

Eloperäisten fosforilannoitteiden pitkän ajan vaikutukset maahan ja satoihin

Into Saarela¹⁾, Erkki Joki-Tokola²⁾ ja Matti Ylösmäki¹⁾

Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, MTT

¹⁾MTT, Maaperä ja ympäristö, 31600 Jokioinen, etunimi.sukunimi@mtt.fi

²⁾MTT, Pohjois-Pohjanmaan tutkimusasema, 92400 Ruukki, erkki.joki-tokola@mtt.fi

Tiivistelmä

Luonnossa fosfori (P) liikkuu pääasiassa biologisesti ja palautuu maahan orgaanisina yhdisteinä. Kasvi- ja eläinjätteiden lahotessa suurin osa niiden P:sta vapautuu fosfaatti-ioneina, jotka pidättyvät maahan samalla tavalla kuin lannoite-P. Orgaanista fosforia on vuosituhansien kuluessa kertynyt suuria määriä sekä turpeisiin että kivennäismaan pintakerrokseen. Jääkauden jälkeen muodostuneista orgaanisista P-yhdisteistä on varastoitunut viljeltyihin kivennäismaihin arviolta prosentin verran, mikä vastaa noin sadan vuoden aikana muodostunutta määrää. Lannassa ja kasvinjätteissä tulee fosforia vuosittain Suomen peltoihin nykyisin jopa enemmän kuin epäorgaanisissa lannoitteissa.

Eloperäistenkin lannoitusaineiden P:sta suurin osa on epäorgaanista ja enimmäkseen hyvin helppoliukoista. Kunhan lanta saadaan sopivina annoksina juurten ulottuville, sekä kuivike- että lietelannat ovat ravinnesisältönsä verrattuna hyviä P:n lähteitä. Kalkkistabiloidun puhdistamolietteen ja turkiseläinlannan sisältämä kalsiumfosfaatti ei liukene veteen, mutta on suhteellisen helposti saatavilla happamista maista. Alumiinilla ja raudalla saostettu puhdistamolietteen P on vaikeasti saatavaa. Orgaaniset lannoitteet ovat maanparannusaineita, jotka toistuvasti käytettyinä parantavat maan fyysikaalisia ominaisuuksia ja biologista aktiivisuutta ja saattavat helpottaa P:n saantia myös välillisesti. Puhdistamolietteiden alumiinin ja raudan vaikutus P:n liukoisuuteen ei häviä ajan mukana.

Neljä vanhaa ja yksi uusi koe

Korsirehuilla tuotetun vanhanaikaisen naudnan olkikuivikelannan P:sta orgaanisten yhdisteiden osuus on noin puolet. Vanhojen oppikirjojen mukaan lannan P on väkilannoitteiden veroista, mutta täsmällisiä vertailuja on julkaistu vähän. Pitkään vaikuttavien eloperäisten P-lannoitteiden elinkaaren mallintaminen edellyttää teorioiden testaamista ja matemaattisten yhtälöiden kalibrointia koetulosten avulla. Lannan P:n vaikutusta selvitettiin neljän vuosina tehdyn 1926–1965 pitkäaikaisen lannoituskokeen sekä Jokioisissa vuosina 1991–1998 tehdyn kenttäkokeen perusteella. Vanhoissa kokeissa usean vuoden välein levitettyä lantaa verrattiin joka vuosi annettuihin väkilannoitteisiin. Jokioisissa niukkafosforiselle savimaalle peruslannoitteeksi levitettyä superfosfaattia, lantaa ja puhdistamolietettä verrattiin vuosittain kylvölannoituksessa sijoitettuihin P-pitoisiin lannoitteisiin.

