

MTT RAPORTTI 10

Yhdyskuntajätteen ravinteet pellolle ja viheralueelle

Mädätepohjaiset lannoitevalmisteet käytännön
kokeissa vuosina 2008–2009

Tiina Tontti, Arjo Kangas ja Merja Högnäsbacka



**Yhdyskuntajätteen ravinteet
pellolle ja viheralueelle**

**Mädätepohjaiset lannoitevalmisteet
käytännön kokeissa vuosina 2008–2009**

Tiina Tontti, Arjo Kangas ja Merja Högnäsbacka

ISBN: 978-952-487-290-4

ISSN 1798-6419

www-osoite: <http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti10.pdf>

Copyright: MTT

Kirjoittajat: Tontti Tiina, Kangas Arjo ja Högnäsbacka Merja

Julkaisija ja kustantaja: MTT, 31600 Jokioinen

Julkaisuvuosi: 2010

Kannen kuva: Tiina Tontti

Yhdyskuntajätteen ravinteet pellolle ja viheralueelle - Mädätepohjaiset lannoitevalmisteet käytännön kokeissa vuosina 2008-2009

Tontti, Tiina⁽¹⁾, Kangas, Arjo⁽²⁾, Högnäsbacka, Merja⁽³⁾

¹⁾Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus MTT, Kasvintuotannon tutkimus, Lönnrotinkatu 3, 50100 Mikkeli, tiina.tontti@mtt.fi, ²⁾ arjo.kangas@mtt.fi, ³⁾ merja.hognasbacka@mtt.fi

Tiivistelmä

Yhdyskuntajätteitä käsittelevien biokaasulaitosten tuottamia orgaanisia lannoitevalmisteita tarkasteltiin ohran lannoituksessa sekä viheraluekäytössä MTT:n Ylistaron toimipaikassa. Tutkitut mädätepohjaiset lannoitevalmisteet olivat Stormossen Oy:n maanparannuskomposti ja Lakeuden Etappi Oy:n maanparannusrae. Kompostia tai raeita käytettiin ohralle tuotteiden käyttösuositusten mukaisesti (komposti 10-20 m³/ha, rae noin 7 m³/ha) sekä hieman niitä suuremmilla määrillä. Vuonna 2008 perustettiin ensimmäinen ja vuonna 2009 toinen ohrakoe. Maanparannusraetta levitettiin ohrakokeille 5 tai 10 m³/ha, jolloin peltoon lisättiin kokonaistyyppiä 120–140 kg tai 240–270 kg/ha. Vastaavasti kompostia käytettiin 10, 20 tai 40 m³/ha, jolloin kompostissa lisättiin kokonaistyyppiä 50, 100–110 tai 200–220 kg/ha. Levityshetkellä rakeen kokonaistyyppistä vesiliukoista tyyppiä oli alle 9 % ja kompostin kokonaistyyppistä alle 16 %. Pelkätään rakeella tai kompostilla tehdyn lannoituksen lisäksi tarkasteltiin niiden täydentämistä keväällä 50 kg/ha mineraalityypellä. Vertailukäsittelyinä käytettiin 50 ja 100 kg mineraalityypilannoitusta.

Kasvukauden 2009 aikana seurattiin toistomittauksilla ohran lehtivihreäpitoisuutta. Heinäkuun alkupuolella 100 kg N mineraalityypellä lannoitetun ohran lehtivihreätaso oli selkeästi muita lannoituskäsittelyjä korkeampi. Heinäkuun lopussa typpitäydennetty orgaaninen lannoitus kohotti ohrakasvuston lehtivihreän samalle tasolle kuin 100 kg N lannoituskontrolli ja suuremmaksi kuin pelkällä orgaanisella lannoituksella. Elokuun puolivälin jälkeen lannoittamaton ohrakasvusto ja mineraalityypellä lannoitetut kontrollikasvustot lähestyivät keltatuleentumista, kun taas suuret orgaaniset lannoitukset hidastivat ohran tuleentumista. Tästä huolimatta kasvusto oli kaikilla lannoituskäsittelyillä täysin tuleentuneessa vaiheessa kolmen päivän sisällä toisistaan.

Heinäkuun puolivälissä maan liukoisen tyypin pitoisuuksien muutokset vastasivat saman ajankohdan lehtivihreämittausten tuloksia. Nitraattityypen määrät olivat typpitäydennyksessä, orgaanisesti lannoitetussa maassa samaa tasoa kuin suurella kontrollilannoituksella (100 kg N). Syyskuussa sadonkorjuun jälkeen suurimmat muokkauskerroksen nitraattityypen määrät olivat alle 14 kg/ha ja ne mitattiin suurimmilla typpitäydennyksillä rae- tai kompostilannoituksilla, joilla tuotteiden annostelu oli suurempi kuin käyttöohjeessa.

Typpitäydennyksen avulla (50 kg N) molemmat orgaaniset lannoitevalmisteet tuottivat toisessa ohrakokeessa yhtä suuren ohran jyväsadon kuin kontrollilannoitus mineraalityypellä: yli 6 tonnia kuiva-ainetta/ha. Kontrollilannoituksella 100 kg N ei kuitenkaan saatu suurempaa jyväsatoa kuin puolet pienemmällä 50 kg N kontrollilannoituksella. Jyvän typpipitoisuus kohosi kaikkien raelannoitusten avulla suuremmaksi kuin 50 kg N kontrollilannoituksella, mutta kompostilannoitukset edellyttivät yleensä typpitäydennystä. Jyvän kalsium- ja rikki-pitoisuus muuttuivat yleensä vastaavasti, samoin syksyllä määritetty pintamaan viljavuusfosforin ja -rikin määrät. Kun raeita tai kompostia lisättiin käyttöohjeen mukaan, maan haitallisten metallien pitoisuudet olivat syksyllä vastaavat kuin normaalissa mineraalilannoitetussa maassa.

Nurmikon perustamiseen käytettiin kasvualustan osana kahta kompostin (10 tai 50 l/m²) tai rakeen määrää (2 tai 10 l/m²). Molempien tuotteiden pienempi käyttömäärä soveltui nurmikon perustamiseen melko hyvin. Vuosi nurmikon perustamisen jälkeen kasvualustan ravinnepitoisuus oli yleensä samalla tasolla kuin normaalissa kasvualustassa. Suuret käyttömäärät olivat tarpeettoman suuria nurmikolle. Vanhan nurmikon toistuvassa lannoituksessa sovelias raelannoituksen käyttömäärä on todennäköisesti hieman suurempi kuin 0,2 l/m², mutta selvästi pienempi kuin 1 l/m². Rae on kätevää käsitellä ja levittää myös kasvuston sekaan.

Avainsanat:

biojäte, puhdistamoliete, mädätys, jäännös, lannoitus, kasvualusta, ohra, rypsi, nurmikko, komposti, rae

Municipal organic waste returned into fields and green areas as fertilizer products from anaerobic digestate

Tontti, Tiina¹, Kangas, Arjo², Högnäsbacka, Merja³

¹Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus MTT, Kasvintuotannon tutkimus, Lönnrotinkatu 3, 50100 Mikkeli, tiina.tontti@mtt.fi, ²arjo.kangas@mtt.fi, ³merja.hognasbacka@mtt.fi

Abstract

Organic fertilizers produced from residues of anaerobic digestion were studied as fertilizers of field crops or constituents of culture medium for turf grass in western Finland. Two types of organic fertilizers were studied, both consisting originally of municipal biowaste and municipal sewage sludge. These organic waste materials were anaerobically digested in commercial facilities and after that either composted or thermally pelletized. The studied field crops were spring barley and spring turnip rape. The green area applications were studied on an existing turf grass and in a new turf grass experiment established in 2008. Spring barley experiments were established in early June in 2008 and 2009, fertilized with two levels of pellets and three levels of compost, both with (50 kg N) and without mineral fertilizer addition. Two levels of mineral fertilizers (Mineral N50, Mineral N100) and an unfertilized plot were used as control treatments in a completely randomized block design. The yields and nutrient contents of barley grain, as well as the nutrients and trace elements in soil samples were determined in August. The mineral N concentrations of soils were also determined in mid-July. During the growth season, in July and August 2009, the chlorophyll level of barley biomass was measured repeatedly with a rapid chlorophyll meter.

Both organic products, compost and pellet, were applied as fertilization of barley according to application instructions given in their trade descriptions. The instruction for application is 10-20 m³/ha and about 7 m³/ha for compost and pellet, respectively. In addition, applications of amounts exceeding these instructions were tested, with total N amounts of 220 and 270 kg/ha applied at the highest in compost or in pellet, respectively. When the fertilizers were applied in spring, the proportion of water-soluble N was less than 16 % and less than 9 % of the total N content in compost and pellet, respectively.

In general, the organic fertilizations with mineral N additions increased chlorophyll levels compared with treatments without mineral N additions. Furthermore, in the organic fertilizations with 50 kg mineral N additions, the chlorophyll levels were often on the same level as in barley fertilized with Mineral N100. At the end of the growth season, the highest chlorophyll level found in high compost plots suggested that mineralization of organic material was continuing. The concentration of mineral N in soil in mid-July corresponded with the chlorophyll measurement on that date. In July, organic fertilizers with mineral N addition caused generally highest amounts of nitrate-N in soil. After harvest in August, the residual nitrate-N was substantially higher in the soil fertilized with the highest N-added compost (40 m³ fresh matter + 50 kg N) and with the highest N-added pellet (10 m³ pellet + 50 kg N), when compared with any other treatments (p<0.001). However, these highest concentrations of nitrate-N found in the topsoil corresponded to amounts of less than 14 kg nitrate-N/ha.

With mineral N additions, the organic fertilizations led to similar barley grain yield as mineral N control treatments, being above 6 t dry matter/ha. All pellet fertilizations increased the grain N content above the level of Mineral N50 control treatment. Compost fertilizations required mineral N addition to produce grain N content above that of Mineral N50-fertilized grain (17.4 g/kg dry matter). Similarly, increased concentrations of Ca and S in barley grain were found with pellet fertilization, while compost fertilization required mineral N addition to induce similar increase. Additionally, the amounts of acid-extractable P and S in topsoil could be increased with compost and pellet fertilization. When amounts of compost or pellet complied with the application instructions, the trace elements found in barley grain and in field soil were generally similar to those in Mineral N100 control.

The levels of compost and pellet used in the established turf grass experiment were 10 or 50 dm³/m² and 2 or 10 dm³/m², respectively. The low level was more appropriate with both products, inducing similar soil nutrient levels as normal substrate of turf grass. When applied repeatedly on existing turf grass, the appropriate amount of pellet might be around 0.2 dm³/m² or slightly above that. The structure of pellet enables using it into an existing grass growth.

Keywords:

biowaste, sewage sludge, anaerobic digestion, digestate, fertilization, culture medium, barley, turnip rape, turf grass, compost, pellet

Alkusanat

Tässä tutkimuksessa on selvitetty eteläisen Pohjanmaan jätekeskuksissa syntyvien orgaanisten lannoitevalmisteiden käyttöä peltoviljelyssä ja viherrakentamisessa. Tutkimus sai alkunsa vuonna 2008 jätekeskus Lakeuden Etappi Oy ja Stormossen Oy:n yhteydenotoista. Molemmat yhtiöt ovat tärkeitä jätehuoltoalan toimijoita eteläisellä Pohjanmaalla. Lakeuden Etappi huolehtii yhdentoista Seinäjoen ympäristössä sijaitsevan kunnan jätehuollosta. Sen keskuspaikka on Ilmajoella sijaitseva jätehuoltokeskus. Stormossenin alueeseen kuuluu seitsemän kuntaa, jotka sijaitsevat Vaasan ympäristössä. Stormossenin jätekeskus sijaitsee Mustasaarella.

Yhdyskuntajätteen käyttö pelloilla toteuttaa erinomaisen hyvin ravinteiden kierrätyksen periaatetta. Teollisissa lannoitteissa tärkeän fosforin tiedetään olevan aikanaan ehtyvä luonnonvara. Kierrätysperiaatteen toteuttamiseksi täysimääräisesti on kuitenkin saatava vastaus moniin kysymyksiin. Kierrätysravinteiden mukana ei peltoon saa päätyä raskasmetalleja siinä määrin, että ne pitkällä tähtäimellä vaarantaisivat pellon kyvyn tuottaa puhdasta satoa, elintarvikkeita tai niiden raaka-aineita. Orgaanisten lannoitteiden ravinteet eivät saa lisätä pelloilta vesistöön tulevaa ravinnekuormitusta. Lannoitevalmisteille on löydettävä peltoviljelyyn parhaiten sopivat käyttötavat, siten että niiden käyttömäärä mitoitetaan oikein ja ravinteet edistäisivät kasvien kasvua.

Tämä tutkimus antaa käytännönläheisiä vastauksia orgaanisia kierrätysravinteita koskeviin kysymyksiin. Tässä raportoidun osuuden jälkeen tutkimukset jatkuvat vuosina 2010–2011. Tutkimuksen työryhmä esittää parhaat kiitokset yhteistyökumppaneille Esa Yli-Rahnasto Lakeuden Etapissa sekä Johanna Penttinen-Källroos ja Nisse Lithen Stormossenilla.

