$ g soil. Horizontal axis: P balance, kg P_2O_5/ha .

Änderung des P-Zustandes im Boden in einem Dauerversuch. I.

GY. FÜLEKY und I. KÁDÁR

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

Zusammenfassung

Von dem im Jahre 1961 auf dem Tschernosjomboden mit Kalkhüllen von Nagy-hörsög eingestellten Dauerversuch in den Jahren 1969, 1971, 1972 und 1973 entnommenen Bodenproben wurde der AL- und $NaHCO_3$ -lösliche Phosphorgehalt untersucht und zugleich die Verteilung der anorganischen Phosphorfraktionen nach Chang-Jackson (I, II, III und IV) bestimmt. Ziel der Arbeit war die im P-Zustand des Bodens eingetretenen Veränderungen zu verfolgen.

Bevor die Frage in Einzelheiten besprochen wird zeigt es sich zweckentsprechend die Begriffe «Vorrat» und «Zustand» zu unterscheiden. Der «P-Vorrat» informiert über denjenigen P-Gehalt des Bodens, der der Pflanze zur Verfügung steht und der durch ein

Lösemittel ausgelöst werden kann, ist daher ein quantitativer Index. Demgegenüber stellt der «P-Zustand» einen qualitativen Kennwert dar, d.h. er gibt die Menge, die Qualität und das zueinander bestehende Verhältnis der unterschiedlich löslichen P-Formen an.

Aus den Untersuchungen kann gefolgert werden, dass im Falle dieses Bodens der P-Vorrat mit Hilfe von mehreren kleineren, oder einer auf einmal gegebenen grösseren P-Gabe gesteigert werden kann. Der durch eine bestimmte P-Düngung zustandegebrachte Zustand kann längere Zeit hindurch nachgewiesen werden und übt seine Wirkung auf den Ertrag der folgenden Jahre aus. Die sich nach der Düngung gebildete leichter lösliche Fraktion I und II behält teilweise auch nach Jahren ihre Löslichkeit, ja sogar durch frisch hinzugefügte P-Mineraldüngergaben werden die in diesen Fraktionen früher zustandegekommenen Unterschiede nicht aufgehoben. Das dem Boden beigefügte Mineraldünger-P verändert — abhängig von der Grösse der Gabe — die absolute und die relative Menge der einzelnen Fraktionen. Im grössten Masse wächst in jedem Falle die Fraktion I, nachher in der Reihenfolge Fraktion II, III und IV. Der grösste Teil des dem Boden zugeführten P-s — im Falle von kleineren Gaben — ist in erster Linie in den Fraktionen IV und II wiederzufinden. Bei grösseren Gaben gelangt relative stets mehr P in die Fraktionen I und II weniger in die Fraktionen IV und III. Das Zustandekommen eines gegebenen P-Zustandes hängt daneben von der seit der Düngung verstrichenen Zeit, wie auch von der Gestaltung der P-Bilanz ab.

Der P-Zustand, d.h. die Gestaltung der Menge und Qualität der unterschiedlich löslichen P-Formen, bzw. deren Verhältnis zueinander zeigt ein für die Tschernosjomböden mit Kalkhüllen charakteristisches Bild. In erster Reihe nimmt die Menge des schwach gebundenen P-s (Fraktion I), der leicht- (Fraktion II) und der schwerlöslichen Kalziumphosphate (Fraktion IV) zu. Die Fe-Phosphate, und wahrscheinlich auch die Al-Phosphate spielen bei dem Zustandekommen der einzelnen Formen des dem Boden zugeführten P-s keine wichtige Rolle, sie können aber — im Falle schlechter P-Versorgtheit — bei der Phosphorernährung der Pflanzen in Frage kommen.

Die Erhöhung des P-Vorrates war linear proportional mit der dem Boden zugeführten P-Menge, und mit der P-Bilanz. Der Anstieg der Kurve war bei positiver (Vorratsdüngung), wie auch bei negativer (Bodenerschöpfung) P-Bilanz gleichmässig. In unserem Versuch änderte sich in einem Bereich von -200 bis $+1500$ kg P_2O_5 /ha bei Änderung der Bilanz um 100 kg P_2O_5 /ha der AL- P_2O_5 -Wert um 1 mg, der $0,5$ $NaHCO_3$ P_2O_5 -Wert (Olsen-P) um $0,5$ mg.