Kotoiset lannat hyviä fosforin lähteitä

Vanhoissa kokeissa usean vuoden välein levitettyssä lannassa tuli fosforia vuotta kohti vähän, mutta se oli tehokasta. Ilman P-lannoitusta saatu suhteellinen sato prosentteina runsaalla P-lannoituksella saadusta kasvoi Ruukissa saraturpeella v. 1926–1967 lannan P-määrällä 5 kg/ha/v 62 %:sta 84 %:iin ja rahkatupeella v. 1930–1967 P-määrällä 4 kg/ha/v 76 %:sta 91 %:iin. Tammelan hiesusavella v. 1929–1953 suhteellinen sato suureni P-määrällä 8 kg/ha/v 92 %:sta 98 %:iin ja Tohmajärven hietamoreenilla v. 1949–1965 P-määrällä 7 kg/ha/v 87 %:sta 96 %:iin. Ohrakiloa vastaavia rehuksiköitä saatiin lannan P:llä lisää turvemailla 63–88 ry/P-kg ja kivennäismailla 23–33 ry/P-kg. Lannan vaikutuksen perusteella voidaan arvioida, että saman verran eli noin 6 kg/ha/v fosforia sisältävät viljan oljet vaikuttavat ajan mittaan hyvin merkittävästi pellon fosforitalouteen.

Jokioisten savimaalle peruslannoitteeksi levitetty superfosfaatti ja lanta olivat P-kiloa kohti melkein yhtä tehokkaita kuin vuosittain sijoitetut P-pitoiset yleislannoitteet. Viljasato suureni Jokioisissa v. 1991–1998 pienillä P-määrillä 64–78 kg/P-kg ja suurilla 33–38 kg/P-kg. Rautapitoisen puhdistamolietteen teho oli heikompi, vain 14 kg/P-kg. Orgaaniset lannoitteet paransivat kasvuoloja muutenkin kuin P-lannoitteina. Kun peruslannoituksia täydennettiin yleislannoitteen P:lla, puhdistamoliete tuotti viljaa viisi prosenttia enemmän kuin superfosfaatti.

Asiasanat: *Lanta, peruslannoitus, puhdistamoliete, sijoituslannoitus, superfosfaatti, yleislannoite*

Johdanto

Suomen maataloudessa käytetystä P:sta suurin osa koostui eloperäisistä lannoitusaineista 1940-luvulle saakka. Sen jälkeen lannoite-P:n runsas käyttö vähensi muiden P-lähteiden merkitystä ja kiinnostusta niiden tutkimiseen. Tehostuneen viljelyn ja ruokinnan seurauksena lannankin P-määrä on suurentunut ainakin kotieläinten lukumäärään verrattuna, ja kasvinviljelytiloilla fosforia palautuu peltoon kasvinjätteissä. Lannoitefosforin käytön vähentyessä peltojen parantuneen viljavuuden, hintasuhteiden muutosten ja ympäristönsuojelun takia eloperäisten P-lannoitteiden merkitys on uudelleen korostunut. Kotieläinten lannassa tulee fosforia koko viljeltyä peltoalaa kohti laskettuna vajaat 10 kg/ha/v ja viljan oljissa palautuu fosforia puolelle peltoalasta noin 6 kg/ha/v. Lannassa ja oljissa tulee viljelymaitiin fosforia enemmän kuin kaikissa ostolannoitteissa yhteensä. Osa maataloustuotteiden fosforista päättyy P-pitoisilla pesuaineilla rikastettuna puhdistamolietteiin, joiden palauttamien peltoon vähentää uusiutumattomien fosfaattimineraalien kulutusta ja edistää ekologisesti kestäväää maataloutta.

Kotieläinten lannan fosforia on vanhastaan pidetty väkilannoitteiden veroisena, ja tämä käsitys vahvistui Jokioisissa 1990-luvun alussa tehdyillä astiakokeilla ja kenttäkokeen ensimmäisten vuosien tuloksilla (Saarela 1993, 1998a, 1998b). Kuivikelannat olivat happamalla kivennäismailla jopa hieman parempia ja lietalannat yhtä hyviä P:n lähteitä kuin superfosfaatti. Orgaanisina yhdisteinä olevan P:n huonompi saatavuus ilmeni turvemaalla, josta kasvit ottivat pienemmän osan lannan kuin vesiliukoisen lannoitteen P:sta. Samassa tutkimuksessa rautapitoisen puhdistamolietteen P oli paljon vaikeammin kasvien saatavilla, ja sen suhteellinen tehokkuus pikemminkin heikkeni vuosien kuluessa.