Tekijät

Sisällysluettelo

1 Johdanto.....	7
2 Aineisto ja menetelmät.....	10
2.1 Orgaaniset lannoitevalmisteet.....	10
2.1.1 Maanparannuskomposti.....	10
2.1.2 Maanparannusrae.....	10
2.2 Kokeiden toteutus.....	10
2.2.1 Ensimmäinen ohrakoe.....	11
2.2.2 Rypsikoe.....	12
2.2.3 Nurmikon perustamiskoe.....	13
2.2.4 Vanhan nurmikon lannoituskoe.....	13
2.2.5 Toinen ohrakoe.....	14
2.3 Sääolot.....	15
2.4 Laboratorioanalyysit ja tilastollinen tarkastelu.....	16
2.4.1 Lannoitevalmisteet.....	16
2.4.2 Maanäytteet.....	16
2.4.3 Kasvinäytteet.....	16
2.4.4 Tulosten tilastollinen tarkastelu.....	16
3 Tulokset ja tulosten tarkastelu.....	17
3.1 Lannoitevalmisteiden laatu.....	17
3.1.1 Ravinnepitoisuudet ja maanparannusominaisuudet.....	17
3.1.2 Alkuainepitoisuudet.....	17
3.2 Ensimmäinen ohrakoe.....	18
3.2.1 Lannoituskäsittelyissä lisätyt määrät.....	18
3.2.2 Ensimmäisen vuoden satotulokset.....	20
3.2.3 Toisen vuoden satotulokset.....	21
3.2.4 Lehtivihreäpitoisuus vuonna 2009.....	23
3.2.5 Maan ravinteet ja hivenaineet vuonna 2009.....	24
3.2.6 Typen käytön tehokkuus.....	27
3.3 Rypsikoe.....	29
3.4 Nurmikon perustamiskoe.....	30
3.4.1 Lannoituskäsittelyissä lisätyt määrät.....	30
3.4.2 Nurmikkokasvuston kehitys.....	31
3.4.3 Maan ravinteet ja hivenaineet.....	32
3.5 Vanhan nurmikon lannoituskoe.....	35
3.5.1 Lannoituskäsittelyissä lisätyt määrät.....	35
3.5.2 Nurmikkokasvuston kehitys.....	36
3.5.3 Maan ravinteet ja hivenaineet.....	36
3.6 Toinen ohrakoe.....	38
3.6.1 Lannoituskäsittelyissä lisätyt määrät.....	38
3.6.2 Satotulokset.....	40
3.6.3 Lehtivihreäpitoisuus.....	43
3.6.4 Maan ravinteet ja hivenaineet.....	45
3.6.5 Typen käytön tehokkuus.....	47
4 Yhteenveto.....	49
4.1 Maanparannusrae.....	49
4.1.1 Ohran lannoitus.....	49
4.1.2 Nurmikon perustaminen ja lannoitus.....	50
4.1.3 Johtopäätökset rakeen käytöstä.....	51
4.2 Maanparannuskomposti.....	52
4.2.1 Ohran lannoitus.....	52
4.2.2 Nurmikon perustaminen.....	54
4.2.3 Johtopäätökset kompostin käytöstä.....	54
5 Kirjallisuus.....	55

1 Johdanto

Biotalous on laaja ja moniulotteinen järjestelmä, jossa luonnonvaroja hyödynnetään kestäväällä tavalla biologisia prosesseja soveltaen ja jäljitellen. Tehokas materiaalikierto ja resurssien käyttö on biotaloudessa tärkeää; esimerkiksi jäte voidaan nähdä väärässä paikassa olevana raaka-aineena (Sitra 2009). Yhdyskunnissa syntyvistä monenlaisista jätteistä ravinteiden kierrätyksen kannalta merkittäviä ovat puhdistamolietteet ja biojäte. Nämä orgaaniset jättemateriaalit on aiemmin käsitelty pääosin kompostoimalla, mutta nykyään käsittely mädättämällä lisääntyy. Mädätysprosessin avulla orgaanisesta jätteestä saadaan talteen energia biokaasuna ja jäännösmateriaali voidaan hyödyntää lannoitevalmisteena sellaisenaan tai tuotteistamalla eteenpäin (Ympäristöministeriö 2010).

Fosfori on maataloustuotannolle elintärkeä ravinne, ja maapallon mineraaliperäiset fosforivarat hupenevat kovaa vauhtia. Typpilannoitteiden tuottaminen perustuu pitkälti fossiiliseen energiaan. Lannoitteiden hinnan voimakkaat vaihtelut viimeisten vuosien aikana on osoitus siitä, että fossiilisiin resursseihin perustuvat ravinnelähteet tulevat kallistumaan.

Yhdyskuntien jätevesien käsittelyssä syntyy puhdistamolietettä vuosittain noin 1,1–1,2 miljoonaa tonnia tuoreaineena eli noin 150 000 tonnia kuivapainona. Puhdistamoliete sisältää runsaasti orgaanista ainesta sekä ravinnetyypeä ja -fosforia, jotka on jätevedenpuhdistamolla sidottu tehokkaasti lietteeseen. Viimeksi kuluneen vuosikymmenen aikana lietteen loppusijoittaminen kaatopaikalle on vähentynyt ja hyödyntämisen materiaana on lisääntynyt merkittävästi. Vuonna 2006 enää alle 2 % lietteestä sijoitettiin kaatopaikoille, ja materiaalina hyödynnettiin yli 98 %. Liettemateriaalia on viimeaikoina hyödynnetty lähinnä viherrakentamiseen ja kaatopaikkojen maisemointiin. Lietteen käyttö maanviljelyksessä lannoitteena on vähentynyt huomattavasti: vuonna 1997 materiaalina hyödynnetystä lietteestä maataloudessa käytettiin yli 60 % (53 000 tonnia kuivapainona), vuosituhannen vaihteessa vielä noin 15 % (noin 20 000 tonnia) ja vuonna 2006 enää 3 % (noin 5 000 tonnia) (Ympäristöhallinto 2010).

Korkeat raskasmetallipitoisuudet olivat aiemmin puhdistamolietteen laadun suurin ongelma, mutta pitoisuudet ovat laskeneet merkittävästi. Ympäristösäädökset ovat tiukentuneet ja sen seurauksena jäteveten ei joudu enää kovin paljon metalleja. Maataloudessa käytetyn lietteen keskimääräinen raskasmetallipitoisuus alittaa nykyisin selvästi lannoitevalmisteille sallitut maksimipitoisuudet (Ympäristöhallinto 2010). Tästä huolimatta asenteet puhdistamolietettä kohtaan ovat edelleen haasteena. Kiinnostus liettemateriaaleja ja niiden sisältämiä fosforiresursseja kohtaan on kuitenkin vuoden 2007 jälkeen kasvanut, osaltaan lannoitteiden voimakkaiden hinnanvaihteluiden vuoksi. Esimerkiksi Maataloustuottajain keskusliitto MTK sekä lannoitevalmistajat ovat kiinnostuneet puhdistamolietteen sisältämisestä fosforivaroista ja ravinteiden kierrätyksestä. Puhdistamolietteen maatalouskäytön kannalta suuri haaste on lietteeseen sidotun fosforin vaikealiukoisuus. Jätevedenpuhdistamoilla käytetyt kemikaalit sitovat lietteen sisältämästä fosforista suurimman osan kasveille käyttökelvottomaan muotoon. Maatalouden ympäristötukiehdossa puhdistamolietepohjaisten lannoitevalmisteiden sisältämästä kokonaisfosforista huomioidaan 40 %.

Biojäte on kotitalouksista ja palveluiloilta kerättyä ruoka- ja puutarhajätettä, joka hajoaa biologisesti happeilissa tai hapettomassa ympäristössä. 2000-luvun alusta lähtien biojätettä on kierrätetty kompostoimalla kasvualustan raaka-aineeksi ja maanparannusaineeksi tai hyödyntämällä sitä energiaksi kaasuttamalla tai polttamalla (Ympäristöhallinto 2010). Syntypaikkalajiteltua biojätettä syntyi Suomessa vuonna 2008 noin 310 000 tonnia, mikä vastaa 11 % syntypaikkalajitellun yhdyskuntajätteen kokonaismäärästä (Tilastokeskus 2010). Erilliskerätty yhdyskuntien biojäte käsitellään tai hyödynnetään yleensä biologisissa käsittelylaitoksissa tai kiinteistökohtaisissa kompostoreissa. Yhdyskuntajätteen kokonaismäärästä kompostoidaan tai mädätetään noin 10 %, mikä vuonna 2008 tarkoitti noin 170 000 tonnia kompostoitua ja noin 60 000 tonnia mädätettyä yhdyskuntajätettä (Ympäristöhallinto 2010).

Vaikka biojätteen hyödyntäminen on lisääntynyt, sijoitetaan kaatopaikoille edelleen vuosittain lähes miljoona tonnia biojätettä lajittelemattoman sekajätteen mukana. Biohajoava jäte tuottaa kaatopaikoilla hallitsemattomasti hajotessaan metaania, joka on ilmakehään päästessään haitallinen kasvihuonekaasu (Sitra

2009). Valtakunnallisen jätesuunnitelman mukaan kaatopaikoille sijoitettavan biologisesti hajoavan yhdyskuntajätteen määrän tulisi vähentyä alle 0,5 miljoonaan tonniin vuoteen 2016 mennessä (Ympäristöministeriö 2008). Ympäristöministeriön biojäte-energiatyöryhmä on ehdottanut ilmastotavoitteiden mukaisesti, että biohajoavan jätteen sijoittaminen kaatopaikoille kiellettäisiin kokonaan (Ympäristöministeriö 2010).

Suomalaisen elintarviketuotannon ja -kulutuksen ravinnevirtoja tarkastelleessa tutkimuksessa arvioitiin että yhdyskuntien orgaanisen jätteen sisältämät ravinteet voivat enimmillään korvata noin 17 % vuosittain viljelymaahan lisätystä lannoitteiden epäorgaanisista ravinteista (Antikainen ym. 2005). Nykyisin vuosittain Suomessa syntyvät puhdistamolietteet sisältävät noin 2800 tonnia kokonaisfosforia ja noin 5000 tonnia kokonaistyyppiä (Ympäristöhallinto 2010). Tämä fosforiresurssi vastaa 26 % maatiloille vuonna 2008 myytyjen lannoitteiden sisältämästä fosforimäärästä, kun taas lietteen typpiressurssi vastaa alle 4 % tiloille myydystä lannoitetyypistä (Tike 2009, Ympäristöhallinto 2010).

Orgaanisten lannoitevalmisteiden käyttöä peltoviljelyssä säätelee nitraattiasetus, joka rajoittaa typen käyttöä (VnA 931/2000). Maatalouden ympäristötuen ehdot rajoittavat käytettävien typpi- ja fosforiravinteiden määriä (Maa- ja metsätalousministeriö 2008). Valtioneuvoston päätös puhdistamolietteen käytöstä maanviljelyssä (VnP 282/1994) asettaa rajoituksia puhdistamolietteen raskasmetallisällölle sekä maahan vuotta kohti joutuvan raskasmetallien kokonaismäärälle. Ympäristöministeriön bioenergiatyöryhmä (Ympäristöministeriö 2010) on ehdottanut orgaanisten materiaalien lannoituskäyttöä koskevien säädösten yhdenmukaistamista. Tällä hetkellä puhdistamolietteen osalta on voimassa osin päällekkäisiä säädöksiä. Lisäksi orgaanisten lannoitevalmisteiden sisältämien ravinteiden käyttökelpoisuudesta kasveille on erilaisia näkemyksiä. Bioenergiatyöryhmän ehdotuksen mukaan lannoitevalmistesäädäntöön ja ympäristötuen ehtoihin tulisi tehdä muutoksia jäteperäisten lannoitevalmisteiden hyötykäytön vaatimusten selkeyttämiseksi.

Kansalliset lannoitevalmistesäädökset ja lannoitevalmistesektorin laaja kehitystyö ovat vieneet toimialaa viime vuosina vahvasti eteenpäin. Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista (MMMa 12/2007) säätelee mm. orgaanisten lannoitteiden ja maanparannusaineiden laatua ja määrittelee ominaisuudet jotka kunkin lannoitevalmistetyypin (tyyppinimen) tulee täyttää. Lannoitevalmistesäädöksissä on määritelty myös tuotteiden soveliaat käyttökohteet. Elintarviketurvallisuusvirasto Evira valvoo lannoitevalmisteiden tuotantoa ja tuotteiden laatua (Evira 2010). Lannoitevalmisteet kuuluvat Suomessa aina johonkin tyyppinimiryhmään, esim. orgaanisesta jätteestä tuotetut kompostit tai mädätysjäännökset kuuluvat yleensä maanparannusaineiden ryhmään. Asetus määrittelee myös suurimmat sallitut viljelymaahan tai viheralueelle lisättävän kadmiumin määrän. Vuonna 2007 Suomessa valmistettiin maanparannusainetta lähes 700 000 m³. Jokaisen lannoitevalmisteen kohdalla tulee taata tuotteen korkea laatu, sillä se on perusedellytys pysyvälle kysynnälle ja turvallisuudelle.

Aikaisemmissa tutkimuksissa kypsien biojäte- ja lietekompostien on todettu sopivan maanparannukseen ja fosforilannoitukseen peltoviljelyssä. Tyypilannoitusta on usein täydennettävä, että saataisiin kilpailukykyisiä satoja (Tontti ym. 2009). Lyhytaikaisessa käytössä haitalliset vaikutukset ympäristöön jäävät yleensä pieniksi. Jatkuvassa käytössä nitraatti ja maan raskasmetallikuormitus voivat kuitenkin olla riskitekijöitä (Lehtonen ym. 2003). Kypsymättömien kompostien käyttö voi laskea satoja jopa alhaisemmiksi kuin mitä saadaan täysin ilman lannoitusta. Yli kuusi kuukautta vanhoilla komposteilla ei tällaisia haittavaikutuksia ole todettu. Biojätekomposteilla on maan happamuutta vähentävä sekä maan eloperäisen aineksen määrää lisäävä vaikutus (Mäkelä-Kurto & Sippola 1995). Kompostoitujen yhdyskuntien orgaanisten jätteiden on todettu olevan mahdollisia lannoitusaineita ja maanparannusaineita jopa luonnonmukaisessa viljelyssä ilman haitallisia vaikutuksia maaperän biologiseen toimintaan tai sadon hygieeniseen laatuun (Halinen ym. 2007, Tontti ym. 2010). Rajoituksia lannoitevalmisteen käyttöön voi kuitenkin tulla puhdistamolietteen vuoksi, sillä puhdistamolietteen käyttöä ei ole sallittu luonnonmukaisessa viljelyssä.

Yhdyskuntajätteestä tuotettuja komposteja lukuun ottamatta orgaanisista jäteaineista tuotettuja muita lannoitevalmisteita on aikaisempina vuosina tutkittu lannoituskäytössä varsin vähän. MTT Ylistarossa selvitettiin vuosina 2000–2002 turkiseläinlannasta puristetun lannoitepelletin käyttöä. Sen lannoitusvaikutus todettiin suhteellisen hyväksi. Materiaalin puristaminen pelletiksi ei näyttänyt sanottavasti hidastavan ravinteiden vapautumista kasvien käyttöön. Toisessa MTT:n tutkimuksessa testattiin yhdyskuntajätekom-

posteista ja tuhkasta valmistettujen rakeiden lannoitusvaikutusta peltoviljelyssä ja todettiin raetuohteen peltokäytön edellyttävän liukoisen typen täydennystä (Orava ym. 2004). Tällä hetkellä Suomessa on meillä useita orgaanisia materiaaleja käsitteleviä tutkimuksia.

