

KALKITUKSEN VAIKUTUKSISTA MAAPERÄN ORGAANISEEN JA HELPPOLIUKOISEEN FOSFORIIN.

MARTTI SALONEN.

Yliopiston maanviljelyskemian laitos, Helsinki.

Saapunut 14. II. 1946.

Kauan tunnettu tosiasia on, että kalkitus usein lisää maan fosforin tulemista kasvien käyttöön. Tämä on todettu lukuisissa kenttä- ja astiakokeissa sekä kasvinviljelyksessä. Myös uuttamismenetelmillä voidaan todeta kalkituksen maan helppoliukoista fosforia lisäävä vaikutus. On pantu merkille, että kalkitus lisää maaperän fosforin käyttökelpoiseksi muuttumista eniten kaikkein happamimmissa ja eniten kalkitusta kaipaavissa maissa. Etenkin viime vuosina, kun fosfaattilannoitteista on ollut suuri puute, on myös meillä kiinnitetty paljon huomiota mainittuun ilmiöön.

Maassa on fosforia useassa eri muodossa. Se voidaan jakaa ryhmiin esim. seuraavasti (6):

I. Epäorgaanisina yhdistyksinä oleva fosfori.

1. Mineraalifosfaatit.
2. Pidättyneenä olevat fosfaatit, jotka MATTSONIN mukaan voidaan jaotella misellaarisesti (kolloidisesti ja saloidisesti) ja ekstramisellaarisesti sidottuun fosfaattiin.

II. Orgaanisina yhdistyksinä oleva fosfori.

Kasvien ravinnonotossa eivät mineraalifosfaatit vaikealiukoisuutensa vuoksi juuri tule kysymykseen. Lisäksi suuri osa niistä on etenkin karkearakeisessa maassa maahiukkasten sisässä.

Pidättyneenä oleva fosfori on lähinnä kasvien käytettävissä. Tunnettua on kuitenkin, ettei sekään tavallisesti ole helposti ja suuressa määrässä kasvien saata-
vissa. Kalkituksen vaikutuksen yhteydessä on eniten kiinnitetty huomiota siihen, että happamissa maissa pääasiassa esiintyvät ferri- ja aluminiumfosfaatit, tai oikeammin ferri- ja aluminiumhydroksideihin pidättyneet fosfaatti-ionit (4), hydrolysoituvat, kun reaktiota nostetaan (3), jolloin fosfaatti tulee liuokseen. Useissa yhteyksissä on kiinnitetty huomiota myös siihen, että erilaisten negatiivisten kolloidien (humus, piihappo) vaikutuksesta fosfaatti pysyy paremmin liuoksessa, vaikka

maassa onkin paljon fosfaattia vahvasti pidättäviä positiivisia kolloideja, ferri- ja aluminiumhydroksideja. Tämänkin ilmiön merkitystä kasvien fosfaattien saannissa on paljon tutkittu (hyvän katsauksen näihin tutkimuksiin on laatinut SEMB (8), mutta tulokset ovat toistaiseksi epäselvät (9).

Orgaaninen fosfori muodostaa suuren ja epämääräisen ryhmän, jonka merkitys kasvien fosforin saannissa on vaillinaisesti tunnettu. Selvää on kuitenkin, että orgaanisen aineen hajaantuessa vapautuva fosfaatti on helposti kasvien käytettävissä. Kalkituksen vaikutuksesta maan orgaanisen fosforin määriin en ole käytettävissäni olevasta kirjallisuudesta löytänyt mitään tutkimuksia enempää kuin arvelujakaan. Yleinen käsitys näyttää olevan, että kalkituksen liukoista fosforihappoa lisäävä vaikutus johtuu sen ferri- ja aluminiumfosfaatteja hydrolysoivasta ominaisuudesta. Kun orgaanisen fosforin määrä maassa yleensä on huomattavan suuri, ja juuri nimenomaan maissa, joissa kasvien fosforin saanti on erityisen vaikeaa, olisi sen liukenemisedellytyksien tuntemisella suuri merkitys.

Fosforin mobilisointuminen erilaisista maista.

Saadakseni tietoja siitä, miten orgaanisen fosforin määrä muuttuu maanäytteisissä, joita säilytetään kostutettuina, kalkittuina ja ilman kalkkia huoneen lämmössä, tein mobilisointumiskokeen erilaisilla maanäytteillä.

