

Néhány jellemző talajtulajdonság hatása a talajok foszfátmegkötő képességére

KERESZTÉNY BÉLA és PERJÁMOSI MÁRIA

Mezőgazdasági Akadémia, Kémia-Talajtani Tanszék,
Mósonmagyaróvár

A szuperfoszfáthatások nagymértékben függnék a talajok foszfátmegkötőképességétől. A talajok e káros tulajdonsága sok tényezőtől függ. Ennek irodalma FÁBRYNÉ [7] és HAASNÉ [11] dolgozataiban megtalálható, ezért csak a tárgykörünket közelebbről érintő közleményeket ismertetjük.

A talajok foszfátmegkötőképessége jelentős mértékben függ kémhatásuktól, mint azt FÁBRYNÉ [7] és HAASNÉ [11] hazai talajokon is megfigyelte. VILENSZKI [27] szerint ez abból adódik, hogy a foszfátokkal vegyülő kicszerelhető kationok minőségét, az amfolitoidok disszociációfokát, továbbá a különböző kicsapódott foszfátok oldhatóságát a pH-érték befolyásolja.

A szöveti tulajdonságokkal való összefüggésre többek között HAASNÉ [11], KANWAR [15], GORSENIN [10] és GINZBURG [8] mutatott rá.

A talaj szervesanyag-tartalma általában csökkenti a foszfátmegkötődést. Ezt a jelenséget DÖRING [6] az agyagásványokhoz adott humuszvegyületekkel mutatta ki. MISTERSKI [20] vizsgálataiból kitűnik, hogy a kalciumionok a foszfátokkal és a humuszvegyületekkel egyaránt alkotnak sókat. Ha nagy mennyiségű humusz van jelen, akkor az sok kalciumot von el az oldatból és így a foszfátok szabadon maradnak. Ezekkel az adatokkal látszólag ellentétben áll az a VÁRALLYAY [26] által is kimutatott tény, hogy a láptalajok igen nagy foszfátmegkötőképességgel rendelkeznek. Erre az ellentmondásra talán KAILA [14] vizsgálatai adhatnak választ. Az általa megvizsgált láptalajok foszfátmegkötőképessége ugyanis savban oldható vas- és alumíniumtartalmukkal volt összefüggésben. BÉRES és KIRÁLY [3] szerint viszont a tőzegfulvósavak igen mozgékony állapotú vasat tartalmaznak.

Már Rauterberg (cit. [7]) megfigyelte, hogy a kis Neubauer-számú talajok közömbös híg oldatokból több foszfátot kötöttek meg, mint a nagy Neubauer-számúak. A Langmuir-egyenletről (cit. [9, 23]), mely például HATCHER és BOWER [12] szerint jól alkalmazható a talajok bóradszorpciójára, szintén következik, hogy kisebb könnyen oldható foszfortartalmú talajok nagyobb foszfátmegkötőképességgel kell hogy rendelkezzenek, egyébként azonos körülmények között. A talajokban levő mészszemcsék is reakcióba léphetnek a foszfátokkal BOISCHOT és munkatársai [4] vizsgálatai szerint.

Ezeken a tényezőkön kívül HEMWALL [13] és DÖRING [6] vizsgálatai szerint az agyagásványokban levő alumínium, illetőleg vas, KANWAR [15] szerint a másfélszeres oxidok, HAASNÉ [11] szerint a komplexonban oldható vas- és alumíniumtartalom, MÁTÉ és MOLNÁR [19] szerint a redox-viszonyok, DEMOLON [5] szerint a talaj sótartalma, ADERIHIN [1] szerint pedig a talaj szerkezete is befolyásolja a foszfátok megkötődését.

A legtöbb adszorpcióvizsgálat, így FÁBRYNÉ [7], SCHÖNFELD és PSIKNÉ [22], továbbá HAASNÉ [11] vizsgálatai is oly módon történtek, hogy a talaj és a foszfátoldat viszonylag rövid ideig, legfeljebb néhány órán át érintkezett egymással. Várallyay (cit. [2]) érleléses módszere viszont a talajnak és a foszfátoldatnak 18 napon át való érintkezését teszi lehetővé. Így e természetes körülményekhez közelebb álló vizsgálattal megfelelőbb adszorpciós értékeket kaphatunk, melyek számításaink szerint [16] a műtrágyahatásokkal jó összefüggéseket mutatnak. Ezért vizsgálatainkat Várallyay módszerével végeztük és összefüggéseket kerestünk a talajok alapvizsgálati adataival.

Vizsgálati módszerek

A vizsgálatokhoz 44 talajmintát használtunk fel. Úgy válogattuk ki őket, hogy lehetőleg minél inkább eltérő tulajdonságúak legyenek. A sötét színű lithomorf erdőtalajok és néhány váztalaj kivételével az összes hazai főtípus képviselve van közöttük néhány altalajszinttel együtt. Főbb vizsgálati adataikat az 1. és 2. táblázat tartalmazza.

Az 1. táblázatban nincs feltüntetve a típus és altípus, mivel nem volt a vizsgálatok célja a talajtípusokkal való összefüggések keresése. A táblázat utolsó két oszlopában szereplő foszfortartalomnövekedéseket Várallyay módszerével határoztuk meg oly módon, hogy a talajmintákat a megadott 8 mg P_2O_5 /100 g tartalmú foszfátrágyázóoldattal jól elkeverve az Arany-féle kötöttségi szám felének megfelelő mennyiségű vízzel morzsás állapotban 21 napon át termosztátban 20 C°-on tartottuk, majd meghatároztuk a trágyázott és a trágyázatlan talaj Egnér—Riehm-foszfortartalma közötti különbséget és elosztottuk négygyel. Így megkaptuk, hogy 2 mg P_2O_5 trágyázóoldatból mennyi maradt meg könnyen oldható állapotban az érlelés után. A foszfortartalomnövekedési értékeket a talajhoz adott foszfor mennyiségének százalékában is megadtuk az utolsó két oszlopban. A legutolsó oszlopban szereplő számított értékek magyarázatára később kerül sor.

A 2. táblázatban található szervesanyag-tartalom-meghatározásokat a káliumpermanganátos módszerrel végeztük. Az összes vizsgálatokat a Talajvizsgálati Módszertan [2] előírásai alapján végeztük. Láptalajok és homokok Arany-féle kötöttségi számát is meghatároztuk oly módon, hogy annyi vizet adtunk hozzájuk, hogy a keletkezett pép éppen folyóssá lett. A 29. számú talajminta Egnér—Riehm foszfortartalma igen nagy. Ez az oka annak, hogy az 1. táblázatban található foszfortartalomnövekedési értéke igen nagy hibával terhelt.