Tämä tutkimushanke toteutettiin yhteistyössä MTT:n, Lakeuden Etappi Oy:n ja Stormossen Oy:n kesken. Hanke sisälsi kolme peltokoetta ja kaksi nurmikkokoetta, joissa tarkasteltiin yritysten tuottamien lannoitevalmisteiden käytön vaikutuksia kahden vuoden aikana. Hankkeen tavoitteena oli selvittää Lakeuden Etapin tuottaman maanparannusrakeen ja Stormossenin tuottaman maanparannuskompostin käyttömahdollisuuksia lannoitukseen ja maanparannukseen sekä peltoviljelyssä että viherrakentamisessa.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Orgaaniset lannoitevalmisteet

Lannoitevalmisteet tuotettiin yritysten normaaleissa tuotantoprosesseissa. Sekä Lakeuden Etappi että Stormossen ovat Eviran orgaanisia lannoitevalmisteita tuottavien hyväksytyjen laitosten listalla ja voivat myydä lannoitevalmistetuotteitaan ulkopuolisille. Kumpikaan lannoitevalmiste ei sellaisenaan sovellu kasvualustakäyttöön, vaan vaatii seostamista muihin materiaaleihin.

2.1.1 Maanparannuskomposti

Stormossenin tuottama maanparannuskomposti on valmistettu jälkikompostoimalla biokaasulaitoksessa mädätettyä keittiöjätteestä eroteltua biojätettä ja puhdistamolietettä ulkoauimoissa. Kompostoinnin seosaineena on käytetty risuhaketta. Lopputuote on irtotavarana myytävä massatuote, joka tuoteselosteen mukaan soveltuu maanparannuskompostiksi ja ravinneliseksi kaikille kasveille. Ensimmäisen koevuoden aikana käytettiin myös tuorekompostia, jonka kypsyminen oli ollut lyhyempi kuin maanparannuskompostin.

2.1.2 Maanparannusrae

Lakeuden Etapin tuottama maanparannusrae on valmistettu biokaasulaitoksessa mädätetystä ja termisesti kuivatusta biojätteestä ja puhdistamolietteestä. Laitoksessa on mesofiilinen mädätysprosessi ja jätemateriaalin viipymä prosessissa on vähintään 25 vuorokautta. Mädätysprosessissa syntyvä materiaali hygienisoitua yli sadan asteen lämpötilassa ja lopputuote on pellettimäinen (halkaisija 6 mm, pituus noin 10 mm). Eviran hyväksymän tuoteselosteen mukaan tuote soveltuu viljelykäytössä erityisesti syyslannoitukseen ja fosforia vaativille maille tai kasveille.

2.2 Kokeiden toteutus

Ensimmäisen koevuoden aikana selvitettiin alustavilla kokeilla maanparannusrakeen (Rae) ja maanparannuskompostin (Komposti) sekä tuorekompostin (Tuorekomposti) lannoitusvaikutusta, jotta saatiin tietoa tarkentavien kokeiden suunnittelua varten. Suunnitteluvaiheessa käytössä olleiden analyysitulosten mukaan pellettien käyttömäärää rajoitti ennen muuta fosforipitoisuus ja maatalouden ympäristötuen ehdot. Maatalouden ympäristötuen ehtojen mukaan puhdistamolietepohjaisten orgaanisten lannoitusaineiden kokonaisfosforista huomioidaan 40 % (www.mavi.fi). Hehtaarille sallittu fosforimäärä riippuu viljelykasvista ja maan ravinnetilasta. Fosforia voidaan myös antaa enintään viiden vuoden sallittu määrä kerralla, jolloin fosforimäärä lasketaan koko tasausjaksolle. Myös raskasmetallipitoisuudet asettavat lannoitevalmisteiden käyttömäärille omat rajoituksensa. Metallien tarkat pitoisuudet kyseisissä tuote-erissä eivät olleet kokeita suunniteltaessa tiedossa, joten toimitettiin tuoteselosteiden tietojen pohjalta.

Ensimmäisenä vuonna 2008 perustettiin kolme kenttäkoetta, joissa testattiin Rakeen, Kompostin ja Tuorekompostin lannoitus- ja maanparannusvaikutuksia. MTT:n Ylistaron tutkimusasemalla toteutettiin ohrakoe, rypsi- ja nurmikon perustamiskoe. Näiden lisäksi perustettiin vanhaan nurmikkoon lannoituskoe, jossa Rakeen lannoituskäyttöä verrattiin normaalin nurmikon lannoitukseen.

Toisena vuonna 2009 toteutettiin neljä kenttäkoetta MTT:n tutkimusasemalla. Ensimmäisellä ohrakokeella jatkettiin orgaanisen lannoituksen jälkivaikutusten seuranta. Sen lisäksi perustettiin uusi ohrakoe, jossa tarkasteltiin Rakeen ja Kompostin lannoitus- ja maanparannusvaikutuksia yhden kasvukauden ajan. Nurmikon perustamiskoetta ja vanhan nurmikon lannoituskoea jatkettiin toisen vuoden seurannalla.

Keväällä 2009 käytössä olleiden analyysitulosten mukaan maanparannusrakeen käyttömäärää rajoittaa ennen muuta fosforipitoisuus ja maatalouden ympäristötuen ehdot. Myös raskasmetallipitoisuudet asettavat käyttömäärille rajoituksia. Tuoteselosteiden mukaan maanparannuskompostin ja maanparannusrakeen

raskasmetallipitoisuudet ovat selvästi alhaisemmat kuin MMM:n asetuksen 12/2007 enimmäisraja. Eräkohtaisten analyysitietojen perusteella tuote-erissä on kuitenkin satunnaisesti esiintynyt ilmoitettua suurempia raskasmetallipitoisuuksia. Lannoitevalmisteissa maahan lisätty kadmiumin määrä ei saa nykyisten kansallisten säädösten mukaan ylittää määrää 1,5 g/ha/vuosi.

2.2.1 Ensimmäinen ohrakoe

Ohrakokeen koalueelta otettiin keväällä 2008 ennen kokeen perustamista maanäytteet, joista analysoitiin viljavuus (pH, johtoluku, P, K, Ca, Mg, ja S). Levityksen yhteydessä otettiin lannoitevalmisteista näyte, josta määritettiin pH, johtoluku, kuiva-aine-%, til. paino, kokonais-N, liukoinen N, kokonais-P, vesi-liukoinen P, Ca, Mg, B ja orgaaninen aines. Raskasmetallit (hivenaineet) As, Cd, Cr, Cu, Zn, Hg, Ni, Pb määritettiin sekä kuningasvesiuutosta että HAAc-EDTA-uutosta.

Ensimmäisen ohrakokeen koejäsenet olivat seuraavat:

Käsittely	Nimi
Lannoittamaton	0-kontrolli
Väkilannoite N 50 kg/ha	N50
Väkilannoite N 100 kg/ha P ja K viljavuustutkimuksen mukaan	N100
Maanparannusrae 5 tonnia/ha	Rae 5
Maanparannusrae 5 tonnia/ha + N 50 kg/ha	Rae 5 N50
Maanparannusrae 10 tonnia/ha	Rae 10
Maanparannuskomposti 20 m ³ /ha	Komposti 20
Maanparannuskomposti 20 m ³ /ha + N 50 kg/ha	Komposti 20 N50
Maanparannuskomposti 40 m ³ /ha	Komposti 40
Tuorekomposti 20 m ³ /ha	Tuorekomposti 20
Tuorekomposti 20 m ³ /ha + N 50 kg/ha	Tuorekomposti 20 N50
Tuorekomposti 40 m ³ /ha	Tuorekomposti 40

Lannoitteet levitettiin muokatulle peltoalalle 2 m x 9 m ruuduille ja muokattiin kevyesti maahan kylvölannoituksen yhteydessä. Orgaaniset lannoitevalmisteet levitettiin punnituksen jälkeen ruutujen pintaan käsityönä ja mineraalilannoitteet levitettiin sijoittavalla kylvölannoittimella (Aulismatic). Viljelykasviksi kylvettiin ohra (Kunnari 205 kg/ha) 30.5.2008. Koe toteutettiin lohkottain satunnaistetulla koemallilla neljänä kerranteena. Kokeen toteutuksessa ja hoidossa noudatettiin soveltuvin osin virallisten lajikekoekesuoritusohjeita

(<https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/www/Palvelut/Viralliset%20lajikekoeket/Lajikekoekiden%20toteuttaminen/SUORITUSOHJEETWWW.pdf>).

Kasvustosta havainnoitiin keväällä orastuminen ja syksyllä lakoutuminen (15.9.). Ohrakasvustolle tehtiin rikkakasviruiskutus (Logran 20 WG 20g/ha + Hankkijan Trio 0,6 l/ha) ja tuholaistorjunta (Karate 2.5 WG 0,1 kg/ha) 17.6.2008. Kasvitautilien torjuntaruiskutus (Amistar 0,4 l/ha + Zenit 575 EC 0,4 l/ha) tehtiin 24.7.2008. Lehtivihreämittaus tehtiin kerran kasvukaudella heinäkuun lopussa Minolta SPAD-5000 mittarilla ruuduittain. Koeruutujen jyväsato korjattiin koeruutupuimurilla 29.9.2008. Sato kuivattiin ja siitä määritettiin ruuduittain kuiva-aine %, tuhannen jyvän paino ja hehtoliträn paino. Satonäytteistä analysoitiin ruuduittain N (valkuainen), P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Mn, Fe, sekä raskasmetalleista Cd, Pb, As ja Hg.

Vuonna 2009 ensimmäistä ohrakoetta jatkettiin orgaanisen lannoituksen jälkivaikutuksen seurannalla. Pienimmätkin orgaanisten lannoitevalmisteiden käyttömäärät johtivat ensimmäisen vuoden aikana kadmiumin vuosittaisen kuormitusrajan ylitykseen. Siksi vuonna 2008 perustetulle ohrakokeelle ei toisen vuoden aikana käytetty orgaanisia lannoitevalmisteita lainkaan. Jälkivaikutuskokeen ohrakasvusto kylvettiin kuitenkin täsmälleen samoille koeruuduille kuin vuonna 2008. Koetta hoidettiin muutoin tavanomais-ten viljelytapojen mukaisesti, mutta väkilannoitelisäyksiä ei annettu lainkaan orgaanisella lannoitekäsitte-

lyllä perustetuille ruuduille. Lannoituskäsittelyissä lisätyt ravinteiden ja hivenaineiden määrät esitetään taulukoissa 4 ja 5, kokeen muiden tulosten yhteydessä.

Keväällä ennen kontrolliruuduille (N50 ja N100) annettua lannoitelisäystä otettiin ruuduittain maanäytteet, joista analysoitiin viljavuus (pH, johtoluku, P, K, Ca, Mg, ja S) ja liukoisen typen määrät (NH₄ ja NO₃). Koealueen kevätkuokkaus tehtiin varoen, minimoiden ruutujen sekoittumista ja leviämistä. Muutoin kokeen kylvö (1.6.2009) ja hoitotoimet tehtiin normaalien viljelytoimien mukaisesti, samalla tavoin kuin vuonna 2008.

Vuonna 2009 keväällä ja syksyllä otetuista maanäytteistä (syvyys 0-15 cm) analysoitiin liukoisen typen pitoisuudet (ammonium- ja nitraatti-N) sekä viljavuusravinteiden pitoisuudet. Syksyn maanäytteistä määritettiin myös kokonaistypen ja orgaanisen hiilen pitoisuus sekä raskasmetallien kokonais- ja liukoiset pitoisuudet. Lisäksi kasvukaudella otettiin maanäytteet kasvuston tähkimisvaiheessa (23.7.2009) ja näytteistä määritettiin liukoisen typen pitoisuudet. Kasvustosta havainnointiin orastuminen, tähkälletulo, tuulentuminen, kasvuston pituus ja lakoutuminen. Ohrakasvustolle tehtiin rikkakasviruskutus (Ratio 50 T 3 tbl/ha + Starane XL 0,7 l/ha) 17.6.2009. Kasvitautilien torjuntaruiskutus (Acanto Prima 1 kg/ha) tehtiin 14.7.2009. Lehtivihreämittaus tehtiin kuusi kertaa heinä-elokuussa Minolta SPAD-5000 mittarilla ruuduittain. Koeruutujen jyväsato korjattiin koeruutupuimurilla 7.9.2009. Sato kuivattiin ja siitä määritettiin ruuduittain kuiva-aine %, tuhannen jyvän paino ja hehtolitran paino. Satonäytteistä analysoitiin ruuduittain N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Mn, Fe, sekä raskasmetalleista Cd, Pb, As ja Hg (elohopea vain yhdestä kerranteesta). Tuorekomposti-ruuduista tehtiin vain satomittaukset, mutta analysoitavia kasvinäytteitä ei otettu toisen vuoden aikana.

2.2.2 Rypsikoe

Rypsikoe toteutettiin vuonna 2008 samanlaisilla lannoituskäsittelyillä kuin ohrakoe. Lannoitevalmisteet levitettiin ja rypsi (lajike Valo, siemenmäärä 9 kg/ha) kylvettiin 30.5.2008. Kasvinsuojelutoimet tehtiin tavanomaisen rypsin viljelykäytännön mukaisesti hyväksytyillä valmisteilla. Tuholaisten torjuntaruiskutukset tehtiin 17.6. (Fastac 50 0,3 l/ha), 26.6. (Fastac 50 0,3 l/ha) ja 8.7. (Karate 2.5 WG 0,2 kg/ha). Pahkahomeen torjuntaruiskutus tehtiin täyden kukinnan aikaan 18.7.2008 (Amistar 1,0 l/ha). Rikkakasviruskutukset tehtiin 15.5. (Trifulon 480 2,0 l/ha) ja 17.6.2008 (Agil 1,0 l/ha).

