

KARJANLANNAN FOSFORISTA.

ARMI KAILA.

Maatalouskoelaitos, maanviljelyskemian ja -fysiikan osasto, Tikkurila.

Saapunut 26. 2. 1949:

»Karjanlannan fosforista» on muodostunut yleiskäsite, jota käytetään, ikään kuin se edustaisi jotain erikoista fosforin esiintymismuotoa. Mutta jo ne vähäiset tiedot, jotka meillä on lannan fosforista, osoittavat, ettei näin ole laita, vaan että se on koostunut monista tunnetuista fosforiyhdistyksistä. Vaikkakin lannan muut ainesosat, etenkin sen humusaineet, saattavat vaikuttaa näiden fosforiyhdistysten liukenevuuteen ja pidättymiseen maassa, ei kuitenkaan liene syytä pitää esimerkiksi lannan kalsiumfosfaatteja olennaisesti erilaisina kuin väkilannoitteiden vastaavia yhdistyksiä tai olettaa lannan nukleiiniaineitten tarjoavan kasveille välittömästi kelpoista fosforiravintoa. Näin ollen on ilmeistä, että ollaan hataralla pohjalla, niin kauan kuin karjanlannan fosforin, fosfatidien, fytiinin, nukleiiniaineitten, epäorgaanisten yhdistysten ym. muodostaman kompleksin, käyttökelpoisuutta yritetään arvioida ottamatta huomioon eri yhdistysten suhteellista määrää ja ominaisuuksia.

Etenkin saksalaisessa kirjallisuudessa on runsaasti karjanlannan fosforin käyttökelpoisuutta koskevia tutkimuksia (vrt. 4), mutta lannan fosforin koostumuksesta on saatavissa vain niukasti tietoja, nekin ristiriitaisia (1, 3, 5). Sen vuoksi lienee aiheellista esittää seuraavat tulokset, jotka on saatu analysoitaessa meikäläisiä lantanäytteitä ja tutkittaessa eri tekijöiden vaikutusta niiden fosforiyhdistyksiin.

Karjanlannan fosforin kokonaismäärästä.

Ulosteiden fosforinpitoisuus riippuu lähinnä rehuissa annetun fosforin määrästä. Eläin, joka ei tuota maitoa, kasva tai liho, erittää ulosteissaan käytännöllisesti katsoen yhtä paljon fosforia, kuin se on saanut rehuissaan. Lypsävä eläin käyttää noin 200 g fosforihappoa sataa maitokiloa kohti, ja kasvava vasikka tarvitsee kilon painonlisäystä kohti noin 18 g fosforihappoa (17, p. 8). Tämän perusteella voidaan laskea, että keskimäärin 80—85% rehujen fosforista joutuu ulosteisiin.

WAGNERIN (24) tutkimissa tuoreissa karjanlantanäytteissä oli keskimäärin 0.34 % P_2O_5 , SCHILLERIN (19) analysoimissa näytteissä sen sijaan vain 0.19 %. Näistä saksalaisista arvoista kuvastuu selvästi ennen ensimmäistä maailmansotaa vallinneen runsaan väkirehujen käytön ja sodan jälkeisen ajan niukemman ruokinnan vaikutus lannan fosforinpitoisuuteen. MANELL (10) on todennut saman ilmiön Ruotsissa viime maailmansodan ajalta.

Lannan fosforinpitoisuus riippuu, paitsi ruokinnasta, kuivikkeiden määrästä ja laadusta sekä lannan palamisasteesta. Turvepehkulannassa on tavallisesti vähemmän fosforia kuin vastaavanlaisessa olkilannassa, koska turvepehkun fosforinpitoisuus on pienempi kuin olkien (8, p. 42) ja lisäksi turvepehkulannan kuiva-aineen häviö saattaa olla vain kolmannes olkilannan vastaavasta arvosta (7, p. 8). Koska ulosteiden fosfori on muilla eläimillä paitsi sialla miltei kokonaan sonnassa (17, p. 5) ja koska lantaveteen uuttuu melko vähän fosforia (6, p. 86), ei lannan talteenoton huolellisuus vaikuta sanottavasti sen fosforinpitoisuuteen.

Suomen maatalouskalentereissa ilmoitetaan lannan fosforinpitoisuudeksi:

Kuivikkeineen säilytetty nautakarjan lanta	0.22—0.25 % P_2O_5
» » hevosen »	0.25 %
» » sian »	0.20—0.22 %
» » lampaan »	0.25—0.28 %
Puoleksi palanut sekalanta	0.25 %
Hyvin » »	0.30 %

Ruotsalaiset kalenteri-arvot ovat suunnilleen samat, amerikkalaiset ja sveitsiläiset jonkin verran korkeammat.

Näiden arvojen paikkansa pitävyyttä tarkistettiin laskemalla maatalouskoe-laitoksen maanviljelyskemian ja -fysiikan osastolla vuosina 1930—1947 analysoi-dun 310 karjanlantanäytteen keskimääräinen fosforinpitoisuus. Suuri osa näyt-teistä oli koeasemilta, ja ne edustanevat sen vuoksi keskitasoa parempaa aineistoa. Arvot ovat normaaliaikojen tasoa, sillä joukossa oli vain parisenkymmentä sodan aikaista tai sen jälkeiseltä ajalta olevaa näytettä. Tuoreen lannan keskimääräiseksi fosforinpitoisuudeksi saatiin 0.19 ± 0.06 % P_2O_5 , vaihtelurajat olivat 0.09—0.47 %. Kuiva-ainetta kohti laskettuna oli fosforia keskimäärin 0.95 ± 0.30 % P_2O_5 vaihtelu-rajojen ollessa 0.31—2.32 %. Tuoreissa näytteissä oli typpeä keskimäärin 0.46 ± 0.10 % ja kalia 0.61 ± 20 %.

Kalin ja typen määrät vastaavat suunnilleen kalentereissamme esitettyjä, fosforin arvo on jonkin verran matalampi. Hajonta on kaikissa tapauksissa melko suuri, joten on syytä käyttää näitä keskiarvolukuja harkiten. Vertailun vuoksi mainittakoon, että Ruotsissa vuosina 1945—1947 analysoidun 386 karjanlanta-näytteen fosforinpitoisuus oli keskimäärin 0.25 % P_2O_5 , typen 0.44 % ja kalin 0.50 % (10).

Karjanlannan fosforin koostumuksesta.

Pääosa rehujen fosforista kulkeutuu eläinten ruoansulatuskanavan läpi ja pois-tuu kiinteissä ulosteissa. Joskin melkoinen osa orgaanisista fosforiyhdistyksistä

mineraloituu ruoansulatusnesteiden ja mikro-organismien vaikutuksesta, joutuneen osa niistä sellaisenaan ulosteisiin: vaikeasti hajaantuvat kasviaineksen solunseinämät suojaavat jo mekaanisestikin entsyymien vaikutukselta, ja esimerkiksi fytiini muodostaa tietyissä ruoansulatuskanavan osissa proteiinien kanssa fytaasin vaikutusta kestäviä kolloidisia kompleksiyhdistyksiä (11, p. 214). Näin ollen on todennäköistä, että rehujen fosforyhdistysten laatu vaikuttaa osaltaan lannan fosforin koostumukseen.

Korsirehujen, juurikasvien ja perunan fosforista on useimmiten lähes puolet epäorgaanisina yhdistyksinä; orgaanisista yhdistyksistä on nukleiiniaineitten ryhmä tärkein (2, p. 667; 8, p. 42). Sen sijaan jyvissä ja yleensä siemenistä peräisin olevissa väkirehuissa suurin osa fosforista on fytiiniä (8, p. 42; 25). Korsirehuvaltaisesti ruokittujen eläinten sonnassa fosfori on siis todennäköisesti etupäässä epäorgaanisena ja nukleiiniaineina, kun taas fytiiniä voi olettaa olevan runsaasti esimerkiksi siipikarjan ulosteissa.

Ulosteiden nukleiiniaineitten osuutta lisää niiden sisältämä bakteerimassa: suurin osa bakteerien fosforistahan on nukleiiniaineina (21, p. 400). Toisaalta eläimen aineenvaihdon tuotteena poistuva fosfori lienee epäorgaanisina yhdistyksinä sekä kiinteissä ulosteissa että virtsassa.