Összefüggéseket kerestünk az alapvizsgálati adatok és a foszfortartalomnövekedés között a SNEDECOR [25] könyvében található statisztikai-matematikai módszerekkel. Mivel az irodalmi adatok szerint a talajok foszfátmegkötőképessége sok tényezőtől függ, többszörös regressziós egyenletek együtthatóit is kiszámítottuk, a korrelációs együtthatókon kívül. E számításokat azonban megnehezítette, hogy az összefüggések általában nem voltak egyenesvonalúak.

Görbe vonalú összefüggés egyenletét parabolikus közelítéssel lehet meghatározni oly módon, hogy a független változó értékeit, továbbá azok négyzetét, köbét vagy más hatványát, esetleg más függvényét is független változóként többszörös regressziós egyenletbe foglaljuk össze. Az egyenlet együtthatóit a szokásos módon számítjuk ki.

A 2. táblázatban ötféle talajvizsgálati adat található. A felállítandó egyenletrendszerben tehát 5 független változónak kellene szerepelnie. E változóktól azonban nem egyenes vonalúan függ a foszfortartalomnövekedés. Ezért mind az öt változót négyzetes, esetleg köbös stb. formában is kellene szerepeltetni. Ilyen megoldást SILLANPÄÄ [24] hasonló jellegű közleményében lehet találni kétváltozós regressziós egyenlet megoldásánál. Jelen esetben tehát legalább 10—15 független változót kellene figyelembe venni, ami a számításokat pusztán számológép használatával, csaknem lehetetlenné tenné. Ezért közelítő megoldáshoz folyamodtunk.

Az előzetes számítások azt mutatták, hogy a talaj mésztartalmának nincsen érdemleges befolyása a foszfátmegkötőképességre, ezért ezt a tényezőt kizártuk a további számításokból. Maradt tehát négy független változónk. Ezután felállítottunk egy olyan többszörös regressziós egyenletet, melyben független változóként a négy talajvizsgálati adat, továbbá a negyedik adat négyzete és köbe is szerepelt. A hat független változós egyenletrendszer — ha fáradságosan is — megoldható volt. Ezután a három csak első

1. táblázat
A vizsgált talajminták jellemző adatai

(1) Sor- szám	(2) Szármarzási hely	(3) Főtípus	(4) Mélység	(5) Foszfortartalomnövekedés		
				(6) meghatározott		(7) számított
				mg P ₂ O ₅	%	%
1	Magyaróvár	a) réti talaj	0—20	0,81 ± 0,09	41	40
2	Magyaróvár	b) ártéri üledéktalaj	0—20	0,29 ± 0,02	15	23
3	Magyaróvár	b) ártéri üledéktalaj	0—20	0,18 ± 0,33	9	41
4	Csöngye	b) ártéri üledéktalaj	0—20	1,03 ± 0,07	52	48
5	Horvátkimle	a) réti talaj	0—30	0,72 ± 0,09	36	31
6	Horvátkimle	a) réti talaj	15—45	0,05 ± 0,01	3	27
7	Horvátkimle	a) réti talaj	65—85	0,14 ± 0,02	7	21
8	Horvátkimle	a) réti talaj	55—75	0,05 ± 0,02	3	11
9	Horvátkimle	a) réti talaj	20—45	0,33 ± 0,07	17	49
10	Horvátkimle	a) réti talaj	40—75	0,10 ± 0,02	5	14
11	Horvátkimle	a) réti talaj	0—20	1,28 ± 0,45	64	43
12	Horvátkimle	a) réti talaj	0—20	1,28 ± 0,34	64	37
13	Szerecseny	c) barna erdőtalaj	70—90	0,97 ± 0,13	49	17
14	Magyarkeresztúr	g) ártéri üledéktalaj meszezve	0—20	0,85 ± 0,20	43	52
15	Magyarkeresztúr	g) ártéri üledéktalaj meszezve	0—20	1,42 ± 0,35	71	52
16	Márialiget	d) csernozjom	20—90	1,21 ± 0,29	61	49
17	Márialiget	d) csernozjom	0—20	0,98 ± 0,06	49	59
18	Márialiget	d) csernozjom	0—20	0,74 ± 0,25	37	43
19	Márialiget	d) csernozjom	20—125	0,71 ± 0,12	36	16
20	Ják	c) barna erdőtalaj	0—20	0,93 ± 0,20	47	50
21	Kistölgyfa major	e) láptalaj	0—25	0,00 ± 0,06	0	10
22	Söpte	c) barna erdőtalaj	0—25	0,97 ± 0,27	49	44
23	Répcelak	b) ártéri üledéktalaj	0—25	0,74 ± 0,13	37	25
24	Ajkarendek	c) barna erdőtalaj	0—20	1,11 ± 0,05	56	22
25	Ják	c) barna erdőtalaj	0—20	1,49 ± 0,12	75	60
26	Szigetköz	b) ártéri üledéktalaj	0—20	1,46 ± 0,08	73	42
27	Szigetköz	b) ártéri üledéktalaj	60—125	0,81 ± 0,08	41	20
28	Szerecseny	c) barna erdőtalaj	25—50	0,66 ± 0,07	33	60
29	Körmend	c) barna erdőtalaj	0—20	0,83 ± 1,01	42	31
30	Litke	c) barna erdőtalaj	0—20	1,15 ± 0,14	58	60
31	Szerecseny	c) barna erdőtalaj	40—70	0,58 ± 0,04	29	45
32	Győr	f) szikes	0—30	2,32 ± 0,25	116	77
33	Győr	f) szikes	70—150	0,80 ± 0,09	40	32
34	Győr	f) szikes	0—3	1,88 ± 0,04	94	87
35	Győr	f) szikes	30—80	0,13 ± 0,02	7	29
36	Magyaróvár	e) láptalaj	0—20	0,48 ± 0,06	24	42
37	Ják	c) barna erdőtalaj	0—20	0,86 ± 0,07	43	45
38	Porpác	c) barna erdőtalaj	0—20	1,12 ± 0,08	56	68
39	Szerecseny	c) barna erdőtalaj	0—20	1,02 ± 0,03	51	60
40	Litke	c) barna erdőtalaj	0—20	1,72 ± 0,28	86	54
41	Sárvár	b) ártéri üledéktalaj	0—20	0,41 ± 0,13	21	30
42	Kistölgyfa major	e) láptalaj	20—90	0,18 ± 0,04	9	—3
43	Nemesszalók	c) barna erdőtalaj	0—20	1,28 ± 0,07	64	59
44	Beled	b) ártéri üledéktalaj	0—20	0,64 ± 0,06	32	44

hatványon szereplő független változó helyőbe azoknak a kísérleti adatokból számított átlagértékét helyettesítve (tehát azokat állandóknak tekintve) megkaptuk, hogy hogyan függ a talaj foszfortartalomnövekedése a negyedik független változótól. Így olyan görbe vonalú egyenletet kaptunk a negyedik független változóra vonatkozólag, melyben a másik három független változó hatása is figyelembe volt véve.