Kokeessa käytetyistä maanäytteistä ovat *urpasavi 3* ja *4*, *aitosavi 5* ja *6* sekä *hietasavi 7* otetut samalla kertaa kuin eräässä aikaisemmassa tutkimuksessani (6) käytetyt, samoilla merkinnöillä varustetut näytteet, mutta ne on homogenisoitu eri kerralla, joten niiden ominaisuuksissa on pieniä eroja verrattuna aikaisemmin esitettyihin lukuihin, mutta niitä voitaneen kuitenkin pitää samoina näytteinä.

Muut tässä käytetyt maanäytteet on otettu kesällä 1939, mutta niitä ei ole voitu aikaisemmin tutkia. Ne on otettu eri lannoituskoekentistä. *Vakkila A, B* ja *C* on otettu Etelä-Pohjanmaan koasemalla Ylistarossa v. 1931 aloitetusta kokeesta, jossa vertaillaan erilaisen lannoituksen jatkuvan käytön vaikutuksia. Tutkimuksessa on käytetty ruuduilta *A₁*, *B₁* ja *C₁* otettuja näytteitä. Mainitut ruudut ovat rinnakkain, ja maa on niillä ilmeisesti samanlaatuista, Etelä-Pohjanmaan jokivarsilla esiintyvää kevyttä savea.

Maanäytteet *Kokemäki 0* ja *Kokemäki 2PN* on otettu Satakunnan koasemalla Kokemäellä v:sta 1930 alkaen käynnissä olleesta pitkäaikaisesta lannoituskokeesta. Näyte 0 on yhdistetty ruuduilta 1, 11 ja 21 ja näyte 2PN ruuduilta 4 ja 14 otetuista näytteistä. Maalaji on hiekkansekaista hietaa.

Merkinnällä *Mytträälä* varustetut maanäytteet on otettu Pohjois-Hämeen koasemalla Pälkäneellä v:sta 1930 käynnissä olleesta suuresta nousevien typpi- ja fosfaattimäärien kokeesta. Maa on melko karkeata hiekkaa.

Tiedot eri koeruutujen lannoituksesta on esitetty taulukossa 1. Lannoituskoekenttien eri ruuduilta otetut näytteet on yhdistetty 20:stä koko kyntömultakerroksen läpi menevästä kairauksesta.

Mobilisaatiokoe tehtiin siten, että 100 g:an maanäytteen kuiva-ainetta sekoitettiin kalkki, analyysipuhdas CaCO_3 , maa kostutettiin sopivasti ja pantiin pulloon, joka suljettiin höllällä paperitukolla haihtumisen vähentämiseksi. Käytetyt CaCO_3 -määrät nähdään taulukosta 1. Kerran kuukaudessa korvattiin haihtunut vesi ja maa sekoitettiin. Pullot säilytettiin laboratorion kaapissa. Koekauden aikana laboratorion lämpötila oli 4 ensimmäistä kuukautta 14—17°, sen jälkeen

3 kuukautta 20—21° ja 2 viimeistä kuukautta 15—18°. 9 kuukauden kuluttua koe lopetettiin, jolloin maanäytteet kuivattiin ja homogenisoitiin.

Maanäytteistä mitattiin koekauden jälkeen pH ja tehtiin uutokset laktaattiliuksella (2), jolloin käytettiin uutossuhdetta 2 g maata: 200 ml uutostnestettä, jotta kalkituista näytteistä tehtyjen uutteen pH pysyisi säädetyissä rajoissa. Uutteen pH todettiin mittauksilla. Orgaanisen fosforin määrä selvitetään käyttäen 0.25 n. NaOH (6). Lisäksi tehtiin muutamista näytteistä humusmääritykset dikromaattihapetuksella (1). Eri määritysten tulokset esitetään taulukossa 1, johon on laskettu myös eri fosforifraktioiden määrät prosentteina totalifosforista. Eri fosforiluvut on otettu taulukkoon sellaisinaan, tekemättä niihin korjauksia lisätyn kalkkimäärän vuoksi, sillä tästä syystä tehtävä korjaus olisi joka tapauksessa pieni, enint. 2 %, ja on syytä arvioida analyysivirheet suuremmiksi.