Tab. 1. Die im Versuch jährlich und bis zu den einzelnen Zeitpunkten der Probenahme insgesamt gegebene P-Mineraldüngeremenge, kg P_2O_5 /ha. (1) Bezeichnung der Variante. (2) Gaben in den Jahren 1961—68. (3) Summe der Gaben bis 1969. (4) Gaben in den Jahren 1969 und 1970. (5) Summe der Gaben bis 1971. (6) Teilung der Parzellen im Jahre 1971, jährliche Gabe für die Parzellen »a« und »b«. (7) Summe der Gaben bis 1972 auf Parzelle »b«. (8) Gabe im Jahre 1972 für Parzelle »a«. (9) Summe der Gaben bis 1973 auf Parzelle »a«.

Tab. 2. Einfluss der 8jährigen P-Mineraldüngung auf die anorganischen P-Fraktionen, den leichtlöslichen P-Gehalt, die P-Bilanz und den Korntrug (im Jahre 1969). (1) Faktoren: A) Fraktionen nach Chang—Jackson, ppm P. Leichtlöslicher P-Gehalt, mg P_2O_5 /100 g Boden. C) P-Bilanz, kg P_2O_5 /ha; D) Korntrug, dt/ha. $P_0 = 0$ kg P_2O_5 /ha in den Jahren 1961—68; $P_{480} = 480$ kg P_2O_5 /ha in den Jahren 1961—68. (2) Änderung.

Tab. 3. Einfluss der mit verschiedenen P-Gaben durchgeführten Mineraldüngung auf die anorganischen P-Fraktionen und den leichtlöslichen P-Gehalt. (1) Faktoren: A und B) s. Tab. 2. (2) Gesamte verwendete P-Menge in P_2O_5 kg/ha.

Tab. 4. Einfluss der mit verschiedenen P-Gaben durchgeführten Mineraldüngung auf die prozentuelle Verteilung der anorganischen P-Fraktionen: a) Prozentuelle Verteilung der anorganischen P-Fraktionen; b) Prozentueller Verteilung der P-Zunahme in den Fraktionen I—IV, verglichen mit der ungedüngten Bodenprobe. (2) Gesamte verwendete P-Menge in P_2O_5 kg/ha.

Tab. 5. Einfluss der »alten« (1961—68) und der »neuen« (1969—70) P-Mineraldüngung auf die anorganischen P-Fraktionen, den leichtlöslichen P-Gehalt und den Ertrag (Bodenproben genommen in 1971). (1) Faktor: A) Fraktionen, ppm P; B) AL- P_2O_5 mg/100 g Boden; C) Korntrug, dt/ha. a) Differenz und $GD_5\%$. (2) P-Stufen P_0 und P_{480} s. Tab. 2. (3) Die in den Jahren 1969—70 verwendete P_2O_5 -Menge, kg/ha (4) Mittelwert.

Tab. 6. Einfluss der extrem grossen P-Gabe (960 kg P_2O_5 /ha) auf die durch die frühere P-Düngung (in den Jahren 1961—68) zustandegekommenen P-Stufen im Mittel der im Jahre 1969—70 verwendeten P-Gaben. (1) P-Stufen zustandegekommen durch

die Düngung der Jahre 1961—68. a) Differenz und $GD_{5\%}$. (2) Fraktionen, ppm P. (3) Kornertrag, dt/ha.

Tab. 7. Zusammenhänge zwischen den anorganischen P-Fraktionen I, II, III und IV (r-Werte). *** = Signifikant bei 0,1%, ** = bei 1%, * = bei 5%.

Tab. 8. Zusammenhänge zwischen dem leichtlöslichen P-Gehalt und den anorganischen P-Fraktionen (r-Werte). Signifikanz: *** = bei 0,1%, ** = 1%, * = 5%.