Aurattomassa viljelyssä peltoon palautetut oljet suurensivat maan pinnan liukoisen P:n pitoisuutta selvästi jo muutamassa vuodessa (Pitkänen 1989). Olkien vaikutusta maan viljavuuteen ja kasvien P:n saantiin on kuitenkin tutkittu vähän. Korsirehuruokinnalla tuotettu vanhanaikainen olkikuivikelanta muistuttaa koostumukseltaan olkia, ja vanhoissa kokeissa useiden vuosien välein levitetystä lannassa tuli fosforia vuotta kohti saman verran kuin joka vuosi palautetuissa oljissa. Vanhojen pitkäaikaisten lantakokeiden perusteella voidaan siten arvioida myös olkien vaikutusta maan viljavuuteen, kasvien P:n saantiin ja P-lannoituksen tarpeeseen.

Fosforin kaltaisten maahan lujasti pidettyjen aineiden linkaari pellossa on pitkä ja vaihtelee maan ominaisuuksien, viljelykasvien ja lannoitteiden liukoisuuden mukaan. Orgaanisten P-yhdisteiden hyödyntäminen edellyttää niiden biologista hajotusta mikrobien tai juurten erittämien entsyymien avulla, mikä todennäköisesti pidentää niiden linkaarta. Eloperäisten P-lannoitteiden koko vaikutuksen selvittämien edellyttää pitkäaikaisia kokeita, joiden perusteella teorioita voidaan testata ja malleja kalibroida luottavasti.

Aineisto ja menetelmät

Tutkimus perustuu Jokioisissa pitkään viljelemättömällä olleella, hyvin niukasti liukoista fosforia sisältävällä savimaalla vuosina 1991–1998 viljeltyyn kenttäkokeeseen sekä neljään vuosina 1926–1967 tehtyyn pitkäaikaiseen lannoituskokeeseen. Jokioisten kokeen ensimmäisten vuosien tuloksista on julkaistu lyhyitä selostuksia (Saarela 1993, 1998a ja 1998b). Osa koealueesta oli pintaan saakka aitosavea ja runsasmultaista, osa oli multavaa hiesusavea. Ruukin turvemaiden kokeista on julkaistu yksityiskohtaiset selostukset 1950-luvulla (Anttinen 1957 ja 1959), ja niitä täydennettiin julkaisemattomilla tuloksilla. Kokonaan julkaistuja tuloksia on Tohmajärven hietamoreenilta (Luostarinen 1967) ja Tammelan hiesusavelta (Salonen ja Tainio 1956).

Vanhoissa kokeissa lannan vaikutusta satoon on tutkittu sekä ilman P-lannoitusta että sen kanssa antamalla kaikille lanta- ja P-käsittelyille lisäksi samansuuruinen typpi- ja kaliumlannoitus (NK). Verratut neljä lannoituskäsittelyä olivat siten NK, NPK, NK+lanta ja NPK+lanta. Kun NPK-lannoituksella P:n saanti ei ilmeisesti rajoittanut kasvua, sen ohessa annetun lannan vaikutus johtui muista tekijöistä, jotka vaikuttivat myös NK+lanta -käsittelyssä. Näiden oletusten mukaan lannan P:n vaikutus satoon laskettiin vähentämällä satojen NPK-lanta ja NPK erotus lannan vaikutuksesta NK-lannoituksen ohella (NK+lanta - NK + NPK - NPK+lanta).

Kaikista koekentistä on tehty viljavuustutkimus. Tammelan savimaata on analysoitu vanhalla menetelmällä, jonka tulokset muunnettiin nykyistä asetaattimenetelmää vastaaviksi samanlaisten maiden rinnakkaismääritysten perusteella. Tammelan sadoista on melko edustavat analyysitulokset, joiden mukaan on laskettu ravinnetaseita. Jokioisten kaikki sadot analysoitiin.