Rypsikokeen koejäsenet olivat seuraavat:

Käsittely

Lannoittamaton
Väkilannoite N 50 kg/ha
Väkilannoite N 100 kg/ha P ja K viljavuustutkimuksen mukaan
Maanparannusrae 5 tonnia/ha
Maanparannusrae 5 tonnia/ha + N 50 kg/ha
Maanparannusrae 10 tonnia/ha
Maanparannuskomposti 20 m³/ha
Maanparannuskomposti 20 m³/ha + N 50 kg/ha
Maanparannuskomposti 40 m³/ha
Tuorekomposti 20 m³/ha
Tuorekomposti 20 m³/ha + N 50 kg/ha
Tuorekomposti 40 m³/ha

Nimi

0-kontrolli
N50
N100
Rae 5
Rae 5 N50
Rae 10
Komposti 20
Komposti 20 N50
Komposti 40
Tuorekomposti 20
Tuorekomposti 20 N50
Tuorekomposti 40

Kasvustosta havainnointiin kukinnan alku, kukinnan päättyminen ja lakoontuminen. Rypsikasvuston lehtivihreäpitoisuus mitattiin kerran heinäkuun lopussa ruuduittain. Sato korjattiin ruuduittain 15.10.2008 ja määritettiin sato ja kuiva-aine-%. Satonäytteistä analysoitiin ruuduittain N (valkuainen), P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Mn, Fe, sekä raskasmetalleista Cd, Pb, As ja Hg.

2.2.3 Nurmikon perustamiskoe

Sekä Raetta ja Kompostia käytettiin perustamiskokeen perustamisessa 28.7.2008. Koemalli oli lohkoittain satunnaistettu ja toistoja eli kerranteita oli kolme. Koealueen maalaji oli perustettaessa multava hietamoreeni. Ennen kokeen perustamista maa-alueelta otettiin maanäyte, josta määritettiin viljavuus (pH, johtoluku, P, K, Ca, Mg).

Nurmikon perustamisessa vertailtavat käsittelyt olivat seuraavat:

Käsittely	Nimi
Normaali perustamislannoitus (Kemiran Kloorivapaa Y (13-4-15) 3 kg/aari)	Lannoitettu
Maanparannuskomposti 10 litraa/m ² (vastaa käyttömäärää 100 m ³ /ha)	Komposti 10
Maanparannuskomposti 50 litraa/m ² (vastaa käyttömäärää 500 m ³ /ha)	Komposti 50
Maanparannusrae 2 litraa/m ² (vastaa käyttömäärää 20 m ³ /ha)	Rae 2
Maanparannusrae 10 litraa/m ² (vastaa käyttömäärää 100 m ³ /ha)	Rae 10

Koealueen pohja tasattiin ja sille levitettiin kalkki (0,5 kg/m²) ja hiekka (noin 30 litraa/m²). Hietamoreeni, kalkki ja hiekka muokattiin kevyesti äkeellä ja lannoitevalmisteet levitettiin ruudulle (ruutukoko 2 m x 3 m). Perusseos (hietamoreeni, kalkki ja hiekka) ja lisätty lannoitevalmiste sekoitettiin jyrsimällä noin 5 cm syvyydeltä. Alueen pinta jyrättiin tasaiseksi, ja sen jälkeen hakkeen kappaleet ja muut roskat haravoitiin pois kompostikäsiteltyjen ruutujen pinnasta. Koealueelle kylvettiin hyvälaatuisella nurmikkosiemenellä ristikkäin siementä n. 3 kg/10 m². Siemenseos oli jäykkänata (Ridu), englanninraiheinä (Mondial), niitynurmikka (Baron), nurmirölli (Highland) ja punanata (Felix). Siemenet peitettiin haravalla ja maan pinta tasattiin jyrämällä. Siementen itäminen ja kasvuun alkuvaihe varmistettiin tarvittaessa kastelemalla.

Nurmikon taimettuminen ja tiheys havainnoitiin kasvuun eri vaiheissa. Ensimmäinen niitto tehtiin kun nurmikko oli kasvanut noin 10 cm korkeaksi. Nurmikko leikattiin 5 cm korkeuteen. Kasvuston väri arvioitiin silmämääräisesti yhden kerran loppukesällä. Maanäytteet otettiin ruuduittain (syvyys 0-20 cm) kasvukauden lopulla. Näytteistä määritettiin viljavuus (pH, johtoluku, P, Ca, Mg, K) sekä kokonaistyyppi ja liukoinen tyyppi.

Vuonna 2009 nurmikon perustamiskokeen Lannoitettu- ja Komposti-ruutuja lannoitettiin kloorivapaalla Y-lannoitteella (13-4-15) tasolla 300 kg/ha kaksi kertaa (4.6. ja 6.8.2009) normaalin nurmikon lannoitustavan mukaisesti. Rae-ruuduilla jatkettiin maanparannusrakeen käyttöä, jolloin samoina ajankohtina annettiin kasvulannoitus levittämällä pellettejä 0,2 litraa/m². Lisäksi Lannoitettu-kontrolliruutuun lisättiin keväällä 2009 täysin lannoittamaton vertailualue jakamalla alkuperäinen normaalisti lannoitettu nurmikkoruutu kahteen alueeseen. Näistä kahdesta alueesta toisella jatkettiin normaalia mineraalilannoitusta ja toiselle ei annettu enää kasvulannoitusta. Lannoituskäsittelyissä lisätyt ravinteiden ja hivenaineiden määrät esitetään taulukoissa 15 ja 16, kokeen muiden tulosten yhteydessä.

2.2.4 Vanhan nurmikon lannoituskoe

Raetuotetta käytettiin vanhan nurmikon lannoituksessa ja sen vaikutusta verrattiin tavanomaisen mineraalilannoitteen vaikutuksiin. Koemalli oli lohkoittain satunnaistettu ja toistoja (kerranteita) oli neljä. Koealueen maalaji oli runsasmultainen hiuesavi. Ennen kokeen perustamista maa-alueelta otettiin maanäyte, josta määritettiin viljavuus (pH, johtoluku, P, Ca, Mg, K, S).

Nurmikon lannoituskokeessa vertailtavat käsittelyt olivat:

Käsittely	Nimi
Lannoittamaton	0-kontrolli
Kloorivapaa Y 300 kg/ha (0,3 kg/10 m ²)	Y-lannos
Maanparannusrae 2000 litraa/ha (0,2 litraa/m ²)	Rae 0,2
Maanparannusrae 10000 litraa/ha (1 litraa/m ²)	Rae 1

Lannoitteet levitettiin ruudun pintaan (ruutukoko 2 m x 5 m), kasvavan nurmikon sekaan. Ensimmäinen lannoitus tehtiin 9.6.2008 ja toinen lannoitus 25.7.2008. Nurmikko leikattiin 1-2 viikon välein noin 5 cm korkeuteen, yhteensä 12 kertaa ja pituusmittaus tehtiin ruuduittain ennen jokaista leikkausta. Värihavainnot tehtiin silmämääräisesti 10 kertaa. Viimeinen nurmikonleikkaus tehtiin 15.9.2008. Syksyllä otettiin maanäytteen ruuduittain (syvyys 0-20 cm) ja niistä määritettiin viljavuus (pH, johtoluku, P, Ca, Mg, K) sekä kokonaistyyppi ja liukoinen tyyppi.

Vuonna 2009 vanhan nurmikon lannoituskoetta hoidettiin samalla tavalla kuin edellisen vuoden aikana. Kasvulannoitusta annettiin kahdesti, 4.6. ja 4.8.2009, ja lannoitustasoina oli edelleen 2000 litraa tai 10000 litraa maanparannusraetta hehtaarille. Kontrollikäsitteilylle annettiin mineraalilannoitus kloorivapaalla Y-lannoitteella (13-4-15) tasolla 300 kg/ha. Vanhalle nurmikolle lannoituksissa lisätyt ravinteiden ja hivenaineiden määrät esitetään taulukossa 20, kokeen muiden tulosten yhteydessä.

2.2.5 Toinen ohrakoe

Vuonna 2009 perustettiin uusi orgaanisesti lannoitettu ohrakoe. Koealueeksi valittiin lohko jossa viljavuusluokka oli korkeintaan ”huononlainen” fosforin osalta. Orgaanisten lannoitevalmisteiden tarkasteltavat käyttömäärät valittiin tuoteselosteiden ohjeiden perusteella, huomioiden periaatteessa ravinnemäärien säädökset sekä lannoitevalmistesäädösten asettamat rajoitukset. Tutkimustarkoituksessa e.m. rajat voidaan kuitenkin satunnaisesti ylittää. Koemalli oli täydellisesti satunnaistetut lohkot, jossa käsitteilyt toistettiin neljästi.

Ennen kokeen perustamista koealueelta otettiin jokaisesta kerranteesta maanäyte, joista analysoitiin kokonaistyyppi, orgaaninen hiili, viljavuus (pH, johtoluku, P, K, Ca, Mg, ja S) ja liukoinen tyyppi sekä raskasmetallit kuningasvesiuutolla ja HAAc-EDTA-uutolla. Levityksen yhteydessä lannoitevalmisteista otettiin näytteet, joista määritettiin pH, johtoluku, kuiva-aine-%, til. paino, kokonais-N, liukoinen N, kokonais-P, vesiliukoinen P, Ca, Mg, B ja orgaaninen aines. Raskasmetallit (hivenaineet) As, Cd, Cr, Cu, Zn, Hg, Ni, Pb määritettiin sekä kuningasvesiuutosta että HAAc-EDTA-uutosta.

Toisen ohrakokeen koejäsenet olivat seuraavat:

Käsittely

Lannoittamaton
Väkilannoite N 50 kg/ha
Väkilannoite N 100 kg/ha P ja K viljavuustutkimuksen mukaan
Maanparannusrae 5 m³/ha
Maanparannusrae 5 m³/ha + N 50 kg/ha
Maanparannusrae 10 m³/ha
Maanparannusrae 10 m³/ha + N 50 kg/ha
Maanparannuskomposti 10 m³/ha
Maanparannuskomposti 10 m³/ha + N 50 kg/ha
Maanparannuskomposti 20 m³/ha
Maanparannuskomposti 20 m³/ha + N 50 kg/ha
Maanparannuskomposti 40 m³/ha
Maanparannuskomposti 40 m³/ha + N 50 kg/ha

Nimi

0-kontrolli
N50
N100
Rae 5
Rae 5 N50
Rae 10
Rae 10 N50
Komposti 10
Komposti 10 N50
Komposti 20
Komposti 20 N50
Komposti 40
Komposti 40 N50

Lannoitteet levitettiin muokatulle peltoalalle 2 m x 9 m ruuduille ja muokattiin kevyesti maahan kylvölannoituksen yhteydessä. Orgaaniset lannoitevalmisteet levitettiin punnituksen jälkeen ruutujen pintaan käsityönä ja mineraalilannoitteet levitettiin sijoittavalla kylvölannoittimella (Aulismatic). Koekasviksi kylvettiin ohra (lajike Olavi). Sekä orgaaniset että kivennäislannoitteet levitettiin yhdellä kertaa keväällä, 2.6.2009. Kokeen toteutuksessa ja hoidossa seurattiin soveltuvien osin virallisten lajikekokeiden suositushjeita, samoin kuin ensimmäisellä ohrakokeella. Lannoituskäsittelyissä lisätyt ravinteiden ja hivenaineiden määrät esitetään taulukoissa 23 ja 24, kokeen muiden tulosten yhteydessä.

Kasvustosta havainnoitiin orastuminen, tähkälletulo, tuleentuminen, kasvuston pituus ja lakoutuminen. Ohrakasvustolle tehtiin rikkakasviruiskutus (Ratio 50 T 3 tbl/ha + Starane XL 0,7 l/ha) 17.6.2009. Kasvi-

tautien torjuntaruiskutus (Acanto Prima 1 kg/ha) tehtiin 14.7.2009. Lehtivihreämittaus tehtiin kuusi kertaa heinä-elokuussa Minolta SPAD-5000 mittarilla ruuduittain. Koeruutujen jyväsato korjattiin koeruutu-puimurilla 7.9.2009. Sato kuivattiin ja siitä määritettiin ruuduittain kuiva-aine %, tuhannen jyvän paino ja hehtoliträn paino. Satonäytteistä analysoitiin ruuduittain N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Mn, Fe, sekä raskasmetallit Cd, Pb, As ja Hg.

Tähkimisen aikaan (22.7.2009) ja kasvukauden lopulla otetuista maanäytteistä (syvyys 0-15 cm) määritettiin kasveille käyttökelpoinen typpi (nitraatti ja ammonium). Syyskuussa otetuista maanäytteistä analysoitiin myös viljavuus (pH, johtoluku, P, K, Ca, Mg, ja S), kokonaistyyppi, orgaaninen hiili ja liukoinen typpi sekä raskasmetallit kuningasvesiuutolla ja HAAc- EDTA-uutolla.

2.3 Sääolot

Keväällä 2008 routa suli Ylistaron havaintolohkolla huhtikuun puolella välissä noin kuukautta normaalia aikaisemmin. Huhtikuu oli kaksi astetta pitkän ajan keskiarvoa lämpimämpi (Taulukko 1). Kasvukausi alkoi 25.4. Toukokuu oli erittäin vähäsateinen ja lämpötila noudatti pitkän ajan keskiarvoja. Kuun keskivaiheilla yöt olivat kuitenkin kylmiä. Hallanaroilla paikoilla alimmat minimilämpötilat maan pinnassa olivat -9 asteen tienoilla. Halla vioitti yleisesti varhain kylvettyjä ohria. Kuivuus pahensi tilannetta. Lannoituskokeet perustettiin toukokuun lopussa, jonka jälkeen sateeton kausi jatkui vielä kesäkuun ensimmäisen viikon ajan. Tämän jälkeen kuitenkin saatiin sadetta ja kesäkuun sademäärä oli lopulta 23 mm vertailuarvoa suurempi. Myös heinä- ja elokuussa sademäärä oli normaalia suurempi. Syyskuussa satoi selvästi pitkäaikaista keskiarvoa vähemmän.

Lähes koko kasvukauden ajan kesäkuusta alkaen aina syyskuulle asti kaikki kuukaudet olivat normaalia hieman viileämpiä. Tehoisa lämpösumma ja kasvustojen kehitys jäivät koko ajan jälkeen keskimääräisestä rytmistä. Elokuun lopussa oltiin lämpösumman pitkäaikaisesta keskiarvosta jäljessä noin viikon.