Taulukon 1 orgaanisen fosforin lukuja tarkasteltaessa huomataan ensiksikin, että sen määrät eri maissa vaihtelevat jonkin verran. Eniten, lähes puolet koko fosforista, sitä on urpasavessa 3. Hiekkänäytteissä on orgaanista fosforia runsas kolmannes koko fosforista, aitosavi 5:ssä, Kokemäen hiedassa ja Ylistaron kevyessä savessa n. 40 %. Vähiten orgaanista fosforia on pohjamaanäytteissä ja niistä erityisesti aitosavi 6:ssä, mikä onkin luonnollista, kun maassa ei ole juuri nimeksikään orgaanista ainetta. Epäorgaanista emäkseen liukenevaa fosforia (= ferri- ja aluminiumfosfaatteja) on yleensä vähemmän kuin orgaanista, poikkeuksena kuitenkin pohjamaanäytteet ja Myttälän hiekka.

Koekentiltä otetuista näytteistä saatujen lukujen mukaan näyttää siltä, että lannoitus on lisännyt orgaanisen fosforin määrää samassa suhteessa kuin totalifosforiakin, sillä orgaanisen fosforin prosenttimäärissä ei ole havaittavissa mitään selviä eroja. Näyttää siltä, että orgaanisen samoin kuin maan koko emäkseen liukenevan fosforin määrä riippuu enemmän maalajista kuin lannoituksesta.

Tarkasteltaessa kalkituksen vaikutusta orgaanisen fosforin määriin huomataan, että kalkitus yleensä on sitä vähentänyt, joskin vähennys on melko pieni. Selvin ja prosenttisesti suurin kalkituksen aiheuttama orgaanisen fosforin väheneminen on hiekka- ja hietänäytteissä, joissa kaikki ilmiöt ja erityisesti pieneliöiden aiheuttamat tapahtuvat nopeammin kuin savissa. Huomattavan suuri on väheneminen myös aitosavi 5:ssä, joka on erittäin hyvää viljelysmaata. Aivan mitätön tämä väheneminen on pohjamaanäytteissä urpasavi 4 ja aitosavi 6. Näistä on tosin sanottava, että orgaanisen fosforin määrittäminen niistä on hyvin epävarmaa, kun sen määrät ovat niin pienet ja määrittämisestä johtuen virheet tässä ovat suuret. Kun orgaaninen fosfori lasketaan erotukseksi kahdesta eri määrittämisestä, kasaantuvat molempien virheet tähän erotukseen.

Mihin muotoon sitten muuttuu fosfori, joka vapautuu orgaanisesta aineesta? Tähän antavat valaistusta emäkseen liukenevan epäorgaanisen fosforin ja laktaattiuutoksella saatavan fosforin määrät. Emäkseen liukenevan epäorgaanisen fosforin määrät ovat kalkituksen johdosta muuttuneet sängen vähän, lukuunottamatta pohjamaanäytteitä, joissa sen väheneminen on selvää. Jos siis kalkitus vaikuttaa epäorgaaniseen emäkseen liukenevaan fosforiin, niin se vähentää sitäkin. Sensijaan on laktaattiin liukeneva fosfori kalkituksen johdosta lisääntynyt selvästi, useissa

Taulukko 1. Kalkituksen vaikutus eri tavalla liukenevaan fosforiin, luvut mg P/kg maata.

Table 1. The effect of liming on phosphorus soluble in different ways. Figures express phosphorus in mg per kg of soil.