Ruukin ja Tohmajärven kokeissa lantakäsittelyt olivat pitkinä kaistoina, joiden poikki muut käsittelyt toistuivat neljä tai kuusi kertaa. Käytetyllä menetelmällä laskettuja sadonlisäyksiä voidaan pitää luotettavina, koska niitä vähentävät ja lisäävät käsittelyt toistuvat yhtä monta kertaa kullakin kaistalla. Tammelan koejärjestelyt muistuttavat latinalaista neliötä, ja niiden tuloksia voidaan pitää luotettavina. Jokioisten kokeessa vuosina 1991–1994 tehdyt peruslannoitukset olivat 11 * 30 metrin ruuduissa kolmena kerranteena, ja kullakin peruslannoitusruudulla oli kolme 2,5 metrin levyistä kylvölannoituskaistaa sekä molemmilla sivuilla puoliksi viereiselle ruudulle ulottunut välikaista. Peruslannoituksia oli kaikkiaan kymmenen, joista osa on yhdistetty kahden tai kolmen käsittelyn ryhmiksi. Turvemailla kasvoi enimmäkseen heinää, Tammelassa ja Tohmajärvellä puoliksi heinää ja viljaa ja Jokioisissa viljaa.

Tulokset ja tarkastelu

Yhteenveto kokeiden tuloksista esitetään taulukossa 1. Jokioisissa lannan ja lietteen P-määrät on laskettu käsitellyn pinta-alan sekä huolellisesti homogenoidun, analysoidun, punnitun ja tasaisesti levitetyn lannan kokonaismäärän mukaan. Kaikkia vanhoissa kokeissa käytettyjä lantoja ei ole analysoitu, mutta arvioidut P-määrät lienevät lähellä todellisia. Ruukin ja Tohmajärven koejärjestelyillä lannan muuta kuin P:n vaikutusta satoon ei ole testattu luotettavasti, mutta NK-lannoituksella saadut suhteelliset sadot (Su.s) on mitattu tarkasti neljän tai useamman kerranteen perusteella.

Taulukko 1. Toistuvasti levitetyn peruslannoituksen ja vuotuisen P-lannoituksen vaikutus satoon ja maan viljavuuteen. Su.s tarkoittaa NK-lannoituksella ilman lantaa ja lannan kanssa saatua suhteellista satoa prosentteina NPK:lla saadusta, teho S/P P-lannoituksen aiheuttamaa sadonlisää P-kiloa kohti, tase/P P-lannoituksen tai -taseen (Tammela, Jokioinen) ja maan P-luvun muutoksen suhdetta (kg/ha)/(mg/l) sarakkeessa teho osoitetuille lannoitteille. Suluilla merkityillä suhdeluvuilla on tuloksen luotettavuuden kannalta arveluttavan pieni nimittäjä.

Koe- paikka	Maa- laji	Koevuod. (maa-an.)	Perus- lann.	P kg/ha/v NK NPK	Sato, ry*/ha NK NPK	Su.s. Teho NK S/P**	P-luku, mg/l NK NPK	tase/P kg/mg	Maan pH	Vii- te#			
Ruukki	Sara- turve	1926-67 (1957)	- Lanta	0 5	30 35	1330 2140	62 84	23 kf 88 la	1,1 1,3	3,5 4,6	436 l (800)l	5,9	1
Ruukki	Rahka- turve	1930-67 (1950)	- Lanta	0 4	39 43	1410 2010	76 91	11 kf 63 la	3,3 3,6	15,2 13,2	69 l (418)l	5,2	2
Tam- mela	Hiesu- savi	1929-53 (1953)	- Lanta	0 8	18 26	2360 2600	92 98	13 sf 23 la	3,4 \square 4,6 \square	7,3 \square 9,0 \square	86 t 127 t	6,1	3
Tohma- järvi	Hieta- mor.	1949-65 (1966)	- Lanta	0 7	22 29	2280 2690	87 96	15 sf 33 la	3,8 6,5	5,8 9,3	(187)l 44 l	5,6	4
Joki- oinen	Aito/ hiesu- savi	1991-98 (1996)	- - Superf. Superf. Lanta Fe-liete	0 - 9,4 45,3 43,8 91,8	15,9 34,9 44,3 80,2 78,7 126,7	3800' 4810''' 5130' 5330' 5280' 5490'' 5460 5600 5350 5740	69' 93' 83' 96' 98 93	64 yl 38 yl 78 sf 33 sf 35 la 14 li	0,7 - 0,9 2,3 2,5 2,0	1,2 - 2,7 4,6 5,2 4,4	(150) t (130) t (360) t 240 t 170 t 560 t	6,1	5, 6, 7