Koska kirjallisuudesta ei ollut löydettävissä tuoreiden ulosteiden fosforyhdistyksiä koskevia analyysitietoja, tutkittiin muutamia eri eläinlajien sontanäytteitä käyttäen tekijän (8, p. 41) kehittämää fraktioimismenetelmää hiukan yksinkertaistettuna. Se ei tosin vedä ehdottoman tarkkaa rajaa eri fosforyhdistysten välille, mutta antaa kuitenkin tyydyttävän selvän kuvan tutkittavan orgaanisen aineksen fosforin luonteesta, sikäli kuin orgaanisia fosforyhdistyksiä toistaiseksi tunnetaan. Fraktiointi suoritettiin seuraavasti:

1. 1 g:a tutkittavaa, ilmakuivaa ainetta uutettiin 50 ml:lla absoluuttia staetanolia vesihauteella tunnin ajan. Määritettiin tuhkaksi poltetun suodoksen kokonaisfosfori, joka edustaa fosfatidiaineita.

2. Jäännöstä uutettiin kahdesti tunnin ajan 50 ml:lla tislattua vettä huoneen lämpötilassa. Suodoksesta määritettiin kokonais- ja epäorgaaninen fosfori, joiden erotus ilmoittaa veteenliukenevan fosforin, sokeri- ja glyseriini-fosfaattien ym. määrää.

3. Vesiuuton jäännöstä uutettiin edelleen kahdesti kahden tunnin ajan 0.5-n suolahapolla huoneen lämpötilassa. Suodoksesta määritetyn kokonais- ja epäorgaanisen fosforin erotus edustaa lähinnä fytiiniä.

4. Suolahappouuton jäännös poltettiin tuhkaksi ja määritettiin sen fosfori, joka on peräisin lähinnä nukleiiniaineista.

Uuttaminen suoritettiin 300 ml:n erlenmeyerpulloissa. Uutteet suodatettiin saman paperin läpi. Paperi poltettiin suolahappouuton jäännöksen kanssa. Käytetty paperi, W. & R. BALSTON Ltd. N:o 5, Ø 11 cm, ei sisältänyt fosforia. Fosfori määritettiin kolorimetrisesti osastolla kehitetyllä DENIGÉSIN menetelmän muunnelmalla (8).

Taulukossa 1 esitetyt tuoreen sonnan fosforin fraktioimistulokset osoittavat edellä tehdyt johtopäätökset jotensakin oikeiksi. Suuri osa fosforista on epäorgaanisena: hevosella ja sialla 65—75 %, märehijöillä 35—55 % ja kanalla noin 40 %. Hevosen ja sian sonnan epäorgaaninen fosfori liukenee veteen helpommin kuin naudun ja lampaan, mikä johtuu ilmeisesti siitä, että hevosen ja sian sonnan reaktio on keskimäärin pH 6.5, kun taas naudun ja lampaan noin pH 8. Kesäruokinta-

Taulukko 1. Tuoreen sonnan fosfori. P_2O_5 g/kg kuiva-ainetta ja % kokonaisfosforista.
 Table 1. Phosphorus in fresh feces. P_2O_5 gm./kgm. of dry matter and per cent of total phosphorus.

Eläin Animal	Tot P_2O_5 g/kg	Epäorg. P_2O_5 — Inorg. P_2O_5						Org. P_2O_5								jäännöks. in residue g/kg %	
		tot.		H ₂ O		0.5 n HCl		tot.		C ₂ H ₅ OH		H ₂ O		0.5 n HCl			
				liuottaa — dissolves						liuottaa — dissolves							
		g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%		
Hevonen Horse	7.70	5.42	70	3.40	44	2.02	26	2.28	30	0.11	1.5	0.22	3	0.54	7	1.41	18.5
	8.57	5.65	66	3.45	40	2.20	26	2.92	34	0.16	2	0.35	4	0.86	10	1.55	18
	8.83	5.97	67.5	3.03	34.5	2.94	33	2.86	32.5	0.16	2	0.21	2.5	0.85	9.5	1.66	18.5
	8.86	6.52	73.5	4.22	47.5	2.30	26	2.34	26.5	0.12	1.5	0.23	3	0.64	7	1.35	15
	9.17	6.31	69	4.38	48	1.93	21	2.86	31	0.18	2	0.23	2.5	1.02	11	1.43	15.5
	9.65	7.09	73.5	4.61	47.5	2.48	26	2.56	26.5	0.19	2	0.35	3.5	0.69	7	1.35	14
	11.56	8.23	71	6.07	52.5	2.16	18.5	3.33	29	0.11	1	0.63	5.5	0.58	5	2.01	17.5
	11.84	8.76	74	5.34	45	3.42	29	3.08	26	0.18	1.5	0.68	5.5	0.82	7	1.40	12
Nauta Cattle	7.08	2.78	39	0.58	8	2.20	31	4.30	61	0.09	1	0.53	8	0.98	14	2.70	38
	7.14	2.56	36	0.44	6	2.12	30	4.58	64	0.05	0.5	0.43	6	0.99	14	3.11	43.5
	10.01	4.71	47	0.58	6	4.13	41	5.30	53	0.09	1	0.50	5	1.07	11	3.64	36
	10.02	4.45	44.5	0.93	9.5	3.52	35	5.57	55.5	0.07	0.5	0.45	4.5	1.61	16	3.44	34.5
	10.27	4.51	44	0.97	9.5	3.54	34.5	5.76	56	0.09	1	0.43	4	1.40	13.5	3.84	37.5
	11.34	5.13	45	0.91	8	4.22	37	6.21	55	0.11	1	0.62	6	1.71	15	3.77	33
	12.55	6.72	53.5	0.77	6	5.95	47.5	5.83	46.5	0.09	0.5	0.36	3	2.05	16.5	3.33	26.5
	11.87	6.27	53	1.98	17	4.29	36	5.60	47	0.07	0.5	0.63	5.5	1.21	10	3.69	31
	14.05	7.53	53.5	2.87	20.5	4.66	33	6.52	46.5	0.07	0.5	0.75	5.5	1.90	13.5	3.80	27
Lammas Sheep	7.40	3.45	46.5	0.47	6.5	2.98	40	3.95	53.5	0.11	1	0.39	5.5	0.72	10	2.73	37
	16.70	7.03	42	1.17	7	5.86	35	9.67	58	0.32	2	0.43	2.5	3.12	19	5.80	34.5
Sika Pig	20.01	13.44	67	7.76	39	5.68	28	6.57	33	0.30	2	0.37	2	1.80	9	4.10	20
20.20	14.69	72.5	9.13	45	5.56	27.5	5.51	27.5	0.27	1	0.94	4.5	1.69	8	2.61	13	
Kana Hen	22.26	9.62	43	6.36	28	3.26	15	12.64	57	0.15	1	0.82	4	8.74	39	2.93	13
	28.20	9.90	35	3.70	13	6.20	22	18.30	65	0.12	0.5	0.70	2.5	15.40	54.5	2.08	7.5

kauden aikana otetut kaksi viimeistä naudan sonnan näytettä olivat reaktioltaan vähemmän emäksisiä, pH 7:n vaiheilla, ja niiden epäorgaaninen fosfori onkin suhteellisesti paremmin liukenevaa kuin sisäruokintakauden näytteiden. Eri eläinlajeilla havaittavaan eroon vaikuttanee osaltaan myös se, että naudan ja lampaan sonnassa on 2—5 kertaa niin paljon kalsiumia kuin hevosen ja sian, joilla kalium on sonnan tärkein kationi (17, p.7).

Fytiiniä on runsaasti ainoastaan kanan sonnassa. Muilla muodostaa veteen ja happoon liukenematon jäännös, siis lähinnä nukleiiniaineitten ryhmä, tärkeimmän orgaanisen fosforifraktion. Hevosella ja sialla tämä on vain vajaa 20 % sonnan fosforista, mutta märehitijöillä saattaa kohota jopa yli 40 %:n. On mahdollista, että rehujen nukleini fosfori mineraloituu huonosti märehitijöiden ruoansulatuskanavassa, mutta todennäköisempää on, että mikro-organismien tehokas rakennustoiminta on syynä nukleiiniaineitten runsauteen. Fosfatidiaineita on kaikkien

eläinlajien sonnassa hiukan vähemmän kuin rehuissa, vain noin prosentin verran. Veteenliukenevaa orgaanista fosforia on myös niukasti.