Annettu Given CaCO ₃ g/100 g	pH	Hu- mus- %	Koko- nais- P Total- P	NaOH-käsittelyssä liuennut P P dissolved by NaOH-treatment						Laktaatti- uutoksella liuennut Dissolved with lactate extract.	9+11
				Kaikkiaan Total		Epäorgaanista Inorganic		Edellisten ero = orgaanista Total minus inorga- nic = organic			
				mg/kg	%	mg/kg	%	mg/kg	%		
				5	6	7	8	9	10		
<i>Urpasavi 3, kyntömulta, Paimio. — Muddy clay 3, surface soil.</i>											
1 ¹⁾	4.83	5.95	1050	800	76	300	28	500	48	11	511
0	4.43	5.70		800	76	310	30	490	46	20	510
1	6.70	5.55		790	75	320	30	470	45	30	500
2	7.14	5.18		680	65	305	29	375	36	35	510
<i>Urpasavi 4, pohjamaa, Paimio. — Muddy clay 4, subsoil.</i>											
1 ¹⁾	4.16		750	470	63	385	52	85	11	0	85
0	3.89	1.99		490	65	375	50	115	15	0	115
1	6.10	1.86		450	60	345	46	105	14	0	105
2	7.00	1.86		430	57	325	43	105	14	2	107
<i>Aitosavi 5, kyntömulta, Kilo. — Heavy clay 5, surface soil.</i>											
1 ¹⁾	5.60	5.44	1220	850	70	330	27	520	43	19	539
0	5.00	5.55		825	68	330	27	495	41	23	518
1	6.64	5.50		780	64	325	27	455	37	44	499
2	6.97	5.36		690	57	305	25	385	32	52	437
<i>Aitosavi 6, pohjamaa, Kilo. — Heavy clay 6, subsoil.</i>											
1 ¹⁾	6.70	0.36	800	145	18	130	16	15	2	97	112
0	6.26	0.55		120	15	95	12	25	3	88	113
1	7.17	0.52		85	11	60	8	25	3	40	65
2	7.34	0.52		55	7	40	5	15	2	20	35
<i>Hietasavi 7, kyntömulta, Pälkäne. — Silt clay 7, surface soil</i>											
1 ¹⁾	5.04	4.50	1200	790	66	410	34	380	32	14	394
0	4.77			765	64	420	35	345	29	15	360
0.5	6.05			750	62	400	33	350	29	22	372
1	7.14			720	60	380	32	340	28	33	373
<i>Vakkila A, kevyt savi, ei lannoitusta. — Light clay, no fertilizers.</i>											
1 ¹⁾	5.11		1375	1000	73	490	36	510	37	11	521
0	4.83	3.47		880	64	465	34	415	30	19	434
0.5	6.36	3.36		840	61	460	33	380	28	31	411
1	7.19	3.36		820	60	440	32	380	28	50	430
<i>Vakkila B, kevyt savi, karjalantaa 25 to/ha. — Light clay, 25 to/ha dung.</i>											
1 ¹⁾	5.21	4.60	1350	970	72	480	36	490	36	16	506
0	4.94			900	67	480	36	420	31	27	447
0.5	6.34			880	65	470	35	410	30	40	450
1	7.07			860	64	460	34	400	30	58	458

1) Alkuperäinen maa. — No incubation.

(Taulukko I, jatkoa.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>Vakkila C, kevyt savi, 250 superf., 300 kalis. ja 200 salp. — Light clay, 250 superph., 300 potash salt, 200 nitrate of chalk</i>											
1)	4.99	5.13	1425	1110	78	550	39	560	39	21	581
0	4.68			1110	78	510	36	600	42	24	624
0.5	5.88			1105	78	510	36	595	42	32	627
1	6.70			1040	73	505	35	535	38	50	585
<i>Kokemäki O, hieta, ei lannoitusta. — Silt, no fertilizers.</i>											
1)	5.44	3.52	1025	640	63	210	21	430	42	7	437
0	5.49			620	61	205	20	415	41	10	425
0.5	6.86			600	59	205	20	395	39	23	418
1	7.24			560	55	210	21	350	34	25	375
<i>Kokemäki 2PN, hieta, 400 superf., 100 amm. sulf. — Silt, 400 superph., 100 amm. sulphate.</i>											
1)	5.41	3.55	1125	770	69	280	25	490	44	18	508
0	5.00			700	62	265	23	435	39	16	451
0.5	6.71			690	61	240	21	450	40	25	475
1	7.27			630	56	260	23	370	33	34	404
<i>Myttäälä O, hiekka, ei lannoitusta. — Sand, no fertilizers.</i>											
1)	4.90	3.47	550	345	63	155	28	190	35	5	195
0	4.67			243	44	150	27	93	17	5	98
0.4	5.97			220	40	148	27	72	13	9	81
1	7.17			185	34	135	25	50	9	12	62
<i>Myttäälä 2PK, hiekka, 430 superf., 160 kalis. — Sand, 430 superph., 160 potash salt.</i>											
1)	4.82		625	445	71	225	36	220	35	13	243
0	4.67	4.40		370	59	215	34	155	25	14	269
0.4	6.05	4.15		360	58	210	34	150	24	44	294
1	7.30	4.25		320	51	200	32	120	19	35	155
<i>Myttäälä 4PK, hiekka, 860 superf., 160 kalis. — Sand, 860 superph., 610 potash salt.</i>											
1)	4.87	4.50	600	420	70	240	40	180	30	25	205
0	4.73			380	63	220	37	160	26	27	187
0.4	5.85			360	60	250	42	110	18	33	143
1	7.20			350	58	255	42	95	16	58	153
<i>Myttäälä 4PK₄N, hiekka, 860 superf., 160 kalis., 600 salp. — Sand, 860 superph., 160 potash salt, 600 nitrate of chalk.</i>											
1)	5.00	4.66	525	—	—	—	—	—	—	19	—
0	4.87			410	78	230	44	180	34	30	210
0.4	6.22			390	74	235	45	155	29	39	194
1	7.20			350	67	220	42	130	25	58	188
<i>Myttäälä PK, hiekka, 215 superf., 160 kalis. — Sand, 215 superph., 160 potash salt.</i>											
1)	4.90	4.35	425	—	—	—	—	—	—	8	—
0	4.77			275	65	125	30	150	35	11	161
0.4	6.02			270	63	120	28	150	35	13	163
1	7.10			240	56	120	28	120	28	19	139