Vähäsateisen syyskuun takia valtaosa sadosta pystyttiin korjaamaan, vaikka korjuut venyivät selvästi totuttua myöhemmälle. Rypsit puitiin vasta lokakuulla, mutta se onnistui kohtuullisesti muutaman päivän poutajakson ansiosta, vaikka kuukauden sademäärä ylittikin pitkän ajan keskiarvon. Vuoden kaksi viimeistä kuukautta olivat normaaliarvoja lämpimämmät ja hieman vähäsateisemmat. Lunta oli pelloilla marraskuusta huhtikuulle. Routa kävi 30 cm syvyydessä, joka jäi 2000-luvun keskimääräisistä arvoista 15 cm. Roudan sulaminen kesti kuitenkin mittauslohkolla toukokuun puoleenväliin.

Vuonna 2009 kasvukausi alkoi Ylistarossa 22.4., pari päivää aikaisemmin kuin koko eteläisemmässä Suomessa. Toukokuun sademäärä oli Ylistarossa 65 mm, joka on normaaliarvoon nähden kaksinkertainen. Toukokuun 22. päivä satoi yhdessä kurossa lähes 30 mm, joka kuoretti pellon pintaa ja vaikeutti oraiden kasvuun lähtöä. Toukokuun keskilämpötila oli kaksi astetta pitkän ajan keskiarvoa korkeampi. Lannoituskokeet kylvettiin kesäkuun alussa, jolloin vältyttiin aikaisemmin kylvettyjen peltojen kuorettumisongelmilta ja maassa oli riittävästi kosteutta onnistuneeseen orastumiseen. Kesäkuun sademäärä jäi 38 mm, joka on kolmanneksen alle pitkän ajan keskiarvon. Normaalia vähäsateisempi kesäkuu verotti satoa jonkin verran.

Kesäkuun keskilämpötila ei poikennut normaalista, mutta 7. ja 8. päivä lämpötila laski maan pinnassa -7 asteeseen. Alhaiset lämpötilat näkyivätkin oraiden hetkellisenä vaalentumisena. Myös heinäkuun alkupäivinä lämpötila oli muutaman asteen pakkasen puolella, mikä hallan aroilla paikoilla vioitti tupesta esiin tulevia tähkiä. Loppukasvukauden sademäärät noudattivat pitkän ajan keskiarvoja. Keskilämpötilat olivat pari astetta pitkän ajan keskiarvoja korkeampia heinä- ja elokuussa. Sadon valmistuminen ja korjuu tapahtui viljoille edullisissa olosuhteissa.

Taulukko 1. Koepaikan kuukauden keskilämpötila ja sademäärä sekä pitkän ajan keskiarvo (Lähde: Ilmatieteenlaitos, Ylistaron sääasema).

	Keskilämpötila			Sademäärä		
	1971-2000	2008	2009	1971-2000	2008	2009
Tammi	-7,1	-1,9	-5,3	32	46	24
Helmi	-7,3	-1,5	-6,9	22	29	22
Maalis	-3,2	-2,0	-2,7	26	29	16
Huhti	2,2	4,0	3,5	29	38	24
Touko	8,8	9,0	10,7	33	6	68
Kesä	13,9	13,4	13,7	53	76	39
Heinä	15,8	15,2	16,2	73	103	73
Elo	13,8	12,9	15,4	62	83	55
Syys	8,7	7,9	11,7	59	14	24
Loka	3,9	6,1	2,0	54	80	64
Marras	-1,4	0,7	2,4	47	37	52
Joulu	-5,3	-0,5	-6,8	37	42	35
Keskiarvo/ Kok.summa	3,6	5,3	4,5	527	583	494

2.4 Laboratorioanalyysit ja tilastollinen tarkastelu

2.4.1 Lannoitevalmisteet

Lannoitevalmisteanalyysit teetettiin kaupallisessa laboratoriossa (Viljavuuspalvelu) kansallisten standardimenetelmien ja lannoitevalmistesäädösten mukaisesti: kokonaistyyppi (Kjeldahl, SFS-EN 13654-2), kokonaisfosfori (SFS-EN 13650), liukoinen N ja P (SFS-EN 13652). Muut liukoiset ravinteet määritettiin ICP:llä HAAc-utosta, sekä maan happamuus ja johtoluku standardimenetelmillä (SFS-EN 13037, SFS-EN 13038). Raskasmetallien kokonaispitoisuudet analysoitiin lannoitevalmistesäädösten mukaisesti (SFS-EN 13650) ja liukoiset pitoisuudet HAAc-EDTA-utosta (Lakanen & Erviö 1971).

2.4.2 Maanäytteet

Maanäytteet analysoitiin MTT:n palvelulaboratoriossa; ammonium- ja nitraatti-N (2M KCl, tilavuussuhde 1/2,5, 16 tuntia, Skalar, Mulvaney 1996), viljavuusravinteet (HAAc, pH 4,65, 1 tunti) molybdeeninimetelmällä (P) tai ICP-AES (K, Ca, Mg, S). Raskasmetallien kokonaispitoisuudet analysoitiin lannoitevalmistesäädösten mukaisesti (SFS-EN 13650) kuningasvesiutosta ja liukoiset pitoisuudet HAAc-EDTA-utosta, pitoisuudet mitattiin ICP-AES:llä (Lakanen & Erviö 1971). Maan kokonaistyyppipitoisuus määritettiin Leco CN-2000 hiilityppianalyysaattorilla (automatoitu Dumas-menetelmä) ja orgaaninen hiili Leco CN-analyysaattorilla automatisoidulla kuivapolttomenetelmällä (Leco Corporation 1998).

2.4.3 Kasvinäytteet

Kasvinäytteiden tyyppipitoisuus määritettiin MTT:n palvelulaboratoriossa Leco CN-2000 – hiilityppianalyysaattorilla (Dumas-menetelmä). Kasvinäytteiden muut ravinteet ja alkuaineet (P, K, Ca, Mg, Cd, Pb, Cu, Zn, Fe, Mn, Ni ja Cr) uutettiin märkäpoltolla (typpihappouutto yön yli) ja mitattiin ICP-AES:llä (Huang & Schulte 1985).

2.4.4 Tulosten tilastollinen tarkastelu

Maa- ja kasviaineisto analysoitiin tilastollisesti täydellisesti satunnaistettujen lohkojen yleisen sekamallin mukaisesti (Littell ym. 2006), käyttäen ohjelmistoa SAS Enterprise Guide (versio 4.2, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Parittaiset vertailut tehtiin kaksisuuntaisella t-testillä ja oletusten voimassaolo testattiin jäännösten graafisen tarkastelun avulla. Estimointimenetelmä oli REML ja vapausasteet laskettiin Kenward-Rogerin menetelmällä (Kenward & Roger 1997).

3 Tulokset ja tulosten tarkastelu

3.1 Lannoitevalmisteiden laatu

3.1.1 Ravinnepitoisuudet ja maanparannusominaisuudet

Lannoitevalmisteiden laatu määritettiin levityksen yhteydessä, kokeille levitetyistä tuote-eristä. Tuotteet analysoitiin Viljavuuspalvelussa lannoitevalmistesäädösten mukaisin menetelmin. Taulukossa 2 esitetään kunakin vuonna käytetyn lannoitevalmiste-erän ravinnepitoisuudet ja vertailuna tuoteselosteen tiedot. Näiden kyseisiä tuote-eriä koskevien tarkkojen pitoisuustulosten perusteella määritettiin kokeille levitetyt toteutuneet ravinteiden määrät.

Taulukko 2. Lannoitevalmisteiden analyysitulokset ja tuoteselosteessa ilmoitetut pitoisuudet.

	Yksikkö	Maanparannusrae			Tuore-	Maanparannuskomposti		
		2008	2009	Tuote- seloste	komposti 2008	2008	2009	Tuote- seloste
Typpi (N), kokonaispit. ⁽¹⁾	g/kg ka	27	30	24	17	17	17	14,6
Typpi (N), vesiliukoinen ⁽²⁾	g/kg ka	2,19	2,03	3	2,53	2,18	2,57	0,76
Ammoniumtyppi (NH ₄ -N)	g/kg ka		0,93				2,64	
Nitraattityppi (NO ₃ -N)	g/kg ka		0,01				0,48	
Fosfori (P), kokonaispit. ⁽³⁾	g/kg ka	38	29	25	23	20	24	19,3
Fosfori (P), liukoinen ⁽⁴⁾	g/kg ka	0,68	0,54		0,25	0,42	0,51	
Fosfori (P), vesiliukoinen ⁽²⁾	g/kg ka	0,036	0,015	0,11	0,13	0,059	0,037	0,004
Kalium (K), kokonaispit.	g/kg ka	1,9	1,9	2,5	4,5	4,9	3,5	6,6
Kalium (K), liukoinen ⁽⁴⁾	g/kg ka	0,96	1,05		2,2	3,3	1,35	
Kalsium (Ca), liukoinen ⁽⁴⁾	g/kg ka	47	36		10	20	14	
Magnesium (Mg), liukoinen ⁽⁴⁾	g/kg ka	0,72	0,7		1,4	1,7	1,2	
Boori (B), liukoinen	mg/kg ka	11	12		6,3	12	6,9	
Happamuus pH (1:5) ⁽⁵⁾		7,3	7,7		5,4	6,2	6,7	6,4
Johtokyky (1:5) ⁽⁶⁾	mS/m	221	221		198	192	142	78
Hekkutushäviö (orgaaninen aines)	% ka	40,1	48,3	45	51,8	45,9	49,6	46
Kuiva-aine	%	91,2	91,9		35,2	41,0	44,5	
Kosteus	%	8,84	8,1	10	64,8	59,0	55,6	65
Tilavuuspaino	kg/m ³	960	975	850	830	760	595	633
Komp. kypsyyt, itävyys	%	90	93		72	80	92	
Komp. kypsyyt, CO ₂ -tuotto	g/kg	2,0	1,4		< 0,	< 0,	0	

⁽¹⁾ SFS-EN 13654-2, Kjeldahl, ⁽²⁾ SFS-EN 13652, ⁽³⁾ SFS-EN 13650, ⁽⁴⁾ hapan ammoniumasetaatti (HAAc), ⁽⁵⁾ SFS-EN 13037, ⁽⁶⁾ SFS-EN 13038.

3.1.2 Alkuainepitoisuudet

Levityksen yhteydessä otetuista lannoitevalmistenäytteistä määritettiin Viljavuuspalvelussa haitallisten alkuaineiden kokonaispitoisuudet lannoitevalmistesäädösten mukaisesti kuningasvesiutosta. Lisäksi määritettiin niukkaliukoisempi metallien pitoisuus hapen ammoniumasetaatti-EDTA-utosta, jonka voi kuvata kasveille käyttökelpoisten metallien määrää hieman paremmin kuin kokonaismetallien määrä. Taulukossa 3 esitetään kunakin vuonna käytetyn lannoitevalmiste-erän pitoisuudet. Näiden juuri käytettyjä tuote-eriä koskevien tarkkojen pitoisuustulosten perusteella määritettiin kokeille levitetyt toteutuneet

alkuaineiden määrät. Myöhemmin kunkin kokeen kohdalla esitetään orgaanisten lannoitevalmisteiden kautta peltoon lisätyt raskasmetallien määrät.

Taulukko 3. Kompostin ja rakeen kokonaismetallipitoisuudet (kuningasvesiuutto) ja liukoiset pitoisuudet (HAAc-EDTA-uutto) lannoitukseen käytetyissä tuote-erissä. Vertailuna lannoitevalmisteasetuksen mukaiset suurimmat sallitut metallipitoisuudet ja tuotteiden tuoteselosteissa ilmoitetut pitoisuudet.

	Maanparannusrae			Tuorekomposti	Maanparannuskomposti			Suurin sallittu ⁽¹⁾
	2008	2009	Tuoteseloste	2008	2008	2009	Tuoteseloste	
Kokonaispitoisuus⁽²⁾ (mg/kg ka)								
Kadmium (Cd)	0,78	1,25	< 1,0	0,88	0,72	0,84	0,8	1,5
Kromi (Cr)	230	240	< 300	32	70	39	93	300
Kupari (Cu)	300	250	< 450	200	160	175	204	600
Lyijy (Pb)	8,2	11	< 30	11	31	28	21,7	100
Nikkeli (Ni)	34	35	< 40	30	30	27	25	100
Sinkki (Zn)	510	440	< 800	550	520	560	680	1500
Elohopea (Hg)	0,42	0,48	< 0,8	0,64	0,57	0,61	0,6	1
Arseeni (As)	18	13	< 10	< 5,0	< 5,0	6,1	3,6	25
Liukoinen pitoisuus⁽³⁾ (mg/kg ka)								
Kadmium (Cd)	0,17	0,09			0,3	0,2		
Kromi (Cr)	1,9	1,7			1,3	1		
Kupari (Cu)	28	11			70	31		
Lyijy (Pb)	2,3	1,8			12	5,2		
Nikkeli (Ni)	1,2	1,1			4,5	2,0		
Sinkki (Zn)	68	46			250	220		
Elohopea (Hg)	0,1	< 0,02			< 0,02	0,02		
Arseeni (As)	0,6	0,6			1,0	1,5		

⁽¹⁾ MMM 12/2007, ⁽²⁾ kuningasvesiuutto, SFS-EN 13650, ⁽³⁾ HAAc-EDTA-uutto, Lakanen & Erviö 1971.