Ulosteiden fosforyhdistykset joutuvat lannan palamisen aikana alttiiksi tehokkaan mikrobitoiminnan vaikutuksille. Monet seikat, kuten kuivikkeiden laatu ja määrä, lannan palamislämpötila sekä hapen saanti, säätelevät palamisen aikana tapahtuvia muutoksia. Koska todennäköisesti vain lannan epäorgaaniset fosforyhdistykset kelpaavat välittömästi kasvien ravinnoksi, on mielenkiintoista saada selville, onko fosforin mineraloituminen palamisen aikana nopeampaa kuin uuden orgaanisen aineksen rakentuminen. Ratkaisevana tekijänä on mikro-organismeille käyttökelpoisen hiilen ja orgaanisen fosforin määrien keskinäinen suhde (8). Voidaan sanoa keskimäärin, että humifioituvassa aineksessa on todettavissa orgaanisen fosforin mineraloitumista, kun siinä on orgaanista fosforia (P_2O_5) ainakin 0.45 % (0.2 % P) kuiva-aineesta. Jos tältä kannalta tarkastellaan taulukossa 1 esitettyjä eri eläinlajien sonnien orgaanisen fosforin määriä, voidaan todeta, ettei sonnien palaessa sellaisenaan tulle tapahtumaan fosforin biologista pidättymistä juuri muussa kuin hevosen sonnassa. Sen sijaan on mahdollista, että runsas kuivikkeiden käyttäminen lisää sontoa niin paljon mikro-organismeille sopivaa hiiliravintoa, että biologinen pidättyminen saattaa muodostua kohtalokkaaksi lannan fosforin käyttökelpoisuuden kannalta. Tämä vaara ei liene kovin suuri, kun kuivikkeina käytetään turvepehkoa, jonka hiiliyhdistykset ovat mikro-organismeille huonohkoa energianlähdetä, mutta olkikuivikkeet voivat aiheuttaa tällaisen ilmiön, etenkin, jos niitä käytetään runsaasti. Kysymyksen selvittämiseksi suoritettiin laboratorioskoe, jossa seurattiin eri suurten olkimäärien vaikutusta naudon lannan palaessa tapahtuviin fosforyhdistysten muutoksiin. Kokeen järjestely oli seuraavanlainen:

Sekoitettiin 30 % tuoretta naudon virtsaa ja 70 tuoretta naudon sontoa. Yhteen erään lisättiin 5 %, toiseen 10 % ja kolmanteen 20 % olkisilppua, sekoitettiin ja sullottiin 3 kg lasitölkkeihin. Lanta sai humifioitua $+35^{\circ}C$:n lämpöhuoneessa viisi kuukautta. Kuukausittain otetut näytteet fraktioitiin edellä selostettuun tapaan.

Taulukossa 2 esitetyistä tuloksista nähdään, että orgaanisen fosforin mineraloituminen on ollut kaikissa koejäsenissä tehokkaampaa kuin biologinen pidättyminen. Koska 5 ja 10 % olkea sisältävissä koejäsenissä oli jo alussa yli 0.45 % orgaanista fosforia, oli selvää, ettei niissä ollut odotettavissa biologista pidättymistä. Sen sijaan 20 % olkea sisältävän koejäsenen orgaanisen fosforin määrä oli mineraloitumisen rajan alapuolella, ja onkin todennäköistä, että orgaanisen fosforin muodostuminen oli siinä aluksi nopeampaa kuin mineraloituminen, mutta mineraloitumisen raja saavutettiin jo ensimmäisen kuukauden kuluessa. Tosin on huomattava, että keskinäytteen otto niin epähomogeenisesta aineksestä kuin olkisilpun sekaisesta lannasta on vaikeaa, ja sen vuoksi on mahdollista, että kolmannen koejäsenen ensimmäisen kuukauden näyte ei ollut edustava. Tämän näytteen suuri kokonaisfosforin pitoisuus viittaa siihen, että siinä oli suhteellisesti vähemmän olkea. Koeteknillisesti olisi ollut parempi käyttää olkijauhoa, mutta koe yritettiin järjestää vastaamaan mahdollisimman tarkoin luonnollisia olosuhteita ja sen vuoksi käytettiin kuivikkeita samanlaisina kuin navetassa. Joka tapauksessa voidaan

Taulukko 2. Kuivikkeina käytetyn olkimäärän vaikutus karjanlannan fosforin muutoksiin palamisen aikana. P_2O_5 g/kg kuiva-ainetta ja % kokonaisfosforista.

Table 2. Influence of various amounts of straw on the composition of phosphorus in fermenting cattle manure. P_2O_5 gm./kgm. of dry matter and per cent of total phosphorus.

Olkea Straw %	Palamis- aika kk. Time of ferment. months	pH	Tot. P_2O_5 g/kg	Epäorg. P_2O_5 — Inorg. P_2O_5								Org. P_2O_5								
				tot.				tot.				C ₂ H ₅ OH				H ₂ O				Jäännök- sessä in residue
				H ₂ O		0.5 n HCl		liuottaa — dissolves		liuottaa — dissolves		liuottaa — dissolves		liuottaa — dissolves		liuottaa — dissolves				
				g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%	g/kg
5	0	9.0	10.70	6.03	56	3.25	30	2.78	26	4.67	44	0.12	1	0.99	10	1.08	10	2.48	23	
	1	6.5	12.10	7.58	63	5.20	43	2.38	20	4.52	37	0.10	1	0.72	6	1.04	8	2.66	22	
	2	7.7	13.62	9.53	70	5.34	39	4.19	31	4.09	30	0.11	1	0.20	1	1.22	9	2.56	19	
	5	8.1	15.16	10.59	70	4.77	32	5.82	38	4.57	30	0.17	1	0.51	3	0.54	4	3.35	22	
10	0	9.0	10.41	5.36	52	3.04	29	2.32	23	5.05	48	0.12	1	1.15	11	1.35	13	2.43	23	
	1	8.2	11.95	6.42	54	3.71	31	2.71	23	5.53	46	0.11	1	1.04	8	1.29	11	3.09	26	
	2	8.5	14.80	10.00	68	5.10	35	4.90	33	4.80	32	0.12	1	0.27	2	1.43	9	2.98	20	
	5	8.3	16.85	11.70	69	3.74	22	7.96	47	5.15	31	0.17	1	0.46	3	0.89	5	3.63	22	
20	0	9.0	6.95	3.26	47	1.82	26	1.44	21	3.69	53	0.12	2	0.98	14	1.11	16	1.48	21	
	1	8.1	9.96	5.18	52	2.59	26	2.59	26	4.78	48	0.09	1	0.89	9	1.28	13	2.52	25	
	2	8.7	10.37	5.95	57	2.47	24	3.48	33	4.42	43	0.08	1	0.73	7	1.08	10	2.53	25	
	5	8.6	15.80	10.38	66	2.78	18	7.60	48	5.42	34	0.10	1	0.45	3	0.76	5	4.11	26	

todeta, ettei fosforin biologista pidättymistä tapahtunut edes 20 % olkimäärää käytettäessä niin tehokkaasti, että orgaanisen fosforin osuus olisi lisääntynyt kuin jonkin verran aivan palamisprosessin alussa.

Tämä koe antanee kuitenkin liian positiivisen kuvan kysymyksestä, koska siinä käytetty olkisilppu sisälsi verraten runsaasti fosforia: sen kokonaisfosforin pitoisuus oli 0.36 % ja orgaanista fosforia oli 0.16 % P_2O_5 . Voidaan laskea, että jos käytetään niukasti fosforia sisältävää olkea, joudutaan eräissä tapauksissa mineraloitumisen rajan alapuolelle jo, kun olkea on lisätty 10 %. Suoritettussa kokeessa oli kuitenkin jo kuukauden kuluttua todettavissa orgaanisen fosforin mineraloitumista tällaisessakin naudanlannassa.