tapauksissa hyvinkin paljon. Epävarma ja joka tapauksessa sangen pieni on laktaattiin liukenevan fosforin lisääntyminen urpasavi 4:ssä. Aitosavi 6:ssa, jossa laktaattiin liukenevaa fosforia on erittäin paljon, kalkituksen vaikutus on ollut suorastaan negatiivinen.

Käsityksen saamiseksi siitä, lisääntyykö laktaattiin liukeneva fosfori samassa suhteessa kuin orgaaninen vähenee, on taulukon 1 viimeiseen sarakkeeseen laskettu orgaanisen fosforin ja laktaattiin liukenevan summat. Tällaisesta laskelmasta ei voi odottaakaan mitään tasaisia lukuja, mutta kuitenkin niistä voi nähdä, että nämä summat pysyvät jokseenkin samoina eri suurilla kalkituksilla. Orgaanisesta aineesta vapautuva fosfori näyttää siis muuttuvan laktaattiin liukenevaksi.

Kalkitus ja »juuriliukoinen» fosfori.

NEUBAUERIN mukaan tehtäviä orasanalyysejä varten kalkittiin ja pantiin muhimaan muutamia suurempia maanäytteitä, 250 g kuiva-ainetta. Menettelytapa niissä oli aivan sama kuin edellä selostetuissa mobilisaatiokokeissakin. Siinä käytettiin myös samoja maanäytteitä, jotka tässä merkitään samalla tavalla. Niissä käytettiin vain yhtä kalkitusta, 1 g $\text{CaCO}_3/100$ g maata. Vaikutusaika oli 6 kk, minkä jälkeen maat kuivattiin ja homogenisoitiin. Orasanalyysit tehtiin seuraten NEUBAUERIN (5) ohjeita. Kun rukiinoraat tällä tapaa kerran kasvatetuina eivät yleensä ota kaikkea juuriliukoista fosforia, halusin tehdä useita peräkkäisiä orasanalyysejä samoista maista. Siinä käytin SCHACHTSCHABELIN (7) esittämää menettelyä, jossa kasvatuksen jälkeen maa-erä juurineen kuivataan sopivasti ja hieromalla poistetaan ensin multa juurista ja lopuksi pestään vähällä vedellä, joka otetaan talteen ja haihdutetaan kuiviin, jolloin se voidaan taas yhdistää muuhun maahan.

Humusköyhissä pohjamaanäytteissä oli suuri vaara tarjolla, että maata kostutettaessa se liettyy ja tiivistyy niin pahasti, että juurien kasvu vaikeutuu. Osoittautui, että tavallisella kostutusmenetelmällä maan liettyminen ei ollut vältettävissä. Vaikeuden ratkaisin siten, että kostutin maan aluksi vain 2/3:lla tarvittavasta vesimäärästä. Tämä ei vielä lietä maata. Maa sekoitettiin tämän jälkeen ja tasoitettiin suurella kumitulpalla varovasti. Puuttuva vesimäärä annettiin peitehiekkään, josta se imeytyi allaolevaan maahan liettämättä sitä.

Ettei pohjamaanäytteissä typen puute olisi haitannut oraiden kasvua, annettiin niihin 5 mg N NH_4NO_3 :ssa.