Ezen egyenlet segítségével kiszámítottuk, hogy az első három független változó állandónak tekintve, az egyes negyedik független változó értékeknek mekkora foszfortartalomnövekedési érték felel meg. Az így kapott értékeket használtuk ezután a negyedik független változó eredeti értékei helyett a további számításokhoz.

Felállítottunk egy újabb többszörös regressziós egyenletet, melyben ezúttal az első két független változó, továbbá a negyedik független változóból számított értékek szerepeltek független változóként, továbbá a harmadik független változó az első, második és harmadik hatványon. Így ismét 6 független változót tartalmazó egyenletet kaptunk. Kiszámítottuk a megfelelő regressziós együtthatókat, majd hasonlóképpen jártunk el tovább, míg végül megkaptuk mind a négy független változó görbevonalú egyenletét.

Az eredmények megbeszélése

A foszfortartalomnövekedéseknek az egyes alapvizsgálati adatoktól való függését a következő egyenletek mutatják:

$$N_{pH} = 72,4 \frac{pH - 3}{pH - 2} - 5,68 pH + 4,99 \frac{(pH - 3)^3}{100} - 20,50 \quad (1)$$

$$N_K = -0,0247 K - 0,18 \left(\frac{K}{100} \right)^3 + 2,00 \quad (2)$$

$$N_{Sz} = 0,8034 \log 10 Sz + 0,0079 Sz - 0,23 \quad (3)$$

$$N_p = 0,3069 \log 100 p - 0,0083 p + 0,13 \quad (4)$$

Az egyenletekben pH a talaj vizes szuszpenzióban mért pH-értékét, K az Arany szerint meghatározott kötöttségi számát, Sz a káliumpermanganátos módszerrel meghatározott szervesanyag-tartalmát, p pedig Egnér—Riehm-foszfortartalmát jelenti. Az N -értékek a trágyázás hatására bekövetkezett foszfortartalomnövekedéseket jelentik az indexben megadott talajvizsgálati adat függvényében.

Az 1. egyenlet bonyolult volta további magyarázatra szorul. Az előbb ismertetettek szerint pH, pH^2 és pH^3 kifejezéseknek kellene benne szerepelniük. Mivel azonban az egyes pH-értékek csak igen kis variabilitást mutatnak (variabilitási együttható = 15%), azért a pH^2 -értékeket a pH-értékek függvényében ábrázolva az egyenestől alig eltérő görbét kapunk. Másképpen kifejezve a pH^2 - és a pH-értékek között igen szoros korreláció van. Márpedig SNEDECOR [25] szerint a többszörös regressziós egyenletek együtthatóinak kiszámítását összezavarja, ha két független változó szoros korrelációban van egymással. Ezt tapasztaltuk is számításainkban. Próbálgatások útján arra az eredményre jutottunk, hogyha a pH^2 helyett a $\frac{(pH - 3)^3}{100}$ kifejezést használjuk, akkor

ennek a kifejezésnek a pH-értékekkel való korrelációja kiscbb. Hasonló okok miatt kellett az egyenletrendszer első tagjaként a $\frac{pH - 3}{pH - 2}$ kifejezést alkalmaz-

nunk. A 3. és 4. egyenletekben azért használtunk logaritmikus kifejezéseket, mivel előzetes korrelációs számítások tanulsága szerint ezek voltak a legmegfelelőbbek.

Az egyenletekben szereplő regressziós együtthatók megbízhatóságát úgy vizsgáltuk, hogy azok hibáját kiszámítottuk, majd a regressziós együtthatók

2. táblázat

A talajminták alapvizsgálatai adatai

(1) Sor- szám	(2) Kötött- ségi szám Arany szerint	(3) Szerves- anyag%	pH (H ₂ O)	CaCO ₃ %	(4) Egner- Riehm foszfor mg/100 g	(1) Sor- szám	(2) Kötött- ségi szám Arany szerint	(3) Szerves- anyag %	pH (H ₂ O)	CaCO ₃ %	(4) Egner- Riehm foszfor mg/100 g
1	58	3,9	7,2	—	12,1	23	56	3,1	6,5	—	0,1
2	46	3,0	8,2	20,5	0,1	24	44	1,3	7,0	—	0,0
3	32	0,5	8,5	20,0	7,4	25	41	2,7	6,5	—	1,3
4	44	1,3	6,5	—	5,9	26	48	2,7	8,2	14,4	10,1
5	54	3,9	8,0	27,9	1,1	27	40	0,9	8,7	26,3	0,0
6	50	3,0	7,8	2,8	1,0	28	28	1,1	7,1	—	5,0
7	56	2,8	8,7	12,8	0,2	29	43	2,3	7,7	0,3	85,3
8	40	0,7	7,8	18,3	0,2	30	37	2,2	5,7	—	2,4
9	52	5,6	7,7	2,7	5,8	31	28	0,8	7,0	—	0,5
10	40	0,9	8,2	37,0	0,1	32	36	1,2	9,2	19,7	13,3
11	58	6,4	8,2	6,3	3,6	33	25	0,3	8,7	24,3	0,5
12	58	3,0	7,2	—	7,0	34	30	1,3	9,3	20,1	2,5
13	32	0,4	8,3	17,0	0,3	35	38	0,6	9,1	29,3	0,1
14	36	1,9	7,5	0,4	4,5	36	98	40,0	6,9	—	8,8
15	34	2,0	7,5	0,2	2,1	37	44	1,9	6,9	—	4,3
16	44	2,1	8,7	12,4	3,2	38	28	1,3	6,2	—	3,0
17	40	2,9	8,6	2,3	4,7	39	29	1,1	7,0	—	2,4
18	44	2,6	8,1	0,2	3,1	40	41	2,0	5,8	—	2,9
19	40	0,9	8,5	29,6	0,0	41	48	2,1	5,3	—	2,2
20	44	1,5	6,6	—	11,0	42	84	33,3	4,9	—	2,8
21	100	37,0	5,5	—	0,2	43	33	1,4	6,8	—	3,8
22	44	1,7	7,1	—	7,2	44	50	2,3	5,9	—	1,7

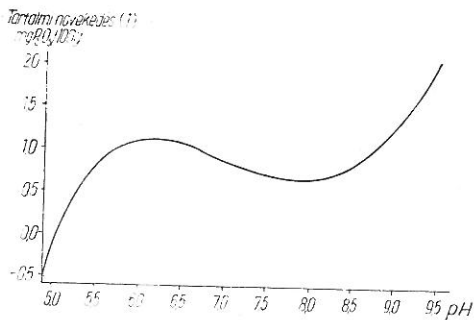
és hibájuk hányadosaként kiszámítottuk a *t*-értékeket Student szerint. Az 1. egyenletben mind a három regressziós együttható szignifikáns. Az első eléri, a másik kettő erősen megközelíti a 99,9%-os valószínűséget. A megfelelő *t*-értékek sorrendben: 3,52, 3,41, 3,45. A szabadságfokok száma 37. A 2. egyenletben egyik regressziós együttható sem szignifikáns. A 3. és 4. egyenletben csak a logaritmusos értékek regressziós együtthatói szignifikánsak mindkét esetben 95%-os valószínűséggel. A megfelelő *t*-értékek sorrendben: a 2. egyenletben 1,73 és 0,21, a 3. egyenletben 2,12 és 0,32, a 4. egyenletben 2,57 és 1,23. A szabadságfokok száma 36.