Taulukossa 2 esitetyistä arvoista voidaan edelleen todeta, että fosforin mineraloitumista on tapahtunut etenkin veteenliukenevan orgaanisen fosforin mutta myös fytiinin kohdalla. Nukleiiniaineitten fosfori ei ole sanottavasti mineraloitunut, vaan kolmannessa koejäsenessä on jopa todettavissa sen lisääntymistä, mikä osoittaa biologisen pidättymisen siinä suhteellisesti voimakkaammaksi kuin vähemmän olkea sisältävissä koejäsenissä. Näyttää siltä, että lannan epäorgaanisen fosforin liukenevuus huononisi jonkin verran palamisen aikana. Ilmiö voinee johtua siitä, että orgaanisen aineksen mineraloitumista vapautuu kationeja, jotka sitovat fosfaatti-ioneja veteenliukenevammiksi yhdistyksiksi, tai muodostuvat humuskolloidit pidättävät niitä tehokkaasti. Ensimmäisessä koejäsenessä massa oli aluksi melko märkää, ja siinä tapahtuneen anaerobisen palamisen aiheuttaman verraten matalan pH:n vaikutus kuvastuu epäorgaanisen fosforin liukenevuussuhteissa.

Taulukko 3. Olki-superfosfaattilannan fosforin koostumuksen muutokset palamisen aikana.
 P_2O_5 g/kg kuiva-ainetta ja % kokonaisfosforista.

Table 3. Composition of phosphorus in fermenting cattle manure conserved with 5 per cent superphosphate. P_2O_5 gm./kgm. of dry matter and per cent of total phosphorus.

Olkea Straw %	Palamis- aika kk. Time of ferment. months	pH	Tot. P_2O_5 g/kg	Epäorg. P_2O_5 — Inorg. P_2O_5						Org. P_2O_5	
				tot.		veteenliuk. water soluble		happoonl. acid soluble		g/kg	%
				g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%		
5	0	5.4	46.49	44.35	95	15.30	33	29.05	62	2.14	5
	1	4.8	52.80	50.35	95	14.55	27	35.80	68	2.45	5
	5	7.8	69.83	65.92	94	9.62	14	56.30	80	3.91	6
10	0	5.4	41.31	39.25	95	13.70	33	25.55	62	2.06	5
	1	5.0	48.69	46.65	96	17.95	37	28.70	59	2.04	4
	5	7.9	64.72	58.90	91	7.90	12	51.00	79	5.82	9
20	0	5.4	32.43	30.63	94	12.65	39	17.98	55	1.80	6
	1	8.6	44.94	41.73	93	6.83	15	34.90	78	3.21	7
	5	7.3	63.25	58.15	92	7.70	12	50.45	80	5.10	8

Tässä yhteydessä lienee syytä käsitellä kysymystä, pidättyykö lannan kemialiseen säilytykseen käytetyn superfosfaatin fosfori biologisesti. Asian selvittämiseksi järjestettiin edellä selostetun kokeen yhteyteen koejäsenet, joihin sekoitettiin ennen olkisilpun lisäämistä 5 % superfosfaattia. Arvot eivät ole kuitenkaan täysin vertailukelpoisia edellisen kokeen arvojen kanssa, koska lantanäyte ei ollut aivan sama. Analyysitulokset ovat taulukossa 3.

Fosforin biologista pidättymistä on todettavissa jonkin verran kaikissa koejäsenissä, selvimpänä 20 % olkea sisältävässä. Lannan reaktiolla on ilmeisesti osuutensa pidättymisen tehokkuuteen, vaikka hiiliravinnon määrä onkin tärkein tekijä. Kaikki koejäsenet ovat aluksi ja vielä kuukauden humifioitumisen jälkeen fosforin mineraloitumisen rajan alapuolella. Biologinen pidättyminen on kuitenkin eniten olkea sisältävässäkin koejäsenessä siksi vähäistä, ettei voida väittää sen heikentävän sanottavasti superfosfaatin käyttökelpoisuutta. Sen sijaan on selvästi havaittavissa, että epäorgaanisen fosforin liukeneminen veteen huononee pH:n kohotessa palamisen aikana. Ilmiö on hidas ensimmäisessä ja toisessa koejäsenessä, joiden pH on aluksi pysynyt matalalla, mutta kolmannen koejäsenen pH:n nopea kohoaminen on jo kuukaudessa tehnyt mahdolliseksi fosfaatin saostumisen di- ja trikalsiumfosfaatteina.

Kirjallisuudessa esiintyy vastakkaisia käsityksiä siitä, kannattaako fosforin hyväksikäytön kannalta sekoittaa sitä lantaan. Usein vedotaan TOTTINGHAMIN ja HOFFMANIN (23) kokeisiin, joissa todettiin lantaan lisätyn superfosfaatin liukenevuuden ja käyttökelpoisuuden huonontuneen huomattavasti palamisen aikana. SALTER ja SCHOLLENBERGER (17), jotka katsovat superfosfaatin monokalsiumfosfaatin muuttuvan lannan palaessa trikalsiumfosfaatiksi, viittaavat SALTERIN ja

Taulukko 4. Fosforin mineraloituminen naudan lannan palaessa aerobisissa ja anaerobisissa olosuhteissa. P_2O_5 g/kg kuiva-ainetta ja % kokonaisfosforista.

Table 4. Mineralisation of phosphorus in cattle manure fermenting under aerobic and anaerobic conditions. P_2O_5 gm./kgm. of dry matter and per cent of total phosphorus.

	pH	Tot. P_2O_5 g/kg	Epäorg. P_2O_5 Inorg. P_2O_5		Org. P_2O_5	
			g/kg	%	g/kg	%
Olkilanta, alussa – Straw manure, at the beginning.....	8.5	9.68	5.19	54	4.49	46
palanut aerobisesti – aerobic fermentation	8.7	11.40	8.11	71	3.29	29
palanut anaerobisesti – anaerobic fermentation	7.6	10.03	7.05	70	3.04	30
Olki-superfosf. lanta, alussa – Straw superphosphate manure at the beginning	5.2	50.82	46.24	91	4.58	9
palanut aerobisesti – aerobic fermentation	6.5	64.99	59.46	91	5.53	9
palanut anaerobisesti – anaerobic fermentation	4.8	51.24	49.13	96	2.11	4

BARNESIN (16) tutkimuksiin, joissa trikalsiumfosfaatin lannoitusarvo oli happamalla mailla 66 %, pH 6.0:ssa 47 % ja pH 7.0:ssa vain 19 % monokalsiumfosfaatin lannoitusarvosta. Tähän taas menetelmän puolustajat vastaavat, että SALTERIN ja BARNESIN tulokset on saatu käyttämällä tehdasmaisesti valmistettua trikalsiumfosfaattia, joka eroaa rakenteeltaan ja käyttökelpoisuudeltaan oleellisesti lannassa muodostuvasta hienojakoisesta ja vesipitoisesta yhdistyksestä (12). Kummankaan kannan edustajilla ei kuitenkaan ole esitettävänä täysin päteviä koetuloksia väitteensä tueksi: MIDGLEYN ja DUNKLEEN (12) samoin kuin ÅSLANDERIN (27) kokeet on suoritettu lannalla, johon superfosfaatti on sekoitettu juuri ennen käyttöä, eikä niiden positiivisia tuloksia voida ilman muuta soveltaa lannan kemialliseen säilytykseen, jossa superfosfaatti joutuu olemaan lannan ainesosien vaikutuksen alaisena koko palamisen ajan.

Lämpötilan vaikutusta palamisen aikana tapahtuviin lannan fosforiyhdistysten muutoksiin ei tutkittu. Yleensä väitetään, että mineraloitumisprosessit olisivat suhteellisesti voimakkaampia korkeammassa lämpötiloissa, rakentumisprosessit taas alemmissa. Tämä pitänee paikkansa hiiliyhdistysten kohdalla, sillä alemmissa lämpötiloissa dominoivat sienet muodostavat runsaasti uutta orgaanista ainesta, kun taas korkeammassa lämpötiloissa vallitsevat bakteerit ja sädesienet ovat tuhlavia hiiliravinnon käyttäjiä. Mutta fosforin käytön kannalta orgaanista ainesta humifioivat mikro-organismit eivät juuri eroa toisistaan: ratkaisevana tekijänä on käyttökelpoisen hiiliravinnon määrä. Lämpötilan vaikutus ilmeneekin sen vuoksi lähinnä palamisnopeudessa, kuten voitiin todeta oljen humifioitumiskokeissa (8).

Anaerobisesti palavassa lannassa on orgaanisen aineksen rakentuminen verraten vähäistä ja fosforin tarve niin ollen pieni. Sen vuoksi fosforin mineraloituminen

Taulukko 5. Kuivikkeiden vaikutus karjanlannan fosforin koostumukseen. P_2O_5 g/kg kuiva-ainetta ja % kokonaisfosforista.