Tab. 9. Zusammenhang zwischen den anorganischen P-Fraktionen und dem leichtlöslichen P-Gehalt einerseits, und der P-Bilanz andererseits. (1) Faktoren: A) Fraktionen. b = ppm P/100 kg »P-Bilanz«. B) Leichtlöslicher P-Gehalt, b = mg P_2O_5 /100 kg »P-Bilanz«. Signifikant *** = bei 0,1%, ** = bei 1%, * = bei 5%.

Abb. 1. Zusammenhang zwischen der P-Bilanz und dem AL-löslichen P-Gehalt, $r = 0,89$, b = 0,9 mg AL- P_2O_5 /100 kg P_2O_5 /ha. Ordinate: AL-löslicher P-Gehalt, mg P_2O_5 -100 g Boden. Abszisse: P-Bilanz, kg P_2O_5 /ha.

Изменение состояния фосфора в почве в продолжительных опытах. I.

Д-р. ФЮЛЕКИ и И. КАДАР

Научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии В. А. Н. Будапешт

Резюме

Из опыта, заложенного в 1961 году в Надьхёрчег на мицелярном черноземе в, 1969, 1971, 1971 и 1973 годах взяли образцы почвы и в них определили содержание АЛ и $NaHCO_3$ -растворимого фосфора, а также распределение неорганических фосфотных фракций (I, II, III и IV). В нашей работе мы поставили целью проследить изменения в состоянии почвенного фосфора.

Прежде чем подробно изложить этот вопрос мы считали нужным уточнить понятие «запас» и «состояние» фосфора в почве. Понятие «запас» фосфора дает представление о содержании в почве фосфора представленного растениям и растворимого в каком либо растворителе, таким образом является количественным показателем, в то время, как «состояние» фосфора указывает на качественную сторону вопроса т. е. показывает как формируется количественное, качественное отношение и взаимоотношение между формами фосфора различной растворимости.

Данные проведенных исследований позволили сделать вывод, что для этого типа почвы запас фосфора можно увеличить постепенно малыми дозами или одноразовым внесением высокой дозы фосфора. Состояние фосфора, созданное внесением фосфорных минеральных удобрений, проявляется продолжительное время и оказывает влияние на урожай следующих лет. Образованные в это время легкорастворимые фракции I. и II. по прошествии некоторого времени частично сохраняют свою растворимость, более того, различные дозы свежеснесенных фосфорных минеральных удобрений не снижают различий во фракциях. Внесенные в почву фосфорные минеральные удобрения в зависимости от дозы внесения изменяют абсолютные и относительные количества отдельных фракций. Во всех случаях в небольшой мере увеличивается содержание I. фракции, затем по порядку II., III. и IV. фракций. Большая часть, вносимого в почву фосфора — в случае малых доз находится в IV. и II. фракциях. При внесении более высоких доз относительно большее количество фосфора попадает в I. и II. фракции, меньшее — в IV. и III. фракции. Формирование одного определенного состояния фосфора зависит от времени, прошедшего с момента внесения минеральных удобрений, а также от установившегося баланса фосфора.

Состояние фосфора, т. е. формирование количественного, качественного соотношения и взаимоотношения форм фосфора различной растворимости, характерно для мицелярного чернозема. В первую очередь, увеличивается содержание слабо связанной фракции (I), легко- (II фракция) и труднорастворимой (IV) фракций сульфата кальция. Сульфаты железа и, по всей вероятности, сульфаты алюминия не играют важной роли в образовании форм фосфора, но при низкой обеспеченности почвы фосфором должны быть учтены при фосфорном питании растений.

Пополнение почвы фосфором находилось в прямой зависимости с количеством внесенного фосфора, точнее с балансом фосфора. Крутизна кривой как при положительном (внесение минеральных удобрений), так и при отрицательном (истощение почвы) балансе была примерно одинаковой. В областях баланса — 200 + 1500 с изменением баланса на

величину 100 кг P_2O_5 /га содержание АЛ-растворимого фосфора изменилось на 1 мг, содержание Олсен-растворимого фосфора — на 0,5 мг.