A görbe vonalú egyenleteket az 1–3. ábrák szemléltetik.

Az 1. ábra szerint a talajok foszfátmegkötőképessége a kis pH-értékektől felfelé mintegy 6–6,2 pH-értékig csökken (a meg nem kötött foszfáttartalom növekedik), majd körülbelül a 8,0 pH-értékig növekszik, végül a 8,0 pH-értéktől felfelé ismét csökken. Ezek a megfigyelések jól egybevágnak az irodalomban található következtetésekkel. LAATSCH [17], továbbá HATSHER és BOWER [12] adatai szerint ugyanis a savanyú talajokban főképpen vas- és alumíniumfoszfátok találhatóak, melyek oldhatósága a pH-érték növekedésével arányosan növekszik. Közben azonban mindkét szerző adatai szerint valahol a 6 pH-érték körül már a kalciumfoszfátok kerülnek túlsúlyba, melyek oldhatósága viszont csökken a pH-érték növekedésével. Ez érthetővé teszi a görbének lefelé irányuló ágát. Az ábra második felfelé haladó részét DEMOLON [5] vizsgálati eredményeivel magyarázhatjuk. Szerinte ugyanis erősen lúgos

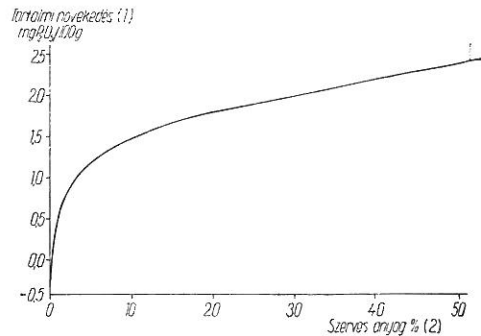
közegben a kalciumfoszfátok nátrium- és káliumfoszfátokká alakulnak, melyek jól oldhatók. Az oldatban maradt foszfáttartalom és az Arany szerint meghatározott kötöttségi szám között a 2. egyenlet szerint közelítőleg egyenes-vonalú fordított összefüggés áll fenn.

A 2. ábra szerint a szervesanyag-tartalom növekedése a meg nem kötött foszfátok mennyiségét növeli. A humuszanyagoknak ezt a kedvező hatását több szerző, így többek között DÖRING [6], DEMOLON [5] és Chaminade (cit. [21]) is megemlíti. E védő hatás a szerzők szerint abban áll, hogy a humusz-



1. ábra

A 2 mg $P_2O_5/100$ g trágyázóoldat hatására bekövetkezett foszfartartalomnövekedés nagysága a talaj pH-értékének függvényében



2. ábra

A 2 mg $P_2O_5/100$ g trágyázóoldat hatására bekövetkezett foszfartartalomnövekedés nagysága a talaj szervesanyag-tartalmának függvényében

vegyületek megkötik a talajban levő kalcium-, vas- és alumíniumionokat és ezáltal csökkentik a foszfátmegkötődést.

A 2. egyenlet és a 2. ábra között látszólagos ellentét áll fenn, mely magyarázatra szorul. A talajok Arany szerint meghatározott kötöttségi száma és szervesanyag-tartalma között ugyanis szoros összefüggés van, mely a vizsgált talajoknál 99%-os valószínűséggel szignifikáns volt $r = 0,886$ korrelációs együtthatóval. Érdekes, hogy a foszfátmegkötőképesség az Arany szerint meghatározott kötöttségi számmal szignifikánsan növekszik, a humusztartalommal pedig szignifikánsan csökken (lásd az 5. egyenletet is). Fel lehet tételeznünk, hogy a humusztartalom fizikai tulajdonságai miatt növeli, kémiai tulajdonságai alapján pedig csökkenti a talajok foszfátmegkötőképességét. A logaritmusos összefüggésből az is kitűnik, hogy a szervesanyag védőhatása különösen kis humusztartalmú talajokon érvényesül.

A 3. ábra azt mutatja, hogy az oldatban maradt foszfátok mennyisége a könnyen oldható foszfartartalom logaritmusával arányos. A görbe a 25 mg/100 g P_2O_5 -tartalom fölött csökkenő irányzatot mutat. Ez a csökkenés azonban teljesen bizonytalan. Csak egyetlen egy talaj van ugyanis a 44 vizsgált talaj között (a 29. számú), mely 13 mg P_2O_5 -nél több Egnér—Riehm-foszfartartalmú, foszfartartalomnövekedése pedig az 1. táblázat tanúsága szerint a már említett okok miatt igen nagy hibával terhelt. Az összefüggés tehát közelítőleg logaritmusos vagy parabolikus.

Mind a négy fenti egyenlet figyelembevételével a következő többszörös regressziós egyenletet kaptuk:

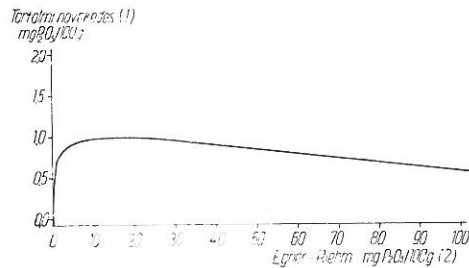
$$N = 0,678 N_{pH} + 1,122 N_K + 0,944 N_{Sz} + 0,914 N_p - 2,22 \quad (5)$$

Az egyenletben N a számított foszfortartalomnövekedést jelenti az indexszel jelölt N -értékek pedig az 1–4. számú egyenletekből kapott értékeket. A regressziós együtthatók hibáját az előbbieken ismertetett módon kiszámítottuk. A megfelelő t -értékek sorrendben: 3,36, 2,85, 2,56, 2,21. Az első kettő 99%-os, a két utóbbi pedig 95%-os valószínűséggel szignifikáns. A talaj által meg nem kötött foszfátok mennyisége tehát függ a talaj pH-értékétől, Arany szerint meghatározott kötöttségi számától, szervesanyag-tartalmától és Egnér–Riehm-foszfortartalmától az 1–4. egyenletekben megadott és az 1–3. ábrákon szemléltetett függvények szerint. A talaj mésztartalma az utólagos számításokban sem mutatott szignifikáns összefüggést a foszfor tartalomnövekedéssel.