Table 5. Influence of litter on the composition of phosphorus in farm manure. P_2O_5 gm./kgm. of dry matter and per cent of total phosphorus.

L a n t a M a n u r e	Tot. P_2O_5 g/kg	Epäorg. P_2O_5 - Inorg. P_2O_5						Org. P_2O_5									
		tot.		H ₂ O		0.5-n HCl		tot.		C ₂ H ₅ OH		H ₂ O		0.5-n HCl		jäännök- sessä in residue	
		liuottaa - dissolves								liuottaa - dissolves							
		g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%
Turvepehkulanta - Peat moss manure	7.83	5.54	71	4.13	53	1.41	18	2.29	29	0.07	1	0.26	3	0.37	5	1.59	20
Turvep.-olkilanta - Peat moss-straw manure	7.39	4.65	63	2.96	40	1.69	23	2.74	37	0.08	1	0.18	3	0.67	9	1.81	24
Olkilanta - Straw manure ..	10.75	7.02	65	2.04	19	4.98	46	3.73	35	0.10	1	0.31	3	0.46	4	2.86	27
Olki-superf.lanta - Straw superphosphate manure ..	36.00	33.62	94	1.82	5	31.80	89	2.38	6	0.09	—	0.15	—	—	—	2.14	6
Tuore turvep.lanta - Fresh peat moss manure	6.97	4.20	60	3.40	49	0.80	11	2.77	40	0.08	1	0.46	7	0.34	5	1.89	72
Tuore olkilanta - Fresh straw manure	8.80	5.20	59	3.50	40	1.70	19	3.60	41	0.07	1	1.27	14	0.44	5	1.82	21

on todennäköisesti anaerobisissa oloissa suhteellisesti tehokkaampaa kuin aerobisissa. Tähän viittaavat myös taulukossa 4 esitetyt analyysitulokset, jotka on saatu eri olosuhteissa palaneesta lannasta. Anaerobisesti palanutta lantaa edustava näyte oli humifioitunut neljä kuukautta patenttikorkkisessa tölissä, aerobisesti palanut näyte lasilevyllä peitettyssä astiassa. Kokeessa oli vain 5 % olkijauhoa sisältävän naudanalannan lisäksi myös 5 % superfosfaattia sisältävää samaa lantaa. Vaikka kuiva-aineen häviön on täytynyt olla anaerobisesti palaneissa näytteissä vähäistä, fosforin mineraloituminen on ollut olkilannassa yhtä tehokasta ja superfosfaatti-olkilannassa jopa huomattavasti tehokkaampaa kuin aerobisissa olosuhteissa. Havainnot viittaavat siihen, että fosforitaloudenkin kannalta on edullista järjestää lannan palamisolosuhteet mahdollisimman anaerobisiksi.

Kuivikkeiden vaikutusta karjanlannan fosforin kokoonpanoon kuvastavat taulukossa 5 esitetyt analyysitulokset, jotka on saatu fraktioitaessa Etelä-Pohjanmaan kasvinviljelyskoeaseman karjanlannan talteenottokokeista peräisin olevia näytteitä (7). Kokeen selostuksesta ilmenee, että eri lantaerät on kerätty siten, että niitä on pidettävä alkuperäiseltä kokoonpanoltaan samanlaisina ja palaneissa näytteissä todettavia eroja vain kuivikkeiden erilaisuudesta johtuvina. Taulukossa viimeisenä olevat tuoret lantanäytteet eivät sen sijaan ole vertailukelpoisia palaneitten erien kanssa, koska ne otettiin talteen pari kuukautta myöhemmin. Lanta oli palanut tiivispohjaisessa puukehyksessä 2 ½ kuukautta. Kuiva-aineen häviötä arvioitiin tapahtuneen tänä aikana turvepehkulannassa 14 %, turvepehku-olkilannassa ja superfosfaattiolkilannassa 30 % sekä olkilannassa 45 %.

Epäorgaanisen fosforin osuus on turvepehkulannassa huomattavasti suurempi kuin sekä olki- että turvepehku-olkilannassa, mikä ilmeisesti johtuu siitä, että fos-

Taulukko 6. Karjanlannan fosfori. P_2O_5 g/kg kuiva-ainetta ja % kokonaisfosforista.

Table 6. Phosphorus in stable manure. P_2O_5 gm./kgm. of dry matter and per cent of total phosphorus.

N:o	Tot. P_2O_5 g/kg	Epäorg. P_2O_5 — Inorg P_2O_5						Org. P_2O_5									
		tot.		H ₂ O		0.5-n HCl		tot.		C ₂ H ₅ OH		H ₂ O		0.5-n HCl		jäännök- sessä in residue	
		liuottaa — dissolves		liuottaa — dissolves		liuottaa — dissolves		liuottaa — dissolves		liuottaa — dissolves		liuottaa — dissolves		liuottaa — dissolves		g/kg %	
		g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%
Naudan lantaa tai sekalantaa — Cattle manure or mixed manure																	
P 395	5.84	2.73	47	1.45	25	1.28	22	3.11	53	0.14	2	0.55	10	0.86	14	1.56	27
P 371	6.36	1.94	30	0.54	8	1.40	22	4.42	70	0.05	1	0.76	12	0.67	11	2.93	46
P 301	6.89	3.77	55	3.08	45	0.69	10	3.12	45	0.12	2	0.48	7	0.42	6	2.10	30
P 88	7.39	4.65	63	2.96	40	1.69	23	2.74	37	0.08	1	0.18	3	0.67	9	1.81	24
P 87	7.83	5.54	71	4.13	53	1.41	18	2.29	29	0.07	1	0.26	3	0.37	5	1.59	20
P 259	8.05	4.49	56	1.61	20	2.88	36	3.56	44	0.06	1	1.21	15	0.40	5	1.89	23
P 402	8.14	3.54	44	1.22	15	2.32	29	4.60	56	0.09	1	1.11	13	0.92	11	2.48	31
PA 3	8.50	4.42	52	2.05	24	2.37	28	4.08	48	0.08	1	0.65	8	0.96	11	2.39	28
P 262	8.81	5.46	62	2.68	30	2.78	32	3.35	38	0.03	—	0.26	3	0.44	5	2.62	30
P 392	9.75	5.62	58	1.14	12	4.48	46	4.13	42	0.12	1	0.35	3	0.66	7	3.00	31
P 294	9.81	5.43	55	1.93	20	3.50	35	4.38	45	0.09	1	0.57	6	1.48	15	2.24	23
P 413	9.95	3.18	32	1.27	13	1.90	19	6.77	68	0.08	1	1.16	11	0.57	6	4.96	50
P 89	10.75	7.02	65	2.04	19	4.98	46	3.73	35	0.10	1	0.31	3	0.46	4	2.86	27
PA 4	11.38	8.21	72	2.79	24	5.42	48	3.17	28	0.08	—	0.51	5	0.55	5	2.03	18
PA 2	11.77	7.05	60	3.42	29	3.63	31	4.72	40	0.14	1	0.83	7	1.14	10	2.61	22
P 397	11.88	6.33	53	4.23	35	2.10	18	5.55	47	0.11	1	1.03	9	1.13	9	3.28	28
P 295	12.48	8.66	70	5.20	42	3.46	38	3.82	30	0.10	1	0.18	1	0.40	3	3.14	25
P 389	12.61	7.70	61	3.26	26	4.44	35	4.91	39	0.09	1	0.97	8	0.76	6	3.09	24
P 417	12.71	7.09	56	2.51	20	4.58	36	5.62	44	0.09	1	0.50	4	0.91	7	4.12	32
PA 1	12.90	8.21	64	2.02	16	6.19	48	4.69	36	0.08	1	0.66	5	0.41	3	3.54	27
P 293	13.90	9.68	70	3.42	25	6.26	45	4.22	30	0.08	—	0.62	5	0.96	7	2.56	18
P 297	19.32	13.16	68	4.80	25	8.36	43	6.16	32	0.06	—	0.76	4	1.68	9	3.66	19
PA 5	22.25	15.74	71	7.37	33	8.37	38	6.51	29	0.12	1	0.07	—	1.79	8	1.53	20
Hevosien lantaa — Horse manure																	
PA 8	16.25	10.74	66	5.76	35	4.98	31	5.51	34	0.12	1	1.82	11	0.96	6	2.61	16
PA 10	19.76	12.40	63	8.15	41	4.25	22	7.36	37	0.08	1	0.81	4	1.42	7	5.05	25
Lampaan lantaa — Sheep manure																	
PA 7	16.60	11.00	66	4.29	26	6.71	40	5.60	34	0.07	—	0.42	3	1.23	8	3.88	23
PA 6	19.44	12.41	64	4.96	26	7.45	38	7.03	36	0.06	—	0.34	2	0.93	5	5.70	29
Kanan lantaa — Hen manure																	
PA 9	30.26	17.97	59	7.66	25	10.27	34	12.33	41	0.11	1	1.00	3	7.64	25	3.58	12
PA 11	13.72	6.98	51	2.24	16	4.74	35	6.74	49	0.10	1	0.46	3	2.79	20	3.39	25
Sian lantaa — Hog manure																	
PA 12	15.16	8.32	55	4.42	29	3.90	26	6.84	45	0.19	1	0.45	3	1.16	8	5.04	33