Kun orasanalyysejä tehdään peräkkäin useita samassa maa-erässä, täytyy käyttää myös samaa peitehiekkää eri kasvatuksissa, sillä huolellisellakaan menettelyllä ei voida kokonaan välttää sitä, että vähän maata sekaantuu hiekkään. Hiekka saastuu homeella, joka pahasti häiritsee myöhempiä kasvatuksia. Homeen lisääntymisen estin siten, että astioiden tyhjentämisen jälkeen kostutin peitehiekan 50 ml:lla 0.5 %:ista formaliinia, joka sitten sai haihtua. Näin menetellen ei myöhempiinkään kasvatuksiin ilmestynyt homeetta, enkä huomannut, että oraiden kehityksessä olisi ilmennyt mitään häiriöitä. Formaliini ilmeisesti haihtuu riittävän tarkoin. SCHACHTSCHABELIN mainitsemaa ruskeiden läikkien ilmestymistä juuristoon ei esiintynyt.

Peräkkäin tehdyistä orasanalyyseistä sain taulukossa 2 esitetyt määrät fosforia. Luvut ovat keskiarvoja kahdesta rinnakkaismäärityksestä.

Orasanalyyseissä saadut tulokset käyvät samaan suuntaan kuin laktaatti-uutoksella saadut luvut, lukuunottamatta sitä, että urpasavi 4:stä on saatu oras-

Taulukko 2. Kalkituksen vaikutus juuriliukoisen fosforin määriin mg P/100 g maata.

Table 2. The effect of liming on the quantities of root-soluble phosphorus P mg/100 g soil,

	Kalkittu Limed	Ilman kalkkia Unlimed	Kalkituksella saatu lisäys — Addition gained by liming	
			mg P	%
<i>Urpasavi 3. — Muddy clay 3.</i>				
1. kasvatus — 1. harvest	1.63	0.75	0.88	
2. kasvatus — 2. harvest	1.13	0.55	0.58	
3. kasvatus — 3. harvest	0.77	—0.39	1.16	
Yhteensä — Total	3.53	0.91	2.62	288
<i>Urpasavi 4. — Muddy clay 4.</i>				
1. kasvatus — 1. harvest	0.45	0.27	0.18	
2. kasvatus — 2. harvest	0.40	0.45	—0.05	
3. kasvatus — 3. harvest	0.87	0.41	0.46	
Yhteensä — Total	1.72	1.13	0.59	52
<i>Aitosavi 5. — Heavy clay 5.</i>				
1. kasvatus — 1. harvest	2.45	1.50	0.95	
2. kasvatus — 2. harvest	1.78	0.44	1.34	
3. kasvatus — 3. harvest	1.33	0.57	0.76	
Yhteensä — Total	5.56	2.51	3.05	121
<i>Aitosavi 6. — Heavy clay 6.</i>				
1. kasvatus — 1. harvest	0.66	1.13	—0.47	
2. kasvatus — 2. harvest	0.35	1.48	—1.13	
3. kasvatus — 3. harvest	0.38	2.38	—2.00	
Yhteensä — Total	1.39	4.99	—3.60	—72

analyysissä pieni määrä fosforia, kun laktaattiutoksella on saatu vastaavalla kalkituksella selvä nolla. Tämän mukaan siis urpasavessa vallitsevat ferri- ja aluminiumfosfaatit ovat kasveille käyttökelpoisempia kuin laktaattiutos osoittaa. Kalkituksen negatiivinen vaikutus aitosavi 6:ssä, pohjamaa, ilmenee orasanalyysissä hyvin selvänä. Sama ilmiö, joka tuli näkyviin laktaattiutoksessa. Laktaattiutos antoi kalkitsemattomasta aitosaven pohjamaasta n:o 6 hyvin korkeita lukuja. Orasanalyysi osoittaa, ettei tämä helppoliukoinen fosfori kuitenkaan ole läheskään kokonaisuudessaan kasvien käytettävissä.

Orasanalyysilukuja tarkasteltaessa huomataan, että toisella ja kolmannellakin kasvatuskerralla on vielä saatu juuriliukoista fosforia kalkitsemattomasta urpasavi 3:a lukuunottamatta. Urpasavi 4:stä ja aitosavi 6:sta kalkitsemattomana on kolmannella kasvatuksella saatu jopa enemmän kuin ensimmäisellä. Todennäköisesti olisi jatketuilla oraiden kasvattamisilla saatu vieläkin juuriliukoista fosforia, mutta kasvatuksia ei ollut tilaisuutta jatkaa. Voidaan päätellä, että maassa ei ole mitään selvästi rajoitettua fraktiota fosforihappoa, joka olisi kasvien käytettävissä, vaan sitä mobilisoituu vähitellen.