Az egyenlet alkalmas arra, hogy segítségével kiszámíthassuk valamely talaj valószínű foszfortartalomnövekedését alapvizsgálati adatainak ismeretében. A számolás nagyon bonyolult volna, ha az öt egyenlet segítségével történne. Ezért nomogramokat szerkesztettünk, melyeket a 4. és 5. ábrán találhatunk meg. Ezeket úgy alkalmazhatjuk, hogy a 4. ábrán a két szélső egyenesen megkeressük a vizsgált talaj pH-értékének, továbbá szervesanyag tartalmának megfelelő pontokat, és azokat vonalzóval összekötve leolvassuk az X_1 -tengelyen a metszésponton található számértéket. Ezután az 5. ábrán megkeressük a vizsgált talaj Arany szerint meghatározott kötöttségi számának, továbbá Egnér–Riehm-foszforértékének megfelelő pontokat, és azokat vonalzóval összekötve leolvassuk az X_2 -egyenesen a metszésponton fekvő számértéket. Az így kapott két számot azután az előjelek figyelembevételével összeadjuk, mivel azok algebrai összege adja a foszfortartalomnövekedést.

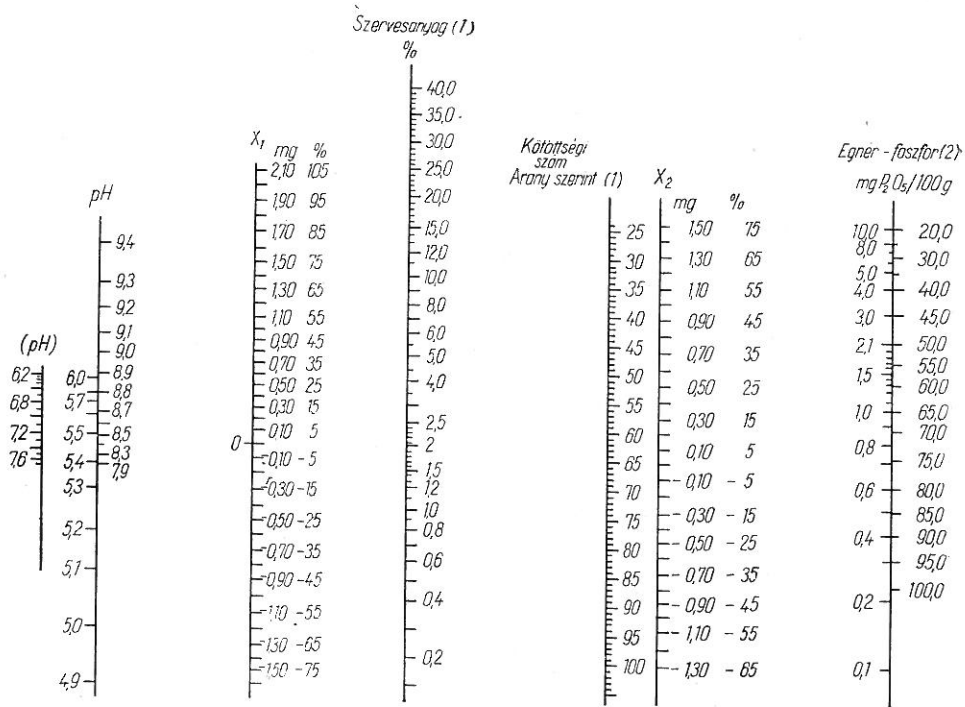
Az 5. ábrán a foszfortartalom azért van a jobboldali egyenes mindkét oldalán feltüntetve, mivel a függvénynek megfelelő görbe visszahajló. A keresett beosztást tehát vagy a jobb oldalon, vagy a bal oldalon találhatjuk meg aszerint, hogy mekkora az érték nagysága. Kissé bonyolultabb a 4. ábrán található baloldali egyenes beosztása. Ennek oka az, hogy a foszfortartalomnövekedés a pH-értéktől hullámvonalhoz hasonló görbe alakjában függött. A keresett beosztást tehát nemcsak az egyenes jobb és bal oldalán, hanem esetleg a kisegítő egyenesen találhatjuk meg. Ilyenkor úgy járunk el, hogy (pH)-feliratú kisegítő vonalról merőleges irányban rávetítjük a pH-egyenesre a talajt jellemző értéket, és ahhoz illesztjük a vonalzó egyik felét. Ha az X -egyenesek mellett található számoszlopok közül a %-feliratút vesszük figyelembe, akkor azt kapjuk meg, hogy a talajhoz adott foszfornek hány %-a maradt oldható.

Például kiválaszthatjuk az 1. talajt. Ennek pH-értéke 7,2, szervesanyag-tartalma pedig 3,9%. A kisegítő (pH)-egyenes 7,2-nek megfelelő pontjáról merőlegest húzunk a pH-egyenesre és ezt a pontot összekötjük a Szervesanyag-feliratú egyenes 3,9 jelzésével. A vonalzó az X_1 -egyeneset a 0,30 helyen metszi. Ezután az 5. ábrán a baloldali egyenesen (*Kötöttségi szám Arany szerint*) meg-



3. ábra
A 2 mg $P_2O_5/100$ g trágyázóoldat hatására bekövetkezett foszfortartalomnövekedés nagysága a talaj Egnér–Riehm-foszfortartalmának függvényében

keressük az 58-as beosztást (ennyi ugyanis a vizsgált talaj Arany szerint meghatározott kötöttségi száma), majd ezen át vonalzót fektetve annak másik felét a jobboldali egyenes (*Egnér-foszfor*) 12.1 jelzéséhez illesztjük. (Jelen esetben a 10–20 közötti értékek mind ugyanazon a ponton fekszenek.) Az X_2 -egyenesen a vonalzó metszéspontján leolvassuk a 0,50-et. A kapott két számot összeadva ($0,30 + 0,50$) megkapjuk a foszfortartalomnövekedést, 0,80-at mg $P_2O_5/100$ g-ban kifejezve. Ha a %-feliratú számoszlopot vesszük figyelembe



az X -egyeneseken, akkor végeredményként 40-et kapunk ($15 + 25$), ami annyit jelent, hogy a talajhoz adott foszfor 40%-a maradt oldatban.