3.2 Ensimmäinen ohrakoe

3.2.1 Lannoituskäsittelyissä lisätyt määrät

Ensimmäinen ohrakoe perustettiin keväällä 2008 ja perustamisen yhteydessä otettiin käytetyistä tuote-eristä lannoitevalmisteenäytteet. Näistä näytteistä määritetyt ravinne- ja metallipitoisuudet on esitetty taulukoissa 2-3. Vuonna 2009 tällä kokeella vain kontrolliruudut saivat lisälannoitusta. Ympäristötukiehtojen mukaan saa Etelä- ja Keski-Suomen karkeilla kivennäismailla käyttää ohran typpilannoitukseen enintään 90 kg typpeä hehtaarille vuodessa (www.mavi.fi >). Ympäristötukiehdoissa otetaan huomioon lannan ja muiden orgaanisten lannoitteiden liukoinen tyyppi kokonaan. Lisäksi ns. nitraattidirektiivin perusteella säädetty kansallinen nitraattiasetus (VnA 931/2000) rajoittaa lannoitteissa kevätiljalle käytettävän kokonaistypen määrän enintään 170 kg hehtaarille vuodessa. Ympäristötukiehtojen mukaisessa fosforilannoituksessa huomioidaan puhdistamolietepohjaisen lannoitevalmisteen kokonaisfosforista 40 %. Molemmat tässä tutkimuksessa tarkastellut lannoitevalmisteet sisältävät puhdistamolietettä, joten ympäristötuen mukaista fosforin käyttökelpoisuuden tulkintaa sovelletaan molempiin tuotteisiin. Ympäristötukiehdot sallivat fosforilannoituksessa enintään viiden vuoden tasausjakson. Tämän perusteella kerralla voidaan levittää enintään viiden vuoden fosforilannoitus, jolloin maksimifosforilannoituksen jälkeen ei viiden vuoden aikana saa käyttää fosforilannoitusta lainkaan. Ympäristötukiehdoissa sallittu fosforilannoituksen määrä määritellään viljelykasvin ja kyseisen peltolohkon viljavuustason perusteella. Esimerkiksi ohran lannoitukseen saa viljavuusluokassa ”tyydyttävä” käyttää fosforia 14 kg/ha/vuosi.

Lannoitevalmisteissa ja täydennyslannoituksessa lisätyt ravinteiden määrät esitetään taulukossa 4. Kaikkien orgaanisten lannoitevalmisteiden suurimmalla käyttömäärällä vuonna 2008 peltoon lisätty kokonaistypen määrä ylitti aina nitraattisäädöksen mukaisen enimmäisrajan. Näissä tapauksissa käytetty kokonaistypin määrä oli välillä 204–240 kg/ha. Kun orgaanista lannoitusta annettiin pienempi määrä, kompostilla 20 m³/ha tai rakeella 5 m³/ha, ja täydennettiin sitä 50 kg:lla mineraalityppilannoitetta, oli käytetyn kokonaistypen määrä 152–170 kg/ha. Pienemmät orgaanisen lannoituksen tasot pelkästään käytettyinä toivat peltomaahan kokonaistyppeä 102–120 kg/ha, joten lisätty typpimäärä jäi selvästi alle sallitun maksimin.

Näitä kompostituotteen eriä olisi voinut kokonaistypen suhteen käyttää enintään 32 m³/ha ja raetuetta olisi kokonaistypinmaksimin perusteella voinut käyttää maksimissaan 7 m³/ha.

Taulukko 4. Ensimmäisellä ohrakokeella orgaanisissa lannoitevalmisteissa ja täydennyslannoitteissa ohralle annettu pääravinteiden määrä (kg/ha).

	VUOSI 2008						VUOSI 2009			VUODET 2008 + 2009		
	kokonaismäärä			vesiliukoiset ravinteet ⁽¹⁾			kokonaismäärä			kokonaismäärä		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
0-kontrolli	0	0	0	0	0	0				0	0	0
N 50	50	0	2	50	0	2	50	2		100	0	4
N100	100	17	17	100	17	17	100	10	60	200	27	77
Komposti 20	110	128	30	14	0,4	20				110	128	30
Komposti 20 N50	160	128	32	64	0,4	22				160	128	32
Komposti 40	220	256	60	27	0,8	40				220	256	60
Tuorekomposti 20	102	136	26	15	0,8	13				102	136	26
Tuorekomposti 20 N50	152	136	28	65	0,8	15				152	136	28
Tuorekomposti 40	204	272	52	29	1,5	26				204	272	52
Rae 5	120	165	9	10	0,2	4				120	165	8.5
Rae 5 N50	170	165	11	60	0,2	6				170	165	11
Rae 10	240	330	17	19	0,3	8				240	330	17

⁽¹⁾ vesiliukoiset ravinteet; orgaanisten lannoitevalmisteiden sisältämän ravinnemäärän vesiliukoinen osuus + mineraalilannoitteissa lisätty ravinnemäärä

Ympäristötukiehtojen mukaan puhdistamolietepohjaisten tuotteiden sisältämästä kokonaisfosforista lasketaan 40 % kasveille käyttökelpoiseksi. Tällä perusteella laskettu fosforimäärä oli maanparannuskompostin suuremmalla levitystasolla 102 kg ja pienemmällä tasolla 51 kg. Tuorekompostin kokonaisfosforista huomioitava fosforimäärä oli vastaavasti 109 kg ja 54 kg. Raetuetteen mukana lisäystä kokonaisfosforista huomioitiin ympäristötukiehtojen mukaan suuremmalla lannoitustasolla 132 kg ja pienemmällä lannoitustasolla 66 kg. Tämän kokeen peltolohkolla (runsasmultainen HeS) fosforin viljavuusluokka oli ”välttävää”, joten ohran lannoitukseen sai ympäristötuen mukaisesti käyttää fosforia enintään 22 kg/ha/vuosi. Tällä loholla suurimmalla 10 m³/ha raelannoituksella lisätty fosforimäärä ylitti suurimman ympäristötukiehtojen salliman fosforimäärän. Lisätty määrä vastasi 6 vuoden fosforilannoitusta, kun suurin sallittu fosforilannoituksen tasausjakso on 5 vuotta. Kompostituotteiden suurilla käyttötasolla lisätty fosforimäärä oli niukasti alle sallitun maksimimäärän, sillä lisätty määrä vastasi 4,6–5,0 vuoden fosforimäärää kyseisen lohkon tapauksessa. Kun komposteja käytettiin 20 m³/ha tai pellettiä 5 m³/ha, vastasi käytetty fosforin määrä 2,3–3,0 vuoden sallittua lannoitusta.

Orgaanisissa lannoitevalmisteissa levityshetkellä mitattu vesiliukoisen fosforin määrä oli erityisen pieni. Vain alle 1 % koekäsittelyille levitetystä kokonaisfosforista oli vesiliukoisessa muodossa kokeiden perustamisen aikaan (Taulukko 4). Myös viljavuusanalyysimenetelmällä (HAAc-uutto) mitattuna liukoisen fosforin määrä oli levityshetkellä korkeintaan 2 % kokonaisfosforin määrästä.

Lannoitevalmisteissa peltoon lisätyt hivenaineen ja metallien määrät (Taulukko 5) on laskettu levityksen yhteydessä otettujen lannoitevalmisteiden pitoisuuksien perusteella. Lannoitevalmisteasetuksessa (MMMa 12/2007) määritetty maa- ja puutarhataloudessa sallittu suurin kadmiumkuormitus on enintään 1,5 g/ha/vuosi ja yhden lannoitevalmisteen käyttöerän suurin käyttöjakso voi olla 4 vuotta (enintään 6 g/ha/4 vuotta). Kaikkien orgaanisten lannoitevalmisteiden suurimmalla käyttömäärällä peltoon lisätty kadmiumin määrä ylitti aina lannoitevalmisteasetuksen mukaisen enimmäiskuormitusrajan ja pisimmän sallitun käyttöjakson. Kun orgaanista lannoitusta annettiin pienempi määrä, kompostia 20 m³/ha tai pellettiä 5 m³/ha, oli peltoon kohdistuva kadmiumkuormitus sallitun enimmäiskuormituksen rajoissa. Kaupallisista mineraalilannoitteista ei ollut käytössä metallipitoisuustietoja, joten näitä orgaanisen lannoituksen kuormituslukuja ei pysty vertaamaan mineraalilannoituksen aiheuttamaan kuormitukseen.

Taulukko 5. Ensimmäisellä ohrakokeella orgaanisissa lannoitevalmisteissa peltomaahan vuonna 2008 lisätty hivena-aineiden ja metallien määrä (g/ha).

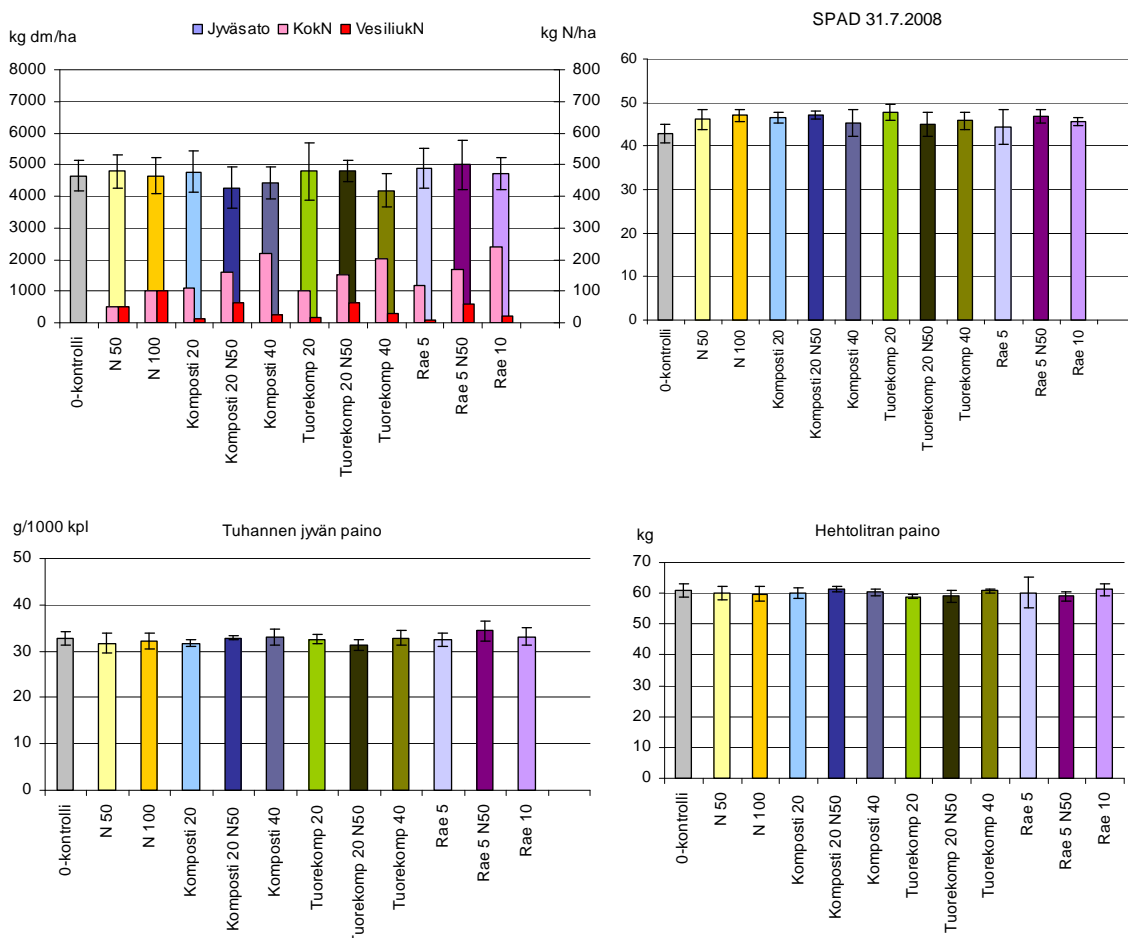
	Kokonaismäärät (AR-uutto)								Liukoiset määrät (HAAC-EDTA-uutto)							
	Cd	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	Hg	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	Hg	As
0-kontrolli	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N 50	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N100	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Komposti 20	4,6	440	1020	196	186	3200	3,6	32	1,8	8	440	78	28	1580	0,20	6
Komposti 20 N50	4,6	440	1020	196	186	3200	3,6	32	1,8	8	440	78	28	1580	0,20	6
Komposti 40	9,2	880	2040	392	372	6400	7,2	64	3,6	16	880	156	56	3160	0,40	12
Tuorekomposti 20	5,2	186	1180	64	174	3200	3,8	30	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Tuorekomposti 20 N50	5,2	186	1180	64	174	3200	3,8	30	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Tuorekomposti 40	10,4	372	2360	128	348	6400	7,6	60	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Rae 5	3,4	1000	1300	36	150	2200	1,9	80	0,7	9	120	10	6	295	0,40	3
Rae 5 N50	3,4	1000	1300	36	150	2200	1,9	80	0,7	9	120	10	6	295	0,40	3
Rae 10	6,8	2000	2600	71	300	4400	3,7	160	1,4	17	240	20	11	590	0,80	6

n.d. = ei pitoisuustietoa

3.2.2 Ensimmäisen vuoden satotulokset

Lannoituskäsittelyissä vuonna 2008 lisätyt ravinteet ja hivenaaineet on esitetty edellä taulukoissa 4 ja 5.

Ohran jyväsato oli ensimmäisenä vuonna orgaanisen lannoituksen jälkeen enintään 5 tonnia / hehtaari ja lannoituskäsittelyjen välillä ei ollut merkitseviä eroja (Kuva 1). Kasvukaudella 2008 ohran lehtivihreäpitoisuus (spad-yksikköinä) mitattiin kerran heinäkuun lopussa. Lehtivihreätasoissa ei ollut merkitseviä eroja lannoituskäsittelyjen välillä ($p=0,17$). Myöskään puidun ohranjyvän tuhanen jyvän paino tai hehtolitrainpaine ei eronnut käsittelyjen välillä.



Kuva 1. Ensimmäisen ohrakokeen perustamisvuoden jyväsato, tuhannen jyvän paino ja hehtolitrainpaine, sekä heinäkuun lopussa mitattu kasvuston lehtivihreäpitoisuus (Minolta SPAD-mittari). Orgaaniset lannoitevalmisteet oli levitetty saman vuoden keväällä.

Orgaanisesti lannoitetun ohran vuoden 2008 jyvänäytteiden alkuainepitoisuudet määritettiin ja jyvän pitoisuuksissa havaittiin useita tilastollisesti merkitseviä eroja (Taulukko 6). Jyvän tyypipitoisuus oli korkeimmillaan ja samaa tasoa kuin mineraalikontrolleilla, kun maltillinen orgaaninen lannoitus täydennettiin typpilannoituksella. Jyvän fosforipitoisuus oli puolestaan alimmillaan N100-kontrollilannoituksen jälkeen. Kalsiumin, rikin ja magnesiumin sekä kuparin, sinkin ja raudan pitoisuus oli useimmiten korkein 10 m³/ha raelannoituksen jälkeen, mutta useimmiten pitoisuudet eivät olleet merkitsevästi suurempia kuin mineraalilannoituskontrolleilla. Jyvän pitoisuuksissa oli myös muita eroja käsittelyjen välillä, esimerkiksi magnesiumin ja sinkin pitoisuus poikkesi myös muiden lannoituskäsittelyjen kesken. Kadmiumin ja lyijyn pitoisuus ohran jyvässä ei poikennut lannoituskäsittelyjen välillä. Natriumin pitoisuus jyvässä oli keskimäärin 0,054 g/kg ka ja mangaanin 21,4 mg/kg ka, eikä kummankaan kohdalla ollut tilastollisia eroja lannoituskäsittelyjen välillä. Sekä arseenin että elohopean pitoisuus ohran jyvässä oli alle 10 µg/kg ka ja tilastollisia eroja ei ollut.