Tulosten tarkastelua.

Jos esilläolevassa tutkimuksessa olisi ollut käytettävissä sellaisia maanäytteitä, joissa toisissa olisi ollut orgaanista fosforia, mutta ei lainkaan ferri- ja aluminiumfosfaatteja, ja toisissa taas päinvastoin vain ferri- ja aluminiumfosfaatteja, mutta ei orgaanista fosforia, olisi esitetyn tapaisissa kokeissa voitu saada selvä käsitys kumpaisienkin suhtautumisesta kalkitukseen. Tällaisia maanäytteitä tuskin kuitenkaan on saatavissa, sillä elomultakerros, jossa orgaanista fosforia etupäässä on, on aina jonkin verran huuhtoutunut ja sisältää silloin myös ferri- ja aluminiumfosfaatteja, ja toiselta puolen urpamaa, jossa ferri- ja aluminiumfosfaatit ovat valitsevia, sisältää myös aina eloperäistä ainetta ja siis myös orgaanista fosforia. Keinotekoisista aineista ja keinotekoisesti muutetuista maista taas on pelättävissä, että niissä fosforinkin suhtautuminen on luonnollisesta maasta poikkeavaa. Tässä tutkimuksessa on tahdottu selvittää ilmiötä olosuhteissa, jotka mahdollisimman suuressa määrässä muistuttavat luonnossa ja käytännöllisessä kasvinviljelyksessä valitsevia.

Maan kalkkipitoisuudella on suuri vaikutus fosforin esiintymismuotoihin siinä. Senvuoksi tehtiin orasanalyyseihin käytetyistä maista myös vaihtuvan kalkin määritykset TUORILAN (10) esittämällä tavalla¹. Niistä saatiin seuraavat tulokset:

	vaihtuvaa kalkkia mg Ca/100 g maata
urpasavi 3	57
» 4	12
aitosavi 5	134
» 6	222

Aitosavi 5:ssä on vähemmän vaihtuvaa kalkkia kuin aitosavi 6:ssä. Se on kyntömultana jonkin verran huuhtoutunut, ja samalla on osa sen fosfaateista muuttunut ferri- ja aluminiumfosfaateiksi. Tämä nähdään emäkseen liukenevan epäorgaanisen fosforin määrästä (taulukko 1). Kuitenkin on aitosavi 5:ssä paljon enemmän vaihtuvaa kalkkia kuin urpasavissa, joten se on siinä suhteessa verrattavissa aitosavi 6:een. Näillä samoilla maanäytteillä tehdyssä aikaisemmassa tutkimuksessa (6) on ilmennyt, että fosforin suhtautuminen on aitosavissa keskenään jokseenkin samanlaista ja poikkeavaa urpasavien fosforin suhtautumisesta, joissa se taas on keskenään samantapaista.

Vaikka tutkimukseen käytettyjen maanäytteiden valinnassa ei olekaan onnistuttu saamaan tässä asetetun kysymyksen ratkaisemiseksi ihanteellisia tapauksia, voidaan saatujen tuloksien perusteella silti tehdä melkoisella varmuudella muutamia johtopäätöksiä.

Päätelmät.

Saatujen tulosten perusteella voidaan päätellä, että kalkituksen johdosta tapahtuvassa helppoliukoisen ja kasveille käyttökelpoisen fosforin lisääntymisessä on orgaanisen fosforin mobilisointimisella suuri osuus, sillä helppoliukoisen ja kas-

¹) Vaihtuvan kalkin määritykset on tehty Valtion maanviljelyskemiallisessa laboratoriossa.

veille käyttökelpoisen fosforin lisääntyminen on suurinta maissa, joissa on runsaasti orgaanista fosforia. Ilmeisesti myös ferri- ja aluminiumfosfaattien hydrolysoitumisella on osuutensa tässä ilmiössä, sillä maassa, jossa on vähän orgaanista fosforia, mutta runsaasti ferri- ja aluminiumfosfaatteja, tapahtuu kalkituksen johdosta selvää, joskin melko vähäistä kasveille käyttökelpoisen fosforin lisääntymistä, jota ei tapahdu maassa, missä ei ole orgaanista fosforia eikä ferri- ja aluminiumfosfaatteja.