Az ily módon a 2. táblázatban közölt alapvizsgálati adatokból nomogramokkal kiszámított foszforsavtartalom-növekedéseket az 1. táblázat utolsó oszlopában találhatjuk meg. A számított és a kísérleti úton meghatározott értékek közötti korrelációt $r = 0,737$ nagyságú együttható jelzi. A százalékban kifejezett foszforsavtartalomnövekedésekben a számított és a meghatározott értékek közti eltérések abszolút értékének átlaga 15%. A számított értékeknél tehát átlagosan $\pm 15\%$ eltéréssel számolhatunk a valódi értékektől. Egyes ritkább esetekben azonban — mint ezt a táblázat adatai is szemléltetik — ennél lényegesen nagyobb eltérések is lehetnek. Mégis jelentős eredménynek tekinthető, ha figyelembe vesszük, hogy a foszfortartalomnövekedések laboratóriumi úton való meghatározása az 1. táblázat tanúsága szerint meg-

lehetősen nagy hibával terhelt, még az alkalmazott négyszeres ismétlés mellett is. Lehet, hogy a HAASNÉ [11] által is vizsgált komplexonban oldható vas- és alumíniumtartalom vagy más talajtulajdonság figyelembevételével még növelni lehetett volna a meghatározott és a számított értékek közötti egyezést, erre azonban e munka keretein belül nem térhettünk ki, mivel az nagyon bonyolulttá tette volna a számításokat. A komplexonban oldható vas és alumínium egyébként is elég szoros összefüggésben van a talaj pH-értékével.

Összefoglalás

44 különböző típusú fel- és altalajmintához azonos mennyiségű foszfátoldatot adtunk, és meghatároztuk, hogy 21 napos érlelés után mennyi maradt belőle oldható az *Egnér—Riehm* által ajánlott oldószerben. Meghatároztuk ugyanezen talajok alapvizsgálati adatait is, és összefüggéseket kerestünk a talaj által meg nem kötött foszfor mennyisége és ezen talajvizsgálati adatok között. A többszörös regressziós egyenletek az alábbi következtetésekre vezettek:

1. A talajok által meg nem kötött foszfátok mennyisége szignifikánsan függött a vizes szuszpenzióban mért pH-értéküktől oly módon, hogy 6-nál kisebb és 8-nál nagyobb pH-értékű talajokon növekedett, 6—8 pH-értékű talajokon pedig csökkent a pH-érték növekedésével. A kapott ferde *S*-alakú görbét jellemző egyenlet mindhárom regressziós együtthatója szignifikáns volt.

2. A talajok által meg nem kötött foszfátok mennyisége szignifikánsan és közel egyenes vonalúan csökkent azok Arany szerint meghatározott kötöttségi számának növekedésével.

3. A talajok által meg nem kötött foszfátok mennyisége szignifikánsan növekedett azok szervesanyagtartalmának és Egnér—Riehm-foszfortartalmának logaritmusával.

4. A talajok által meg nem kötött foszfátok mennyisége nem mutatott szignifikáns összefüggést azok mézst tartalmával.

5. A számítások alapján négy független változás (pH-érték, Arany szerint meghatározott kötöttségi szám, Egnér—Riehm-foszfortartalom, szervesanyag-tartalom) regressziós egyenletet lehetett felállítani. Az egyenletből két nomogramot szerkesztettünk, melyek segítségével az alapvizsgálati adatokból becslésszerűen kiszámítható a talaj foszfortartalomnövekedése.

6. A nomogramok segítségével kiszámított és a kísérleti úton meghatározott foszfortartalomnövekedések bizonyos mértékű egyezést mutattak.

Érkezett: 1961. február 18.

Irodalom

- [1] ADERIHIN, P. G.: Vlijanie sztrukturü pocsvü na pogloscsenie foszfornoj kiszlotü. Pocsvoledenije. (4) 201—203. 1951.
- [2] BALENEGGER, R.: Talajvizsgálati Módszertkönyv. Mezőgazd. Kiadó. Budapest. 1953.
- [3] BÉRES, T. & KIRÁLY, I.: A fulvósavak vassal képzett vegyületeiről. Agrokémia és Talajtan. **6.** 167—176. 1957.
- [4] BOICHOT, P., COPPENET, M. & HERBERT, J.: Fixation de l'acide phosphorique sur le calcaire des sols. Plant and Soil. **2.** 311—322. 1950.
- [5] DEMOLON, A.: Dynamique du Sol. Dunod Éditeur. Paris. 1952.
- [6] DÖRING, H.: Untersuchungen über die Ausnutzbarkeit der an Kolloiden sorbierten Phosphorsäure durch die Pflanzen. Z. Pfl. Ernähr. Düng. **73.** 235—245. 1956.
- [7] FÁBRY, GY.-NÉ: A foszforsav lekötődése a talajban. Agrokémia és Talajtan. **1** 25—43. 1951.

- [8] GINZBURG, K. E.: Pogloszenie foszfora nekotórümi glinisztümi mineralami v zaviszimoszti ot razmera esasztic i vremeni vzajmodejsztvija sz rasztvorom foszfata. Pocsvovedenie. **7**. 43—51. 1953.
- [9] DI GLERIA, J., KLIMES-SZMIK, A. & DVORACEK, M.: Talajfizika és Talajkolloidika. Akadémiai Kiadó. Budapest. 1957.
- [10] GORSENIN, K. P.: Pocsvovedenie. Szel'hozgiz. Moszkva. 1954.
- [11] HAAS, Á.-NÉ.: Foszfátmegkötés és mobilizáció vizsgálata hazai talajtípusainkon. Agrokémia és Talajtan. **3**. 331—350. 1959.
- [12] HATCHER, J. T. & BOWER, C. A.: Equilibria and dynamics of boron adsorption by clays. Soil Sci. **85**. 319—323. 1958.
- [13] HEMWALL, J. B.: The role of soil clay minerals in phosphorus fixation. Soil Sci. **83**. 101. 1957.
- [14] KAILA, A.: Retention of phosphate by peat samples. Maat. Aikak. **31**. 215—225. 1959.
- [15] KANWAR, J. S.: Phosphate retention in some Australian soils. Soil Sci. **82**. 43—49. 1956.
- [16] KERESZTÉNY, B.: A növényfajok és a talajtípusok befolyása a műtrágyahatásokra. Agrokémia és Talajtan. **7**. 331—342. 1958.
- [17] LAATSCH, W.: Dynamik der mitteleuropäischen Mineralböden. 4. Auflage. Dresden u. Leipzig. Theodor Steinkopff. 1957.
- [18] LINSAY, W. L. & MORENO, E. C.: Phosphate phase equilibria in soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. **24**. 177—182. 1960.
- [19] MÁTÉ, F. & MOLNÁR, F.: Foszfátmegkötődési kísérletek réti talajon. Agrokémia és Talajtan. **5**. 165—170. 1956.
- [20] MISTERSKI, W.: Navozno-mineral'nye kompozitü. Podniesienie Zyznosci. Gleb Lekkich. Warszawa. 1959. Panstw. Wyd. Roln. i Lesne.
- [21] REGNAULT, R.: Chimie Agricole. Tome 2. La Biosphère. Eyrolles, Gauthier Villars. Paris. 1958.
- [22] SCHÖNFELD, S. & PSIK, L. NÉ.: A talaj oldható foszforsav tartalmának vizsgálata a szovjet talajtani iskola tapasztalatai alapján. Agrokémia és Talajtan. **1**. 15—24. 1951.
- [23] SIGMOND, E.: Általános Talajtan. Szerző kiadása. Budapest. 1934.
- [24] SILLANPÄÄ, M.: The influence of some physical soil properties on subsoil structure. Agrogeologia Julkaisuja. 75. sz. 1959. Helsinki.
- [25] SNEDECOR, G. W.: Statistical Methods. Iowa State College Press. Ames. 1957.
- [26] VÁRALLYAY, GY.: A műtrágyázást irányító kísérletek és vizsgálatok. Agrokémia. **2**. 287. 1940.
- [27] VILENSZKIJ, D. G.: Pocsvovedenie. Ucspedgiz. Moszkva. 1954.

ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ СВОЙСТВ ПОЧВЫ НА ФОСФАТАДСОРБЦИЮ

Б. Керестень и М. Перямоши

Кафедра Химии и Почвоведения С. Х. академии, Мошонмадярвар (Венгрия)

Резюме

Авторы добавляли одинаковое количество растворов фосфата к 44-см различным образцам почв (пахотный горизонт и подпочва). После 21-дневного компостирования определяли количество оставшихся растворимых фосфатов по методу Эгнер—Рим. Одновременно определили основные характеристики почв и искали связь между количеством неадсорбированного фосфора и данными анализа почвы. Вычисленные уравнения дали возможность сделать следующие выводы:

1. Наблюдалась зависимость между количеством неадсорбированных почвой фосфатов и величиной рН водной суспензии. Количество таких фосфатов увеличивалось с увеличением рН ниже 6 и выше 8, в интервале рН 6—8 количество неадсорбированных фосфатов снизилось с увеличением рН, таким образом получили кривую, похожую на перевернутое S, все три регрессивных коэффициента уравнения, характеризующего кривую, были достоверными (см. уравнение 1 и рис. 1).

2. Количество неадсорбированных почвой фосфатов снизилось достоверно и примерно прямолинейно с увеличением числа связности почвы по Арань (см. уравнение 2).

3. Количество неадсорбированных почвой фосфатов увеличилось с увеличением логарифма содержания органического вещества, и содержанием фосфора по Эгнер—Рим (см. уравнение 3—4 и рис. 2, 3).

4. Не было достоверной связи между количеством неадсорбированных почвой фосфатов и содержанием извести в этих почвах.

5. На основе вычислений можно написать регрессивное уравнение с четырьмя независимо изменяющимися (величина рН, число связности по Арань, содержание фосфора по Эгнер—Рим, содержание органического вещества). См. уравнение 5. Авторы из уравнений составили две номограммы, при помощи которых можно вычислить, из основных данных почвы, увеличение содержания фосфора почвы. Вычисление производится следующим образом: сначала на рис. 4 найдем на 2-х крайних прямых точки деления, соответствующие величине рН почвы и содержанию органического вещества, эти точки связываем линейно и на прямой X_1 вычисляем величины точки пересечения, потом на рис. 5 подобным образом находим на прямой X_2 данные, соответствующие числу связности по Арань, и содержанию фосфора по Эгнер—Рим. Наконец вычисляем алгебраическую сумму величин X_1 и X_2 , получаем таким образом увеличение содержания фосфора. Рядом с прямыми X имеются два ряда чисел. Если принимаем во внимание число с надписью «Мг», тогда получаем количество фосфатов в мг, оставшихся растворенными после добавления к почве 2 мг P_2O_5 на 100 гр. почвы. Если принимаем во внимание надпись «%», тогда получаем % фосфора, оставшегося растворенным. Если величина рН почвы попадает на вспомогательную линию, тогда восстанавливаем оттуда перпендикуляр на линию рН и один конец линейки ставим на эту точку.

6. Имеется совпадение между данными увеличения содержания фосфора, полученными путем вычисления по номограммам, и путем анализа. (Среднее отклонение от процентного увеличения содержания фосфора составляет 15.)

Табл. 7. Характеристика почвенных образцов. (1) Порядковый номер. (2) Место взятия. (3) Главный тип. (4) Глубина. (5) Увеличение содержания фосфора. (6) Определенное. (7) Вычисленное. а) — луговая почва, б) — пойменная почва, с) — бурая лесная почва, d) — чернозем, e) — болотная почва, f) — засоленная почва, g) — известкованная пойменная почва.

Табл. 2. Данные анализа почвы. (1) Порядковый номер. (2) Число связности по Арань. (3) Органическое вещество в %. (4) Фосфор по Эгнер—Рим в мг/100 гр.

Рис. 1. Увеличение содержания фосфора в зависимости от рН почвы под влиянием добавления раствора 2 мг P_2O_5 на 100 гр. почвы. (1) Увеличение содержания фосфора.

Рис. 2. Увеличение содержания фосфора в зависимости от содержания органического вещества в почве под влиянием добавления раствора 2 мг P_2O_5 /100 гр. (1) Увеличение содержания фосфора. (2) Содержание органического вещества в %.

Рис. 3. Увеличение содержания фосфора в зависимости от содержания фосфора почвы, определенного по Эгнер—Рим, под влиянием добавления 2 мг P_2O_5 /100 гр. (1) Увеличение содержания фосфора. (2) Содержание фосфора по Эгнер—Рим.

Рис. 4. Номограмма для вычисления увеличения содержания фосфора (номограмма X_1). (1) Органическое вещество.

Рис. 5. Номограмма для вычисления увеличения содержания фосфора (номограмма X_2). (1) Число связности по Арань. (2) Содержание фосфора по Эгнер—Рим. В уравнениях рН обозначает рН водной суспензии почвы, K — число связности по Арань, P — содержание фосфора по Эгнер—Рим, Sz — содержание органического вещества в %, N — увеличение содержания фосфора под влиянием раствора фосфора в зависимости от данного фактора (мг/100 грамм).