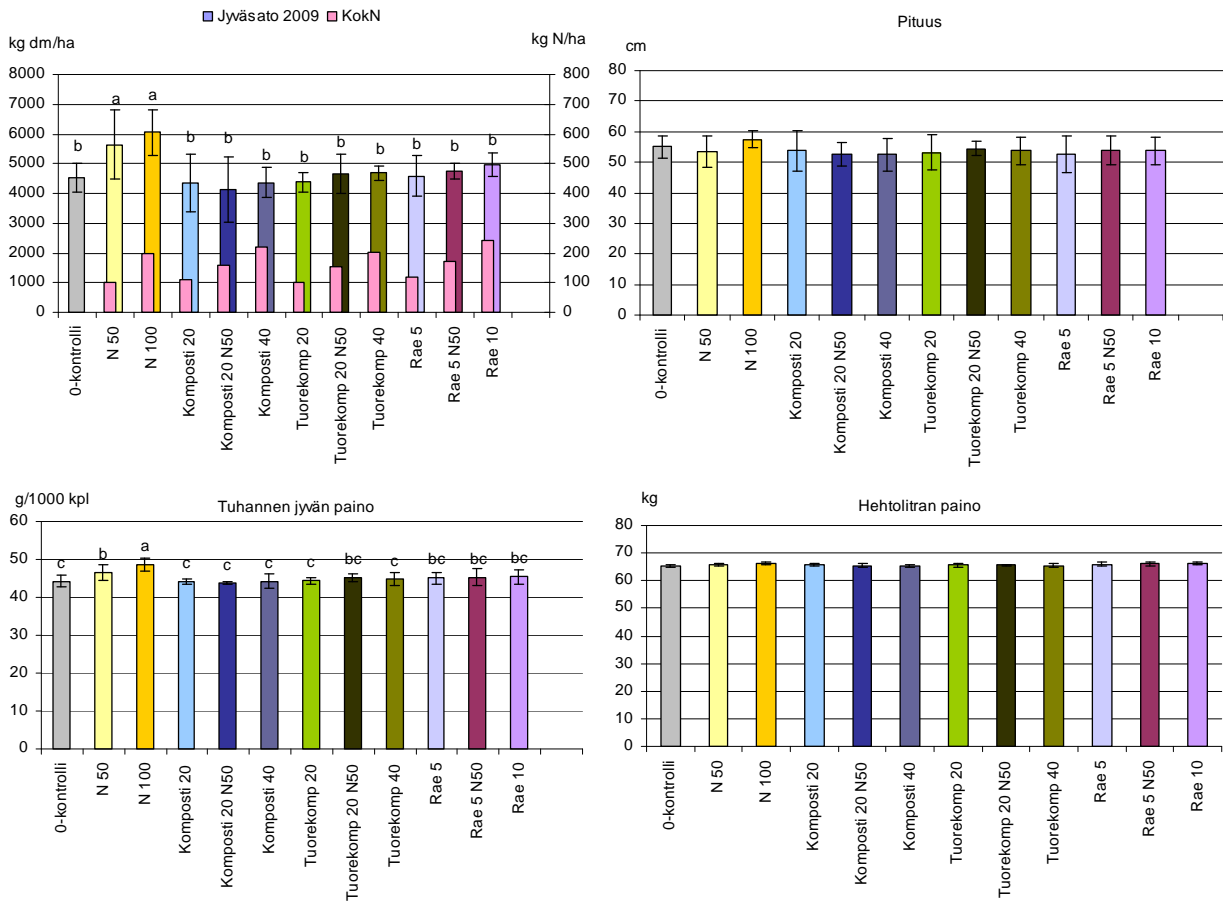
Taulukko 6. Ensimmäisen ohrakokeen jyvänäytteiden alkuainepitoisuudet vuonna 2008. Orgaaniset lannoitevalmisteet oli levitetty saman vuoden keväällä. Tulossarakkeessa esitetään erojen tilastollinen merkitsevyys ja toisistaan merkitsevästi eroavat tulokset on esitetty eri kirjaimin. (n.s. = ei eroja lannoitusten välillä)

	N % ka	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Zn	Fe	Cd	Pb
	g/kg ka						mg/kg ka			µg/kg ka	
0-kontrolli	1,46 ^c	3,9 ^a	7,4	0,57 ^c	1,24 ^a	1,38 ^b	6,3 ^b	27 ^b	33 ^{bc}	9	9,7
N50	1,72 ^a	3,9 ^a	7,5	0,60 ^c	1,2 ^b	1,48 ^b	6,9 ^a	30 ^a	37 ^a	11	11,7
N100	1,83 ^a	3,6 ^b	7,3	0,64 ^a	1,08 ^c	1,53 ^{ab}	6,9 ^{ab}	29 ^b	39 ^a	14	9,7
Rae 5	1,64 ^b	3,9 ^a	7,2	0,57 ^c	1,18 ^b	1,45 ^b	6,5 ^b	29 ^b	34 ^{bc}	11	9,0
Rae 5 N50	1,76 ^a	3,8 ^a	7,4	0,62 ^b	1,15 ^{bc}	1,58 ^a	6,8 ^{ab}	31 ^a	36 ^{ab}	12	13,3
Rae 10	1,68 ^b	3,9 ^a	7,5	0,64 ^a	1,19 ^{ab}	1,57 ^a	7,0 ^a	31 ^a	38 ^a	13	8,0
Komposti 20	1,62 ^b	3,9 ^a	7,6	0,58 ^c	1,27 ^a	1,43 ^c	6,5 ^b	29 ^b	34 ^{bc}	10	8,0
Komposti 20 N50	1,73 ^a	3,8 ^a	7,4	0,61 ^c	1,15 ^b	1,48 ^{bc}	6,8 ^{ab}	30 ^a	36 ^{bc}	10	8,0
Komposti 40	1,62 ^b	3,9 ^a	7,4	0,57 ^c	1,24 ^a	1,41 ^c	6,3 ^b	28 ^b	33 ^{bc}	9	12,7
Tuorek. 20	1,58 ^b	4,0 ^a	7,5	0,58 ^c	1,28 ^a	1,43 ^c	6,4 ^b	28 ^b	33 ^{bc}	11	11,7
Tuorek. 20 N50	1,74 ^a	3,8 ^a	7,5	0,62 ^b	1,18 ^b	1,50 ^{bc}	6,9 ^{ab}	30 ^a	36 ^{bc}	11	8,3
Tuorek. 40	1,59 ^b	3,8 ^a	7,3	0,57 ^c	1,24 ^a	1,41 ^c	6,4 ^b	28 ^b	32 ^c	9	6,0
	F=5,1, p=0,0001	F=2,3, p<0,05	n.s.	F=4,0, p=0,003	F=3,5, p=0,006	F=4,0, p=0,003	F=4,2, p=0,002	F=2,4, p=0,04	F=4,0, p=0,003	n.s.	n.s.

3.2.3 Toisen vuoden satotulokset

Ensimmäistä ohrakoetta hoidettiin ja havainnoitiin myös toisen vuoden, eli jälkivaikutusvuoden aikana. Ohran jyväsato oli jälkivaikutusvuoden aikana väkilannoitetulla (N50 ja N100) ohralla 5,6–6,1 t/ha, mikä oli merkitsevästi suurempi kuin muilla lannoituksilla (F=2,56, p=0,017, Kuva 2). Edellisenä vuonna lisättyjen orgaanisten lannoitevalmisteiden tuottama jyväsato oli tilastollisesti samalla tasolla kuin lannoittamattoman peltomaan tuottama sato (4,1–5,0 t/ha), vaikka lievää sadonlisäystä voisi ehkä nähdä rakeen ja tuorekompostin käytön vaikutuksesta. Satotulosten perusteella orgaanisen lannoituksen jälkivaikutus ohranviljelyssä oli heikko. Jotta orgaanisen lannoituksen jälkivaikutusvuonna olisi mahdollista tuottaa 5–6 tonnin jyväsato, tarvitsee ohra selkeästi lisälannoitusta mineraalityyppellä. Lisälannoituksen tarpeen tarkkaa määrää ei tämän aineiston perusteella vielä pysty määrittämään.

Kasvuston pituus ei eronnut lannoituskäsittelyjen välillä jälkivaikutusvuoden aikana, mutta tuhannen jyvän painossa havaittiin tilastollisesti merkitseviä eroja (F=4,73, p=0,0002, Kuva 2). Kompostikäsiteltyssä maassa kasvaneen ohran tuhannen jyvän paino oli tyypillisesti samalla tasolla kuin lannoittamattoman ohran, kun taas raelannoitetussa maassa tuhannen jyvän paino oli hieman lähempänä N50-kontrollilannoituksen tulosta. Korrenkasvun päätyttyä mitattu kasvuston pituus ei eronnut lannoituskäsittelyjen välillä, kuten ei myöskään puidun jyvän hehtolitrainpaine.



Kuva 2. Ensimmäisen ohrakokeen toisen vuoden jyväsaato, tuhannen jyvän paino ja hehtolitrin paino, sekä korrenkasvun päätyttyä mitattu kasvuston pituus. Satokuvassa esitetään myös kahden vuoden aikana annettu kokonaistypen määrä.

Puidun ohran jyvänäytteistä määritettiin pääravinteiden ja muiden alkuaineiden pitoisuudet (kokonaistyyppi Leco, muut märkäpoltto ja ICP-AES). Tuorekompostikäsitteilyn vuoden 2009 kasvinäytteitä ei analysoitu. Suurten analysiikkustannusten vuoksi elohopean määrittäminen tehtiin vain yhden kerran näytteistä ja analysoitavaksi valittiin keskimääräinen, vähiten muista poikkeava kerranne. Jälkivaikutusvuoden aikana ohranjyvän alkuainepitoisuuksissa oli hieman useampia eroja kuin ensimmäisen vuoden aikana.

Jälkivaikutuskokeen ohran vuoden 2009 jyvänäytteiden alkuainepitoisuuksissa havaittiin useita tilastollisesti merkitseviä eroja (Taulukko 7). Jyvän typpipitoisuus oli korkeimmillaan mineraalikontrolleilla, kun taas kaikilla orgaanisen lannoituksen jälkivaikutuskäsittelyillä typpipitoisuus oli merkittävästi alhaisempi kuin mineraalikontrolleilla. Kalsiumin ja rikin pitoisuuden tilastolliset erot olivat samankaltaisia kuin typen pitoisuuden erot, kaikilla muilla käsittelyillä pitoisuudet olivat selvästi pienempiä kuin mineraalikontrolkäsittelyillä.

Jyvän metallipitoisuuksissa oli myös monia tilastollisesti merkitseviä eroja (Taulukko 7). Yleensä mineraalikontrollien jyvänäytteissä metallipitoisuudet olivat merkittävästi suuremmat kuin orgaanisten lannoituskäsittelyjen. Tästä poikkesi vain jyvän lyijypitoisuus, joka oli merkittävästi muiden käsittelyjen pitoisuuksia korkeampi pienimmällä 20 m³/ha kompostilannoituksella.

Taulukko 7. Ensimmäisen ohrakokeen jyvänäytteiden alkuainepitoisuudet vuonna 2009. Tulossarakeessa esitetään erojen tilastollinen merkitsevyys ja toisistaan merkitsevästi eroavat tulokset on esitetty eri kirjaimin. (n.s. = ei eroja lannoitusten välillä)

	N g/kg ka.	P g/kg ka.	K g/kg ka.	Ca g/kg ka.	Mg g/kg ka.	Na g/kg ka.	S g/kg ka.		
0-kontrolli	13,8 ^d	4,2	5,0	0,46 ^c	1,39	0,045	1,19 ^{cd}		
N50	17,0 ^b	3,9	4,9	0,48 ^b	1,41	0,043	1,34 ^b		
N100	20,8^a	4,1	4,9	0,53^a	1,39	0,045	1,47^a		
Komposti 20	14,4 ^c	4,2	5,1	0,46 ^{bc}	1,42	0,043	1,21 ^{cd}		
Komposti 20 N50	14,2^{cd}	4,0	4,8	0,44^c	1,35	0,043	1,14^d		
Komposti 40	14,1 ^{cd}	4,2	4,9	0,45 ^c	1,36	0,050	1,15 ^{cd}		
Rae 5	14,2 ^{cd}	4,2	4,9	0,46 ^{bc}	1,38	0,048	1,17 ^{cd}		
Rae 5 N50	14,3^{cd}	4,1	4,9	0,45^c	1,37	0,050	1,18^{cd}		
Rae 10	14,2 ^{cd}	4,1	5,0	0,46 ^{bc}	1,40	0,053	1,22 ^{cd}		
	F=165,8, p<0,0001	n.s. (p=0,054)	n.s.	F=10,9, p<0,0001	n.s.	n.s.	F=21,6, p<0,0001		