forin biologinen pidättyminen on ollut siinä suhteellisesti heikompaa kuin molemmissa muissa koejäsenissä, joissa oljen hiiliyhdistykset tarjoavat mikro-organismille oivallisen energianlähteen. Epäorgaanisen fosforin suhteellinen määrä on kuitenkin todennäköisesti lisääntynyt palamisen aikana olki- ja turvepehku-olkilannassakin, sillä tuoreessa lannassa sitä on harvoin yli 60 %. Turvepehkon happamuus näyttää parantavan epäorgaanisen fosforin liukenemistä veteen sekä palaneissa että tuoreissa näytteissä.

Turvepehkon fosforista on veteen- ja happoon liukenematonta tavallisesti yli 80 %, oljessa sen sijaan vain 30—40 % (8, p. 42). Tämä ero kuvastuu selvästi tuoreitten lantanäytteiden vastaavan fraktion suhteellisista määristä. Palaneissa näytteissä tilanne on päinvastainen, mikä osoittaa, että olkea sisältävissä koejäsenissä mikro-organismit ovat syntetisoineet runsaasti uutta nukleiiniainesta, kun taas turvepehkulannassa on saattanut tapahtua lannan nukleiiniaineitten mineraloitumista. Näyttää kuitenkin siltä, että veteenliukeneva orgaaninen fosfori on kaikissa koejäsenissä mineraloitunut tehokkaimmin.

Olki-superfosfaattilannasta saadut analyysitulokset ovat suunnilleen samantyyppiset kuin laboratorionkokeissa: fosforin biologista pidättymistä ei ole todettavissa, mutta epäorgaaninen fosfori on suurimmaksi osaksi happoon liukenevana. Koska superfosfaattilannan suuri elektrolyyttipitoisuus estää lannan orgaanisen aineksen normaalin liukenemisen, ei orgaanisen fosforin fraktioitumista voida pitää luotettavana.

Edellä esitettyjen analyysitietojen perusteella näyttää yleensä yli puolet karjanlannan fosforista olevan epäorgaanisena ja noin neljäsosa nukleiiniaineina. Tätä käsitystä tukevat kolmenkymmenen erilaisen lantanäytteen analyysitulokset (taulukko 6). Näytteissä on epäorgaanista fosforia 30—72 %, keskimäärin 59 ± 10 % fosforin kokonaismäärästä, siitä noin puolet veteenliukenevaa. Epäorgaanisena on yleensä sitä enemmän, mitä suurempi on näytteen kokonaisfosforinpitoisuus. Riippuvuus ei ole kuitenkaan kovin selvä, korrelaatiokerroin vain +0.5, mikä johtunee siitä, että näytteet ovat eri tavoin talteenotettuja ja palamisasteeltaan erilaisia. Fosfatideja on prosentien verran, fytiiniä 20—25 % kanan lannassa, muissa näytteissä veteen ja happoon liukenevaa orgaanista fosforia yhteensä 10—20 %. Pääosa orgaanisesta fosforista on nukleiiniaineita, 16—50 %, keskimäärin 25 % fosforin kokonaismäärästä.

Tulokset eroavat CHAMINADEN (1) ilmoittamista lähinnä siinä, että näiden mukaan lannan epäorgaanisen fosforin osuus on suurempi kuin orgaanisen. Sen sijaan nämä arvot ovat täysin samansuuntaiset kuin GHANIN (5) esittämät.

Karjanlannan fosforin käyttökelpoisuudesta.

Jos karjanlannan fosforin käyttökelpoisuudella tarkoitetaan sitä fosforin suhteellista määrää, joka on kyseessä olevassa näytteessä sellaisessa muodossa, jota kasvit voivat välittömästi ottaa, päädytään ilmeisesti epäorgaaniseen fosforiin. Tosin joissakin tapauksissa on voitu osoittaa kasvien kykenevän ottamaan fosforiravintonsa eräinä helposti liukenevina orgaanisina yhdistyksinä (26), mutta karjan-

lannan veteenliukenevan orgaanisen fosforin fraktio on siksi pieni, ettei tällä mahdollisuudella ole sanottavaa merkitystä. NEUBAUERIN (13) orasanalyyseissä kasvit ottivat 69 % 20 mg:sta karjanlannan fosforia, kun mitkään pidättävät tekijät eivät häirinneet. Koska kokeessa käytetyn karjanlannan fosforinpitoisuus oli 0.37 %, on varsin todennäköistä, että ainakin 69 % siitä oli epäorgaanisena, joten orgaaninen fosfori on jäänyt käyttämättä.

Jos taas karjanlannan fosforin käyttökelpoisuudella tarkoitetaan sitä osaa, jonka kasvit ottavat siitä pellossa, joudutaan varsin erilaisiin arvoihin sen mukaan, millainen maa on kysymyksessä. On näet otettava huomioon, että epäorgaanisen fosforin pidättyminen ja orgaanisten yhdistysten mineraloitumisen nopeus vaikuttavat ratkaisevasti lopulliseen käyttöprosenttiin.

Karjanlannan fosforia on pidetty kasveille erittäin arvokkaana sen vuoksi, ettei se pidäty maahan niin tehokkaasti kuin väkilannoitteiden fosfori (13, 24). Mutta karjanlannankin fosfori menettää maassa tehoaan jo verraten lyhyessä ajassa: edellä mainituissa NEUBAUERIN (13) orasanalyyseissä 50 gramman maa-erän lisääminen alensi karjanlannan fosforin juuriliukoisuutta 69%:sta 56 %:ksi, permutiitin (2 g) lisääminen jopa 32 %:ksi. Käytännön olosuhteissa tulee pidätys olemaan perusteellisempaa, koska pidättävä maamäärä on silloin ainakin viisinkertainen. Orasanalyyseissä (14), joissa karjanlannan fosforia annettiin vain 6 mg P_2O_5 100 g kohti maata, oli sen käyttökin ainoastaan 36—46 %:sta.

Mitä taas tulee karjanlannan fosforin mineraloitumiseen maassa, niin GHANIN (5) käsityksen mukaan se on neutraaleissa olosuhteissa erittäin nopeata. Hänen tuloksensa osoittavat kuitenkin, että karjanlantaa saaneiden koeruutujen orgaanisen fosforin kokonaismäärä oli suurempi kuin muiden. PEARSONIN, NORMANIN ja HON (15) laboratorikokeissa puolet tuoreen lehmän sonnann orgaanisesta fosforista mineraloitui maassa kolmessa kuukaudessa. Mineraloituminen oli verraten nopeata myös tuoreella hevosen sonnalla suoritetuissa muhituskokeissa (8). Mutta tuoreella sonnalla saadut tulokset eivät ole ilman muuta sovellettavissa palaneeseen lantaan, jonka helpoimmin mineraloituvat yhdistykset ovat jo hajaantuneet palamisen aikana. Kun otetaan huomioon nukleiiniaineitten ja fytiinin tehokas pidättyminen maassa vaikeasti mineraloituviksi komplekseiksi, ei liene syytä antaa kovin paljon arvoa lannan orgaaniselle fosforille ainakaan meikäläisissä verraten happamissa maissa. Kysymys kaippaa kuitenkin lisätutkimuksia.