Über den Einfluss einiger charakteristischen Bodeneigenschaften auf das Phosphatbindevermögen der Böden

B. KERESZTÉNY und M. PERJÁMOSI

Landwirtschaftliche Akademie zu Mosonmagyaróvár (Ungarn)

Zusammenfassung

Zu Bodenproben 44 verschiedener Ober- und Unterbodentypen wurde die gleiche Menge einer Phosphatlösung zugesetzt und bestimmt, wieviel hiervon nach 21tägiger Reifung als lösbar mit dem von Egnér—Riehm empfohlenen Lösemittel zurückverblieb. Für die Prüfböden wurden vorangehend auch die Grundanalysedaten bestimmt, und hierauf gestützt, Zusammenhänge zwischen der im Boden nicht gebundenen Phosphormenge

und der Analysedaten gesucht. Die berechneten mehrfachen Regressionsgleichungen führten zu nachstehenden Schlussfolgerungen:

1. Die im Boden nicht gebundene Phosphatmenge zeigte signifikante Abhängigkeit von dem in wässriger Suspension gemessenen pH-Wert des Bodens in dem Sinne, dass sich diese Menge in Böden unter 6 pH und über 8 pH erhöhte, in Böden mit pH-Wert zwischen 6—8 dagegen — in verkehrtem Verhältnis zu dem Ansteigen des pH-Wertes — verringerte. Alle drei Regressionskoeffizienten der für die erhaltene schiefe S-förmige Kurve bezeichnenden Gleichung erwiesen sich signifikant (siehe Gleichung 1 und Abb. 1).

2. Die von den Böden nicht gebundene Phosphatmenge zeigte mit dem Ansteigen der Arany-schen Bindigkeitsziffer eine signifikante, fast vollkommen lineare Abnahme (siehe Gleichung 2).

3. Die in den Böden nicht gebundene Phosphatmenge zeigte eine dem Logarithmus des Humusgehaltes, sowie des Egnér-Riehm-schen Phosphatgehaltes der Böden entsprechende signifikante Erhöhung (siehe Gleichung 3, 4 und Abb. 2, 3).

4. Zwischen der in den Böden nicht gebundenen Phosphatmenge und dem Kalkgehalt der Böden zeigte sich kein statistisch gesicherter Zusammenhang.

5. Auf Grund der Berechnungen konnte eine Regressionsgleichung mit vier unabhängigen Variablen (pH-Wert, Arany-sche Bindigkeitsziffer, Egnér—Riehm-Phosphorgehalt, Humusgehalt) aufgestellt werden (siehe Gleichung 5). Aus den Gleichungen wurden zwei Nomogramme aufgesetzt, mit deren Hilfe die Erhöhung im Phosphorgehalt des Bodens aus den Grunddaten der Analyse mit Näherungsgenauigkeit errechnet werden kann. Rechengang: auf Abb. 4. werden zuerst die dem pH-Wert und dem Organstoffgehalt des Bodens entsprechenden Teilungspunkte auf den zwei seitlichen Geraden ausgesucht, diese mit dem Lineal verbundenen und da auf der X_1 -Geraden die dem Schnittpunkt entsprechenden Werte abgelesen. Ähnlich wird sodann auf Abb. 5 an der X_2 -Geraden der der Arany-schen Bindigkeitsziffer und dem Egnér—Riehm-Phosphorwert entsprechende Wert ausgesucht. Schliesslich wird die algebraische Summe der erhaltenen X_1 - und X_2 -Werte gebildet. Damit ergibt sich die Erhöhung des Phosphorgehaltes. Neben den mit X bezeichneten Geraden sind zwei Zahlreihen zu sehen. Aus der mit „mg“ bezeichneten Zahlenreihe erhalten wir darüber Antwort, wieviel mg aus dem, dem Boden beigegebenen 2 mg $P_2O_5/100$ g Phosphor in auslösbarer Zustand verblieben, während die mit „%“ bezeichnete Zahlenreihe die im Boden lösbar verbliebene Phosphormenge in Prozenten angibt. Sollte der pH-Wert eines Bodens auf die Hilfslinie fallen, dann wird von dieser eine Senkrechte auf die pH-Linie gezogen, und das eine Ende des Lineals hier angesetzt.

6. Die mit Hilfe der Nomogramme berechneten und die versuchsmässig bestimmten Erhöhungen des Phosphorgehaltes zeigten eine bestimmte Übereinstimmung. (Die Abweichung von der prozentualen Phosphorgehaltserhöhung betrug im Durchschnitt 15.)

Tabelle 1. Charakteristische Daten der geprüften Bodenproben. (1) Reihennummer, (2) Herkunftsort, (3) Haupttyp, (4) Tiefe, (5) Phosphorgehaltserhöhung, (6) Ermittelt, (7) Berechnet, (a) Wiesenboden, (b) Schwemmboden, (c) Brauner Waldboden, (d) Tschernosem, (e) Moorboden, (f) Solonetz (Szik), (g) Schwemmboden gekalkt.

Tabelle 2. Grunddaten der Bodenanalyse. (1) Reihennummer, (2) Arany-sche Bindigkeitsziffer, (3) Humus, %, (4) Egnér—Riehm-Phosphor mg/100 g.

Abb. 1. Höhe der Phosphorgehaltzunahme unter Einfluss der 2 mg $P_2O_5/100$ g Düngelösung, in Abhängigkeit vom pH-Wert. (1) Phosphorgehaltzunahme.

Abb. 2. Höhe der Phosphorgehaltzunahme unter Einfluss der 2 mg $P_2O_5/100$ g Düngelösung in Abhängigkeit vom Humusgehalt des Bodens. (1) Phosphorgehaltzunahme, (2) Humusgehalt, %.

Abb. 3. Höhe der Phosphorgehaltzunahme unter Einfluss der 2 mg $P_2O_5/100$ g Düngelösung in Abhängigkeit vom Egnér—Riehm-Phosphorgehalt des Bodens. (1) Phosphorgehaltzunahme, (2) Egnér—Riehm-Phosphorgehalt.

Abb. 4. Nomogramm zur Berechnung der Phosphorgehaltzunahme. (X_1 -Nomogramm. (1) Organische Stoffe.

Abb. 5. Nomogramm zur Berechnung der Phosphorgehaltzunahme. (X_2 -Nomogramm). (1) Arany-sche Bindigkeitsziffer, (2) Egnér—Riehm-Phosphorgehalt.

In den Gleichungen bedeutet *pH* den pH-Wert des Bodens (in wässriger Suspension bestimmt), *K* die Arany-sche Bindigkeitsziffer, *p* den Egnér-Phosphorgehalt, *Sz* den Organstoffgehalt in %. *N* steht für die Phosphorgehaltzunahme unter Einfluss der Düngelösung in Abhängigkeit von dem in Index angegebenen Faktor (mg/100 g).