* Nurmen sadot rehuyksikköinä, viljasadot kiloina

Viitteet: 1 = Anttinen 1959, 2 = Anttinen 1957, 3 = Salonen ja Tainio 1956, 4 = Luostarinen 1967, 5 = Saarela 1993, 6 = Saarela 1998a, 7 = Saarela 1998b

\square Tammelan kokeessa maan fosforiluvut on arvioitu vanhan menetelmän tuloksista

** kf tarkoittaa NPK lannoituksen kotkofosfaatin vaikutusta fosforikiloa kohti ja sf superfosfaatin, la lannan, yl NPK-lannoitteen ja li rautapitoisen puhdistamolietteen (Fe-liete) vastaavaa vaikutusta

' '' heittomerkillä osoitetun sadon suhdeluku verrattuna suurimmalla superfosfaatin ja NPK-lannoitteen P-määrällä saatuun satoon 5490 kg/ha, jonka suhdeluku on 100

''' vuotuislannoituksen 15,9 kg P/ha tuottaman sadon suhdeluku on 88

Toistuvan fosforiperuslannoituksen vaikutus satoon

Vanhoissa kokeissa merkittävä tulos oli se, että suhteelliset sadot suurenevät aika paljon ja jopa lähelle sataa prosenttia melko pienillä lannan fosforimäärillä (Taulukko 1). Jos heinän kuiva-aineen P-pitoisuus on tällaisille oloille tyypillinen 1,4 g/kg (Salonen ja Tainio 1957) eli 3,5 grammaa rehuyksikössä, saraturpeen sadonlisäykseen 570 ry/ha kului fosforia noin 2 kg/ha. Kun myös sadon P-pitoisuuden nousuun kului fosforia ainakin kilon verran, sitä ei ole voinut kertyä maahan suuria määriä, vaikka koko koeaikana levitetystä lannassa tuli fosforia parisataa kiloa hehtaarille. Jos yksi kilo lannoitefosforia tuottaa 100 kiloa viljaa tai 100 rehuyksikköä nurmirehua, siitä kuluu sadonlisäykseen noin 35 %. Viljavilla pelloilla lannoituksen tehokkuus on tyypillisesti melkein kymmenen kertaa pienempi (Saarela et al. 1995). Tässä tutkimuksessa pienet P-määrät lisäsivät satoa tehokkaasti myös kivennäismailla, mutta Jokioisissa suhteellinen sato jäi huonommaksi.

Superfosfaattina ja lantana annettu peruslannoitus oli Jokioisissa hieman yllättäen melkein yhtä tehokasta kuin kylvetäessä sijoitettu fosfori. Sijoitetun P:n saantia haittasi tällä jäykällä savella useina vuosina lannoiterivien kuivuminen ja huono juurtuminen. Myös liikamärkyys näytti haitallisimmalta niillä ruuduilla, joihin fosforia sijoitettiin tavalliseen tapaan kapeisiin riveihin. Peruslannoituksella rikastettu märän maan pinta toimi ilmeisesti P:n lähteenä silloin, kun märkyys haittasi sijoitetun P:n saantia. Silloin kun lannoiterivit juurtuivat hyvin, sijoitetun P:n starttivaikutus oli tehokas, mutta jyväsato ei suurentunut samassa suhteessa, koska hidas alkukehitys korvautui kasvuajan pitenemisellä.