Laajat saksalaiset kenttäkokeet, joilla on yritetty selvittää karjanlannan fosforin käyttökelpoisuutta, ovat tuloksiltaan hyvin erilaiset: hyväksikäyttöprosentti vaihtelee 14.4—78 % (4, 9, 20, 22, 24). Kokeissa ei ole kiinnitetty huomiota lannan fosforin koostumukseen, vaikka jo esimerkiksi EGOROV (3) tähdensi, että karjanlannan fosforia arvosteltaessa on määritettävä ainakin sen helposti liukenevan fosforin osuus. Vain SAUERLANDT (18) on jossain määrin ottanut huomioon fosforin koostumuksen vaikutuksen sen käyttökelpoisuuteen. Hän totesi karjanlannan fosforin sitä arvokkaammaksi, mitä suurempi oli kyseessä olevan lantaerän kokonaisfosforin pitoisuus, ja selitti ilmiön johtuvan siitä, että lannan fosforin mineraloituminen on sitä nopeampaa, mitä matalampi on lannan C/P-suhde. Tosin ratkaisevana tekijänä ei ole kokonaishiilen ja kokonaisfosforin suhde, vaan käyttökelpoisen hii-

len määrän suhde orgaanisen fosforin määrään, mutta onhan selvää, että orgaanisessa aineksessa, jonka kokonaisfosforin arvo on suuri, on enemmän fosforia epäorgaanisena tai sitä voi ainakin mineraloitua enemmän kuin sellaisessa, jossa kokonaisfosforin arvo on jo lähellä mineraloitumisen rajaa.

Vaikka kokonaisfosforin määrä antaa jo jonkinlaisen käsityksen lannan fosforin käyttökelpoisuudesta, on syytä varmistaa arviointi määrittämällä myös näytteen epäorgaaninen fosfori. Tämä voidaan suorittaa esimerkiksi käyttämällä uuttoneena jotain 0.2—0.5 normaalista happoa.

Yhteenvedo.

Tutkimuksessa on yritetty selvittää karjanlannan fosforin koostumusta ja käyttökelpoisuutta. Analyysit on suoritettu etupäässä tekijän kehittämällä orgaanisen aineksen fosforin fraktioimismenetelmällä. Tutkimuksessa päädyttiin seuraaviin tuloksiin:

1. Meikäläisen karjanlannan fosforinpitoisuus on Maatalouskoelaitoksen maanviljelyskemian ja fysiikan osastolla vuosina 1930—47 tutkitun 310 näytteen mukaan keskimäärin 0.19 ± 0.06 % P_2O_5 . Typeä on keskimäärin 0.46 ± 0.10 % ja kalia 0.61 ± 0.20 %.

2. Eri eläinlajien tuoreista sontanäytteistä saadut fraktioinnin tulokset osoittivat niiden rehujen fosforin koostumuksen perusteella tehdyt johtopäätökset jotensakin oikeiksi. Märehtijöiden sonnassa oli 35—55 % fosforista epäorgaanisena, nukleiiniaineitten osuus saattoi kohota jopa yli 40 %:n. Hevosen ja sian sonnassa on 65—75 % epäorgaanista fosforia ja samoin suurin osa orgaanisesta fosforista nukleiiniaineina. Kanan sonnassa on noin 40 % fosforista epäorgaanisena ja hiukan enemmän fytiiniä. Eri eläinlajeille ominainen sonnan pH ja kalsiuminpitoisuus kuvastuvat epäorgaanisen fosforin liukenevuussuhteista.

3. Palamisen aikana tapahtuvat lannan fosforyyhdistysten muutokset riippuvat oleellisesti siitä, onko orgaanisen fosforin määrä mineraloitumisen rajan ylä- vai alapuolella: kun lannassa on palamisen alussa vähemmän kuin 0.45 % orgaanista P_2O_5 (0.2 % P) kuiva-aineesta, on todennäköistä, että fosforin biologista pidättymistä on havaittavissa ainakin palamisen alkuvaiheessa. Naudan lannassa saavutetaan mineraloitumisen raja kuitenkin melko pian, vaikka olisi käytetty runsaastikin olkikuivikkeita. Hevosen sonnan fosfori on yleensä siksi paljon mineraloitumisen rajan alapuolella, että biologista pidättymistä on odotettavissa, kun lanta palaa ilman kuivikkeitakin. Turvepehkulla talteenotettua naudanalantaa voidaan käyttää palamattomana lannoitukseen ilman, että tarvitsee pelätä fosforin biologisen pidättymisen aiheuttavan maassa fosforin puutetta. Samoin on laita, kun olkikuivikkeita on käytetty alle 10 %.

4. Karjanlannan palaessa mineraloituu lähinnä sen veteen ja happoon liukenevaa orgaanista fosforia. Nukleiiniaineet eivät mineraloidu sanottavasti. Palamisen aikana on havaittavissa epäorgaanisen fosforin liukenevuuden huonontumista.

5. Superfosfaattina karjanlantaan lisättyä epäorgaanista fosforia pidättyy biologisesti palamisen aikana jonkin verran, mutta orgaaniseksi muuttuvan fosforin määrä on runsaastikin olkikuivikkeita käytettäessä siksi pieni, ettei sillä juuri ole merkitystä. Sen sijaan on selvästi havaittavissa, että monokalsiumfosfaatti muuttuu vaikeammin liukeneviksi fosfaateiksi lannan pH:n kohotessa palamisen aikana.

6. Lannan palaessa anaerobisissa olosuhteissa sen fosforin mineraloituminen on kuiva-aineen häviöön nähden tehokkaampaa kuin aerobisesti palavassa. Typen häviöiden estämiseksi suositettu lannan tiiviinä säilyttäminen on siis edullista myös fosforitalouden kannalta.

7. Turvepehkulla talteenotetussa lannassa on suhteellisesti enemmän fosforia epäorgaanisena kuin lannassa, jonka talteenotossa on käytetty olkea. Turvepehkun happamuus näyttää parantavan epäorgaanisen fosforin liukenemistä veteen.

8. Kolmessakymmenessä erilaisessa lantanäytteessä oli keskimäärin 60 % (30—72 %) fosforista epäorgaanisena, siitä noin puolet veteenliukenevana. Epäorgaanisen fosforin osuus oli yleensä sitä suurempi, mitä enemmän lannassa oli fosforia. Nukleiiniaineina oli keskimäärin 25 % (16—50 %), fosfatideina 1—2 % ja veteen liukenevana orgaanisena fosforina ja fytiininä yhteensä 10—20 %, paitsi kanan lannassa, jossa fytiininä oli vielä 20—25 %.

9. Karjanlannan fosforin käyttökelpoisuutta tarkasteltaessa kirjallisuudessa esitettyjen tietojen ja tässä tutkimuksessa saatujen tulosten perusteella todettiin, että palaneen karjanlannan fosforin arvo riippuu lähinnä sen epäorgaanisen fosforin osuudesta. Kokonaisfosforin pitoisuus kuvastaa jossain määrin lannan fosforin arvoa, koska epäorgaanisen fosforin osuus on yleensä sitä suurempi, mitä enemmän lannassa on fosforia kaikkiaan. Varmemman tuloksen saamiseksi voidaan määrittää epäorgaaninen fosfori käyttämällä uuttamiseen jotain 0.2—0.5 normaalista happoa.

SUMMARY:

ON PHOSPHORUS IN FARM MANURE.

ARMI KAILA.

*Agricultural Research Institute, Department of Agricultural Chemistry and Physics,
Tikkurila, Finland.*

The phosphorus complex of farm manure is often considered a special kind of phosphorus without paying any attention to the amounts and nature of various compounds in it. The data concerning the composition of phosphorus in farm manure are scarce (1, 3, 5). This investigation contains some results obtained from analyses of Finnish farm manure.

According to 310 samples analysed by the Department of Agricultural Chemistry and Physics during the years 1930—1947 the total phosphorus content of Finnish farm manure was found to be on the average 0.19 ± 0.06 % P_2O_5 , the limiting values being 0.09 and 0.47 %. The nitrogen content was 0.46 ± 0.10 %, and that of potash 0.61 ± 0.20 %.

An analytical procedure developed by the author (8) was used for the fractionation of phosphorus in manure samples. The air-dry material was extracted successively with absolute ethanol on the water

bath, twice with distilled water and twice with N/2 hydrochloric acid at room temperature, all in the extraction ratio of 1:50. The total phosphorus of all the extracts from their ash solution and the inorganic phosphorus of water and acid extracts were determined by the modified colorimetric method of DENIGÉS (8). Thus the amounts of phosphatide phosphorus, inorganic phosphorus, water-soluble and acid-soluble organic phosphorus, the latter representing mainly phytin, and phosphorus in the insoluble residue corresponding to nuclein phosphorus could be estimated approximately.