Табл. 1. Количество фосфорных минеральных удобрений, вносимых в опыте ежегодно и всего до время взятия отдельных образцов, кг P_2O_5 /га. (1) Обозначение варианта. (2) Доза ежегодно вносимых минеральных удобрений, 1961—1968 г. (3) Всего внесено до 1969 года. (4) Дозы внесения 1969 и 1970 г. (5) Всего внесено до 1971 года. (6) Годовая доза на делянках «а» и «б» в 1971 году при разделении делянок. (7) Всего внесено на делянке «б» до 1972 г. (8) Всего внесено на делянке «а» до 1972 года. (9) Всего внесено на делянке «а» до 1973 года.

Табл. 2. Влияние восьмилетнего внесения фосфорных минеральных удобрений на неорганические фосфатные фракции, на содержание легкорастворимого фосфора, на баланс фосфора и на урожай зерна (1969 г.). (1) Изученные факторы: А) Фракции по Чагг-Джексон в мг/кг. В) Содержание легкорастворимого фосфора в мг P_2O_5 /100 г почвы. С) Баланс фосфора кг P_2O_5 /га. Д) Урожай зерна в ц/га. P_0 = в 1961—1968 0 кг P_2O_5 /га. P_{480} = в 1961—1968 гг. 480 кг P_2O_5 /га. (2) Изменения.

Табл. 3. Влияние различных доз внесения фосфорных минеральных удобрений на неорганические фосфатные фракции и на содержание легкорастворимого фосфора. (1) Изученные факторы. А) до В) смотри в таблице 2. (2) Общее количество усвоенного P_2O_5 в кг/га.

Табл. 4. Влияние различных доз внесения фосфорных минеральных удобрений на процентное распределение неорганических фосфатных фракций. (1) Фракции: а) процентное распределение неорганических фосфатных фракций; б) процентное распределение фосфора, содержащегося в I—IV фракциях, по сравнению с неудобренным контролем. (2) Общее количество усвоенного фосфора в кг/га.

Табл. 5. Влияние «старого» (1961—1968 г.) и «нового» (1969—1970 г.) фосфорного минерального удобрения на неорганические фосфатные фракции, на содержание легкорастворимого фосфора и на урожай зерна (взятие почвенных образцов в 1971 году). (1) Изученные факторы: А) Фракции фосфора в мг/кг; В) АЛ- P_2O_5 мг/100 г почвы; С) Урожай зерна в ц/га; а) расхождение и $CNP_{0,5}^{\%}$ (2) Уровни внесения фосфорных минеральных удобрений P_0 и P_{480} смотри в таблице 2. (3) P_2O_5 в кг/га использованный в 1969—70 г.

Табл. 6. Влияние сверхвысоких доз (960 кг P_2O_5 /га) фосфорных минеральных удобрений на уровни фосфора, созданные в 1961—68 гг, в среднем из доз, использованных в 1969—70 годах. (1) Уровни фосфора, созданные в 1961—68 годах. а) Расхождения и $CNP_{0,5}^{\%}$. (2) Фракции в мг/кг. (3) Урожай зерна в ц/га.

Табл. 7. Взаимосвязь между неорганическими фосфатными фракциями I, II, III и IV. (значение г). xxx = достоверность на уровне 0,1%. xx = достоверность на уровне 1% x = достоверность на уровне 5%.

Табл. 8. Взаимосвязь между содержанием легкорастворимого фосфора и неорганическими фосфорными фракциями (значение г). xxx = достоверность на уровне 0,1%. xx = достоверность на уровне 1%. x = достоверность на уровне 5%.

Табл. 9. Взаимосвязь между неорганическими фосфатными фракциями, содержанием легкорастворимого фосфора, с одной стороны, и балансом фосфора, с другой. (1) Изученные факторы: А) Фракции. В) Легкорастворимый фосфор в мг/100 кг «Р-баланс». xxx = достоверность на уровне 0,1%. xx = достоверность на уровне 1%. x = достоверность на уровне 5%.

Рис. 1. Соотношение между балансом фосфора и содержанием АЛ-растворимого фосфора, $0 = 0,89$, $b = 0,9$ мг P_2O_5 (АЛ) /100 кг P_2O_5 /га. По оси ординат: содержание АЛ-растворимого фосфора, мг/100 г почвы. По оси абсцисс: баланс фосфора, кг P_2O_5 /га.