Puhdistamolietteessä fosforia levitettiin kahdessa erässä yhteensä 735 kg/ha. Sillä saatu sato oli jopa hiukan runsaampi kuin vuosittain sijoitetun P-määrän 34,9 kg/ha tuottama, mutta hyvä tulos ei johtunut kokonaan fosforista. Kiloa kohti lasketun lietteen fosforin teho oli 37 % sijoitetun yleislannoitteen, 40 % lannan ja 42 % superfosfaatin vastaavasta tehosta. Lietteen ohella sijoitettu P-pitoinen lannoite lisäsi satoja ja nosti ne kaikkein suurimmiksi koko kokeessa.

Fosforilannoituksen vaikutus maan fosforilukuun

Rahkaturpeella yhdessä kotkafosfaatin kanssa käytetty lanta näyttää pikemminkin pienentäneen maan P-lukua, mutta tulos on todennäköisesti virheellinen (Taulukko 1). Kotkafosfaatin vaikutus uuttuvan P:n pitoisuuteen on varmasti oikeasuuntainen mutta käytettyyn P-määrään nähden arveluttavan pieni tällaiselle maalle. Osa fosforista on ilmeisesti huuhtoutunut syvemmälle. Saraturpeen korkeamman pH-luvun takia osa kotkafosfaatin kalsiumfosfaatista ei ehkä ole liuennut. Tammelan hiesusavella lannan vaikutus maan P-lukuun oli vähän pienempi kuin superfosfaatin, jonka viimeisestä levityksestä oli kulunut vähemmän aikaa maa-näytteitä otettaessa.

Jokioisten kokeessa sadoissa poistuneet ravinteet määritettiin ja kokeen aikana kertyneet P-määrät ovat aika suuria, mikä parantaa lannoitteiden vertailun luotettavuutta. Täydelliset maa-analyysit kaikista koejäsenistä on tehty vuonna 1996, mihin saakka taseetkin laskettiin. Pienemmät P-määrät ovat suurentaneet maan P-lukua niin vähän, että tulokset eivät ole kovin luotettavia. Näytteenottovuoden keväällä sijoitetun P:n suhteellisen hyvän liukoisuuden (NPK-lannoitukset 15,9 ja 34,9 taulukossa 1) vastasi kuitenkin odotuksia.

Kolmea suurinta peruslannoitusta voidaan verrata melko luotettavasti etenkin puhdistamolietteen ja muiden lannoitteiden välillä. Puhdistamolietteen vaikutus maan P-lukuun oli fosforikiloa kohti 23 % sijoitetun yleislannoitteen, 30 % lannan ja 43 % superfosfaatin vaikutuksesta. P:n runsaampi uuttuvuus lannalla kuin superfosfaatilla lannoitetusta maassa on kuitenkin epävarma yleistettäväksi, vaikka se voidaan selittää fysikaalisilla ja kemiallisilla tekijöillä. Toisena vuonna olkikuivikelanta oli selvästi tehokkaampaa kuin superfosfaatti (Saarela 1993), mikä selittyy P:n pysymisellä lantanokareissa heppoliukoisempana kuin muualla maassa. Orgaanisen lannoitteen humushapot voivat vähentää fosfaattianionien pidättymistä maahiukkasten pinnoille myös kemiallisesti.

Raudalla saostetun puhdistamolietteen P:n huono tehokkuus P-lannoitteena ja vähäinen uuttuvuus maasta viljavuusanalyysissä johtuvat muodostuneiden saostumien niukkaliukoisuudesta ja pysyvyydestä. Sekä satotulosten että maa-analyysien mukaan puhdistamolietteen suhteellinen vaikutus ei näytä ainakaan paranevan vuosien mittaan. Ensimmäisinä vuosina lietteen sisältämä orgaaninen aines, joka koostuu paljolti runsaasti fosforia sisältävästä ja nopeasti hajoavasta bakteerimassasta, saattaa toimia tärkeänä P:n lähteenä.