Lannoitus ei näytä vaikuttavan orgaanisen fosforin suhteellisiin määriin, vaan se näyttää lisäävän niitä samassa suhteessa kuin totalifosforiakin. Maan orgaanisen fosforin suhteellinen määrä näyttää riippuvan enemmän maalajista, kuin käytetystä lannoituksesta.

KIRJALLISUUTTA:

- (1) ALTEN, F., B. WANDROWSKY und E. KNIPPENBERG, Beitrag zur Humusbestimmung. Ergebnisse der Agrikulturchemie 4, s. 61—69, 1935.
- (2) EGNER, H., G. KÖHLER und F. NYDAHL, Die Laktatmethode zur Bestimmung leichtlöslicher Phosphorsäure in Ackerböden. Lantbrukshögskolans Annaler 6, s. 253—298, 1938.
- (3) GAARDER, T., Die Bindung der Phosphorsäure im Erdboden. Medd. fra Vestlandets forstl. forskstation 14, 1930.
- (4) MATTSO, S. and N. KARLSSON, The electro-chemistry of soil formation II. The phosphate complex. Lantbrukshögskolans Annaler 6, s. 109—157, 1938.
- (5) NEUBAUER, H., Die Keimpflanzenmethode. Berlin 1939.
- (6) SALONEN, M., Fosforin esiintymismuodoista Suomen maalajeissa. Acta Agralia Fennica 48, 1941.
- (7) SCHACHTSCHABEL, P., Aufnahme von nicht-austauschbaren Kali durch die Pflanzen. Bodenkunde und Pflanzenernährung 3, s. 107—133, 1937.
- (8) SEMB, G., Undersøkelser over Fosforsyrens oppløselighet og binding i Østnorske jordtyper. Meldinger fra Norges Landbrukshøgskole, s. 1—145, 1943.
- (9) TORSTENSSON, G. und S. ERIKSSON, Ein Beitrag zur Frage der Ausnutzung der Düngerphosphorsäure in sauren Böden. Lantbrukshögskolans Annaler 11, s. 82—106, 1943.
- (10) TUORILA, P., Några problem rörande kalkningsfrågan. Svenska Vall- och Mosskulturföreningens Kvartalskrift 7, s. 83—101, 1945.

SUMMARY.

EFFECT OF LIMING ON ORGANIC AND EASILY SOLUBLE PHOSPHORUS OF SOIL.

MARTTI SALONEN.

Institute of Agricultural Chemistry, University of Helsinki.

The purpose of the investigation is to elucidate which part of the phosphorus of soil is changed to easily soluble and root-soluble by liming and how fertilizing effects on the organic phosphorus of soil.

For test material samples were selected to represent as far as possible the types of soil in which 1. the total phosphorus consists to a great extent of organic phosphorus and to a smallest possible extent of ferric and aluminium phosphates (heavy clay 5) and 2. the total phosphorus consists to a great extent of ferric and aluminium phosphates and to a small extent of organic phosphorus (muddy clay 4). Besides, in some samples phosphorus is present both in organic form and as ferric and aluminium phosphates (muddy clay 3), and the content of both being low (heavy clay 6). In addition, samples have been obtained from many years' fertilizer experiment fields.

Soil samples have been preserved limed and moistened in different ways for 9 months (Table 1) and for 6 months (Table 2). After incubation time the organic phosphorus of samples was determined by treating with 0.25 N NaOH and easily soluble phosphorus with lactate method (Table 1). The samples preserved for a shorter period were analyzed according to NEUBAUER test whereby 3 successive harvests were made (Table 2).

Due to liming organic phosphorus was decreased and the lactate-soluble phosphorus increased in samples containing amply organic phosphorus (Table 1). The NEUBAUER test gave similar results as the lactate method (Table 2).

It can be concluded from the data that the increase of lactate-soluble and root-soluble phosphorus caused by liming is to a large extent ascribable to mobilization of organic phosphorus since it is greatest in soils where the percentage of organic phosphorus is highest. A part of the increase of easily soluble phosphorus is due to hydrolyzation of ferric and aluminium phosphates, since also in samples, containing little organic phosphorus but plenty of ferric and aluminium phosphates (muddy clay 4), increase of easily soluble phosphorus has occurred. In soil containing very little phosphorus both in organic form and as ferric and aluminium phosphates no increase of easily soluble phosphorus has been noted, on the contrary, a distinct reduction has been observed.

Fertilizing has no effect on the percentage of organic phosphorus (Table 1). It seems that the amount of organic phosphorus depends more on the type of soil than on fertilizing.