The composition of phosphorus in fresh feces of various animals was found to depend on the phosphorus compounds of feed in so far that only the feces of poultry fed a ration high in cereal grains were high in phytin. The main part of phosphorus in feces of other animals consisted of inorganic compounds and of nuclein phosphorus (Table 1). The solubility of inorganic phosphorus seems, to some extent, to depend on the pH-values and the on the calcium content of the feces characteristic of various animals.

The mineralization of organic phosphorus in organic matter subjected to decomposition depends especially on the ratio between carbon available to microorganisms and organic phosphorus, the critical value being approximately 0.2 % organic P (0.45 % P_2O_5) of the dry matter in organic material containing about 45 % carbon (8). According to this, biological absorption of phosphorus at the beginning of humification can be expected only in the horse dung, the organic phosphorus content of feces of other animals being more than 0.45 % P_2O_5 . The addition of straw litter to cattle manure may at first cause some converting of phosphorus into organic compounds, but already during the first month of fermentation the mineralization will become more effective than the biological absorption (Table 2).

The results from a laboratory experiment of fermenting cattle manure are listed in table 2. It can be observed that mineralization of organic phosphorus takes place mainly in water and acid soluble fractions but the phosphorus in the residue representing nuclein compounds will be more resistant or more effectively resynthesised.

The phosphorus of superphosphate used as a chemical preservative of cattle manure was found to be converted into organic compounds only in a very small degree during humification (Table 3). The solubility of inorganic phosphorus was reduced by the increasing pH-value of the fermenting manure.

Some results obtained from laboratory experiments (Table 4) seemed to corroborate the opinion that the mineralization of phosphorus will occur comparatively more vigorously in manure fermented under anaerobic conditions than in manure aerobically fermented.

The data in table 5 present the composition of phosphorus in stable manure collected by using various litter material. One can see that the manure with peat moss contains comparatively more phosphorus in inorganic form than the samples with straw (except superphosphate manure) depending on the sources of available energy yielding material in straw. The relative amount of insoluble organic phosphorus in straw manure is larger than in peat moss manure indicating effective biological absorption in the former. The acidity of peat moss seems to increase the solubility of inorganic phosphorus in water.

According to the analyses of 30 samples of fermented stable manure (Table 6) there are on the average 59 ± 10 % (30—72 %) of phosphorus in inorganic compounds, the percentage being generally the higher the larger the content of total phosphorus. The nuclein phosphorus represented, on the average, one fourth of the total amount, the phosphatide phosphorus 1—2 %, and the soluble organic phosphorus represented together 10—20 %, except in hen manure, where there were 20—25 % as phytin.

It was supposed that the value of phosphorus in fermented farm manure depends largely on the relative amount occurring in inorganic compounds. The question of the fate of manure phosphorus in soil requires additional investigation.

KIRJALLISUUTTA

- (1) CHAMINADE, R. 1944. Les formes du phosphore dans le sol. Nature et rôle des complexes phosphohumiques. *Ann. Agron.*, 14, p. 1—53.
- (2) DAMSGAARD—SØRENSEN, P. 1946. Studier over Jordens Fosforsyreindhold. IV. Det organisk bundne Fosfor. *Tidskrift for Planteavl*, 50, p. 653—675.

- (3) EGOROV, M. A. 1910. [Different kinds of stable manure as sources of phosphoric acid.] Zhur. Opytn. Agron. 11, 178—186. Ref. Exp. Sta. Rec., 24, p. 321, 1911.
- (4) GERICKE, S. 1943. Wirkung und Leistung der Stallmistphosphorsäure. Bodenkunde u. Pflanzenern., 31, p. 138—184.
- (5) GHANI, M. O. 1941. Fractionation of phosphoric acid in organic manures. Indian J. Agric. Sci., 11, p. 954—958.
- (6) GLATHE, HANS 1927. Die Heissvergärung des Stallmistes nach H. Krantz. Landw. Versuchsstat., 107, p. 65—129.
- (7) HONKAVAARA, T. 1936. Ennakkotietoja karjanlantakokeista Etelä-Pohjanmaan kasvinviljelyskoeasemalla vv. 1934—35. Valt. maatalouskoet. tiedonant., No 113, 28 p.
- (8) KAILA, ARMI 1948. Viljelysmaan orgaanisesta fosforista. Valt. maatalouskoet. julk., No 129, 118 p.
- (9) KLEBERGER, W. 1928. Untersuchungen über die Wirkung des Stallmistes als Grunddüngung allein und in Verbindung mit mineralischer Beidüngung. Zeitschr. f. Pflanzenern., Düng. u. Bodenk. B, 5, p. 241—271.
- (10) MANELL, ERIC 1948. Sammanställningar av svenska stallgödselanalyser. Lantbrukshögsk. Jordbruksförsöksanst. Medd., Nr 23, 16 p.
- (11) MATTSON, SANTE 1946. The cookability of yellow peas. Acta Agric. Suecana 2, p. 185—231.
- (12) MIDGLEY, A. R. & DUNKLEE, D. E. 1945. The availability of phosphates applied with cattle manure. Vermont Agr. Exp. Sta., Bul., 525, 22 p.
- (13) NEUBAUER, ELISABETH 1933. Versuche nach der Keimpflanzenmethode über den Unterschied der Aufnehmbarkeit anorganischer und organischer Phosphorformen. Landw. Versuchsstat., 114, p. 225—294.
- (14) NEUBAUER, H., BONEWITZ, W. & SCHOTTMÜLLER, A. 1928. Ändert sich während einer Vegetationszeit der Vorrat des ungedüngten und gedüngten Bodens an wurzellöslichen Pflanzennährstoffen. Zeitschr. f. Pflanzenern., Düng. u. Bodenk., A 12, p. 108—114.
- (15) PEARSON, R. W., NORMAN, A. G. & HO, CHUNG 1941. The mineralization of the organic phosphorus of various compounds in soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 6, p. 168—175.
- (16) SALTER, R. M. & BARNES, E. E. 1935. The efficiency of soil and fertilizer phosphorus as affected by soil reaction. Ohio Agr. Exp. Sta. Bul., 553.
- (17) —»— SCHOLLENBERGER, C. J. 1939. Farm manure. Ohio Agr. Exp. Sta. Bul. 605.
- (18) SAUERLANDT, WALTER 1936. Untersuchungen über die pflanzenphysiologische Bewertung der Phosphorsäure in den wirtschaftseigenen Düngemitteln. Zeitschr. f. Pflanzenern., Düng. u. Bodenk., 42, p. 187—229.
- (19) SCHILLER, CTTO 1923, Änderungen im Gehalt dess Stalldüngers an Pflanzennährstoffen nach dem Kriege. Landw. Versuchsstat., 101, p. 293—332.
- (20) SCHULZE, B. 1911. Leistung und Geldwert des Stalldüngers nach den Ergebnissen von acht Feldversuchen je vierjähriger Dauer. A. D. L.G., Heft 198, 333 p.
- (21) STOKLASA, J. 1911. Biochemische Kreislauf des Phosphations im Boden. Cbl. Bakt. II, 29, p. 358—519.
- (22) TACKE, BR. 1922. Vergleichende Düngungsversuche auf Acker- und Wiesenland. A. D. L. G., Heft 319, 79 p.
- (23) TOTTINGHAM, W. E. & HOFFMAN, C. 1913. Nature of the changes in the solubility and availability of phosphorus in fermenting mixtures. Wisconsin Agr. Exp. Sta Res. Bul., 29, p. 273—321.
- (24) WAGNER, PAUL, 1915. Die Wirkung von Stallmist und Handelsdüngern. A. D. L. G., Heft 279, 544 p.
- (25) WEBSTER, J. E. 1928. Phosphorus distribution in grains. Jour. Agr. Res., 37, p. 123—125.
- (26) WEISSFLOG, J. & MENGDEHL, H. 1933. Studien zum Phosphorstoffwechsel in der höheren Pflanze. III. Aufnahme und Verwertbarkeit organischer Phosphorsäureverbindungen durch die Pflanze. Planta, 19, p. 182—241.
- (27) ÅSLANDER, A. 1940. Undersökningar rörande en fosfatgödslingsmetod. Kungl. Lantbruksakad. Tidskr., 79, p. 385—398.