Johtopäätökset

Eloperäisten fosforilannoitteiden merkitys kasvien P:n lähteenä ja maan viljavuuden ylläpitäjänä on kasvanut kaupallisen lannoite-P:n käytön vähentyessä. Lannassa ja kasvinjätteissä tulee fosforia Suomen peltoihin nykyisin enemmän kuin ostolannoitteissa.

Vuosina 1926–1965 tehdyt monivuotiset kenttäkokeet, joissa pienehköjä lantamääriä levitettiin usean vuoden välien, osoittivat jatkuvan lannan käytön suurentavan satoja tehokkaasti lannassa tuleviin P-määriin verrattuna.

Vanhojen lantakokeiden mukaan arvioituna saman verran fosforia sisältävillä oljilla on hyvin merkittävä vaikutus pellon P-talouteen, joten polttoaineksi tai muuhun käyttöön korjattavien olkien P tulisi korvata lannoituksella.

Niukasti liukoista fosforia sisältävälle savimaalle peruslannoitteeksi levitetyt suuret superfosfaatti- ja lantamäärät suurensivat viljasatoja tehokkaasti. Fosforikiloa kohti laskettuna niiden vaikutus oli melkein yhtä hyvä kuin vuosittain kylvölannoituksessa sijoitettujen yleislannoitteiden.

Kuivikelanta oli peruslannoituksessa vähintään yhtä tehokasta kuin superfosfaatti. Rautapitoinen puhdistamoliete oli P-lannoitteena heikkotehoinen. Fosforikiloa kohti sen suhteellinen vaikutus liukoisiin P-lannoitteisiin verrattuna oli satotulosten mukaan noin 40 % ja maan P-lukujen muutosten mukaan noin 35 %.

Eloperäiset lannoitusaineet paransivat muitakin kasvutekijöitä kuin fosforin saantia ja tuottivat vuotuisella P:n sijoituslannoituksella täydennettynä suurempia satoja kuin superfosfaatti.

Kirjallisuus

Anttinen, O. 1957. Rahkasuon lannoitus- ja maanparannuskokeen tuloksia. Valtion Maatalouskoetöiminnan Julkaisuja 155. 29 p.

Anttinen, O. 1959. Saraturvesuon lannoitus- ja kalkituskokeen tuloksia. Valtion Maatalouskoetöiminnan Julkaisuja 172. 32 p.

Luostarinen, H. 1967. Vaaramoreenin lannoitus- ja kalkituskokeen tuloksia. Maataloustieteellinen aikakauskirja 39: 191–204.

Pitkänen, J. 1988. Aurattoman viljelyn vaikutus maan fysikaalisiin ominaisuuksiin ja maan viljavuuteen. Maatalouden Tutkimuskeskus, Tiedote 21/88. p. 62–167.

Saarela, I. 1993. Kotieläinten lannat ja puhdistamoliete fosforilannoitteina. Koetöiminta ja Käytäntö 50: 27.

Saarela, I. 1998a. Availability of phosphorus in different ashes, manures and sewage sludges. Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift 135: 157–167.

Saarela, I. 1998b. Ferric sewage sludge as a source of phosphorus to cereals in acid soils. Proc. 11th Intern. Word Fert. Congress, Gent, Belgium 1997. III. p. 81–87.

Saarela, I., Järvi, A., Hakkola, H. & Rinne, K. 1995. Fosforilannoituksen porraskokeet 1977–1994. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 16/95. 94 p.

Salonen, M. & Tainio, A. 1956. Savimaan lannoitusta koskevia tutkimuksia. Valtion Maatalouskoetöiminnan Julkaisuja 146. 83 p.

Salonen, M. & Tainio, A. 1957. Fosforilannoitusta koskevia tutkimuksia. Valtion Maatalouskoetöiminnan Julkaisuja 164. 104 p.