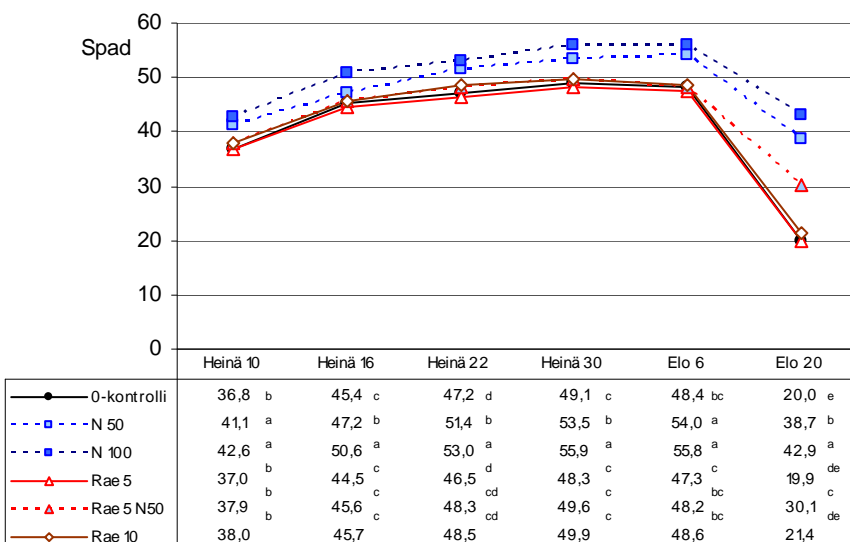
	Cu mg/kg ka.	Zn mg/kg ka.	Fe mg/kg ka.	Mn mg/kg ka.	Cd mg/kg ka.	Pb mg/kg ka.	As µg/kg ka.	Hg µg/kg ka.
0-kontrolli	4,3 ^{cd}	34,8 ^c	31,3 ^{bc}	18,5 ^c	19,0 ^{cd}	17,3 ^{bc}	<10	<10
N50	4,7 ^b	38,0 ^b	34,3 ^{ab}	21,5 ^b	31,8 ^b	19,8 ^{bc}	<10	<10
N100	5,2^a	42,0^a	36,3^a	25,5^a	44,5^a	16,5^{bc}	<10	<10
Komposti 20	4,4 ^{cd}	36,5 ^{bc}	32,3 ^{bc}	19,0 ^c	20,3 ^{cd}	22,8 ^a	<10	<10
Komposti 20 N50	4,1^d	34,8^c	31,0^{bc}	18,0^c	21,0^{cd}	13,3^c	<10	<10
Komposti 40	4,2 ^{cd}	35,3 ^c	32,0 ^{bc}	19,0 ^c	18,0 ^d	15,8 ^{bc}	<10	<10
Rae 5	4,3 ^{cd}	35,8 ^{bc}	30,8 ^c	18,8 ^c	22,8 ^{cd}	8,7 ^c	<10	<10
Rae 5 N50	4,2^{cd}	35,8^{bc}	30,5^c	19,0^c	21,3^{cd}	10,0^c	<10	<10
Rae 10	4,3 ^{cd}	36,0 ^{bc}	31,8 ^{bc}	19,0 ^c	21,5 ^{cd}	10,3 ^c	<10	<10
	F=15,7, p<0,0001	F=6,68, p=0,0001	F=2,63, p=0,03	F=16,4, p<0,0001	F=31,4, p<0,0001	F=3,35, p=0,01	n.s.	n.s.

3.2.4 Lehtivihreäpitoisuus vuonna 2009

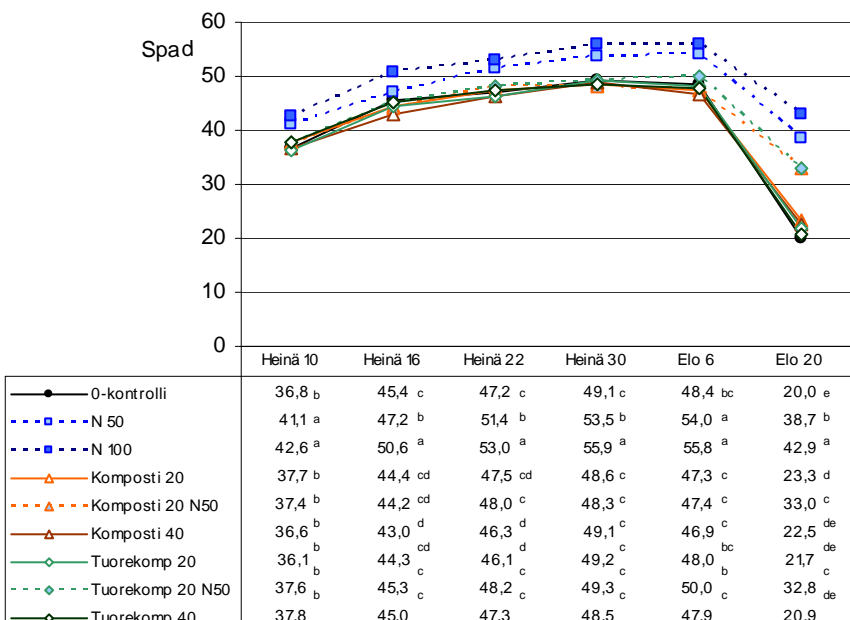
Kasvuston tilaa seurattiin kannettavalla lehtivihreämittarilla (Minolta SPAD-5000) heinä-elokuussa vuonna 2009. Lehtivihreämittaus kuvaa kasvuston käytettävissä olevan tyypen määrää melko luotettavasti, sillä maan tyyppi on yleensä tärkein kasvin lehtivihreää säätelevä tekijä. Lehtivihreämittauksen yksikkö (Spad) kuvaa kasvuston tummuutta. Mitä suurempi spad-luku on, sitä tummemman vihreää on kasvusto.

Vuotuisen väkilannoituksen saaneet kasvustot (N50 ja N100) ylläpitivät muita korkeamman lehtivihreätason läpi mittausjakson (Kuva 3). Kasvuston ikääntyessä tuleentuminen oli väkilannoitetuilla käsittelyillä hieman hitaampaa kuin ohralla joka kasvoi edellisellä vuonna orgaanisen lannoituksen saaneessa maassa. Typpilisäyksen (N50) ensimmäisenä vuonna saaneet orgaanisesti lannoitetut koekäsittelyt hidastivat hie-man kasvuston tuleentumista, sillä lehtivihreän määrä laski niillä hitaammin kuin pelkällä orgaanisella lannoituksella. Näistä lehtivihreän tasossa havaituista eroista huolimatta kaikki kasvustot olivat tuleentumishavainnoissa täysin tuleentuneita kolmen päivän sisällä, välillä 30.8.–1.9.

Ensimmäinen ohrakoe 2009 - Raekäsittelyt



Ensimmäinen ohrakoe 2009 - Kompostikäsitteilyt



Kuva 3. Lehtivihreäpitoisuus ensimmäisen ohrakokeen kasvustossa vuonna 2009, 1-2 viikon välein mitattuna (spad-yksikkönä). Lannoituskontrollit N50 ja N100 lannoitettiin vuosittain, ja muut koekäsittelyt kasvoivat ilman vuotuista lannoitusta. Orgaaniset lannoitevalmisteet oli levitetty keväällä 2008. Ylemmässä kuvassa on raeannoituksen ja alemmassa kuvassa kompostilannoituksen vertailu kontrollikäsitteilyihin (kontrollit samat molemmissa kuvissa). Kussakin mittausajankohdassa toisistaan eroavat tulokset on merkitty eri kirjaimin ($p < 0,05$).

3.2.5 Maan ravinteet ja hivenaineet vuonna 2009

Liukoisen typen määrää peltomaassa seurattiin vuonna 2009 määrittämällä keväällä ja syksyllä otetuista muokkauskerroksen maanäytteistä liukoisen typen pitoisuudet (ammonium- ja nitraattityppi, KCl-uutto). Kasvukauden aikana maanäytteet otettiin kerran, tähkimisen aikaan (23.7.2009), ja myös näistä näytteistä määritettiin ammonium ja nitraatti. Keväällä havaittiin selvästi suurin ammoniumpitoisuus (3,6 mg/kg kuivaa maata) käsittelyllä Rae 5 N50, mutta ero ei ollut tilastollisesti muista poikkeava, vaan ilmensi tässä tapauksessa tulosten suurta hajontaa ja satunnaisvaihtelua. Myöskään maan nitraattipitoisuudessa ei ollut keväällä tilastollisesti merkitseviä eroja lannoituskäsittelyjen välillä (Taulukko 8).

Kesällä tähkimisvaiheessa (tv) maan ammoniumtypen pitoisuus oli suurin 10 m³:n raekäsittelyllä. Myös käsittely Komposti 20 N50 kohotti maan ammoniumpitoisuutta ohrakasvuston tähkimisvaiheessa korke-

ammaksi kuin mitä lannoittamattomassa maassa mitattiin. Muissa lannoitetuissa maissa ammoniumpitoisuus ei tähkimisvaiheessa poikennut lannoittamattomasta peltomaasta. Maan nitraattipitoisuus oli tähkimisvaiheessa korkeimmillaan N100 – kontrollikäsitteilyllä, kun taas kaikkien orgaanisesti lannoitettujen maiden nitraatin tasot olivat lannoittamattoman maan ja mineraalityyppellä lannoitetun N50-kontrollin välillä. Tähkimisvaiheen maanäytteenoton kanssa samana päivänä mitattiin myös kolmas kasvuston lehtivihreämitta (tulokset esitelty edellä). Tuolloin korkeimmat lehtivihreätasot mitattiin mineraalikontrollilannoituksilla N100 ja N50, mikä noudattaa saman päivän maanäytetuloksissa havaittuja nitraattityypen pitoisuuksia.

Syyskuussa sadonkorjuun jälkeen maan ammoniumtyypin ja nitraattityypin pitoisuuksissa ei ollut merkitseviä eroja lannoituskäsittelyjen välillä. Edes kontrollilannoituksen N100 selvästi korkein nitraattityypin pitoisuus ei poikennut tilastoanalyysissä muista käsittelyistä. Tämän tuloksen perusteella riski nitraatin huuhtoutumiselle toisen vuoden syksyllä orgaanisen lannoituksen jälkeen näyttää pieneltä. Syksyn sääolosuhteet ovat kuitenkin saattaneet vaikuttaa tämän näytteenoton jälkeen peltomaassa tapahtuneisiin ravinnepitoisuuksien muutoksiin. Voidaan kuitenkin olettaa että toisena vuotena orgaanisen lannoituksen jälkeen lannoitevalmisteen orgaanisesta aineesta peräisin olevan nitraatin huuhtoutumisen riski on selkeästi pienempi kuin käyttövuoden aikana.

Taulukko 8. Ensimmäisen ohrakokeen pintamaan typpi- ja orgaanisen hiilen pitoisuudet vuonna 2009 kevään, kesän (tv=tähkimisvaihe) ja syksyn näytteenotoissa. Orgaaniset lannoitevalmisteet oli levitetty keväällä 2008. Tulossarakkeessa esitetään erojen tilastollinen merkitsevyys ja toisistaan merkitsevästi eroavat tulokset on esitetty eri kirjaimin. (n.s. = ei eroja lannoitusten välillä)

	Kok-N (g/kg ka)	Ammoniumtyppi (mg/kg ka)			Nitraattityppi (mg/kg ka)			Liukoinen typpi (amm + nit)			Org C (g/kg ka)
	syksy	kevät	kesä (tv)	syksy	kevät	kesä (tv)	syksy	kevät	kesä (tv)	syksy	syksy
0-kontrolli	2,06	2,3	2,9 ^c	4,4	26,9	0,7 ^c	2,8	29,2	3,6 ^c	7,1	37,7
N 50	2,06	2,5	3,6 ^{bc}	3,7	31,8	2,1 ^b	1,7	34,4	5,7 ^{ab}	5,3	37,7
N 100	2,01	2,1	3,8 ^{bc}	3,5	29,1	3,7 ^a	4,5	31,3	7,5 ^a	8,0	37,5
Komposti 20	1,96	2,8	3,5 ^{bc}	3,4	30,1	0,8 ^{bc}	2,2	32,9	4,3 ^{bc}	5,6	36,4
Komposti 20 N50	1,98	2,4	3,9 ^b	4,1	30,4	1,2 ^{bc}	2,2	32,9	5,2 ^{bc}	6,3	36,8
Komposti 40	1,98	2,2	3,5 ^{bc}	4,6	30,1	0,9 ^{bc}	2,9	32,3	4,4 ^{bc}	7,4	36,6
Tuorekomposti 20	2,08	2,2	3,7 ^{bc}	3,8	28,7	1,4 ^{bc}	2,4	30,9	5,0 ^{bc}	6,3	37,8
Tuorekomposti 20 N50	1,98	2,3	3,0 ^{bc}	3,9	33,0	1,3 ^{bc}	2,6	35,3	4,3 ^{bc}	6,4	36,7
Tuorekomposti 40	2,06	2,1	3,4 ^{bc}	4,2	26,8	0,6 ^c	2,9	28,9	4,0 ^c	7,0	37,9
Rae 5	2,04	2,0	3,5 ^{bc}	4,0	30,5	1,0 ^{bc}	2,7	32,6	4,5 ^{bc}	6,7	37,8
Rae 5 N50	2,21	3,6	3,5 ^{bc}	4,0	28,8	1,2 ^{bc}	2,1	32,4	4,7 ^{bc}	6,1	35,7
Rae 10	2,24	2,3	5,3 ^a	3,7	28,5	0,9 ^{bc}	2,5	30,7	6,2 ^{ab}	6,2	36,0
	n.s.	n.s.	F=3,23, p=0,005	n.s.	n.s.	F=3,32, p=0,004	n.s.	n.s.	F=2,28, p=0,03	n.s.	n.s.

Syksyllä 2009 otetuista maanäytteistä määritettiin kokonaistypen ja orgaanisen hiilen pitoisuus. Kun orgaanisten lannoitevalmisteiden käytön jälkeen oli kulunut kaksi kasvukautta, koekäsittelyjen välillä ei havaittu merkitseviä eroja maan kokonaistypen eikä orgaanisen hiilen määrässä.

Maan viljavuusfosforin pitoisuus keväällä vuosi orgaanisten lannoitevalmisteiden levityksen jälkeen oli useimmilla orgaanisesti lannoitetuilla ruuduilla suurempi kuin pelkän mineraalilannoituksen saaneilla kontrolliruuduilla tai lannoittamattomassa peltomaassa (Taulukko 9). Tämä antaa viitteitä siitä, että vuotta aiemmin annettu orgaaninen lannoitus on voinut toimia hyvänä fosforilannoitteena, mutta ensimmäisen vuoden maanäytteistä sitä ei tämän kokeen kohdalla ollut mahdollista varmentaa. Koska maanäytteitä ei vuoden 2008 aikana otettu tältä ohrakokeelta, määritettiin kasvinäytteiden alkuainepitoisuudet alustavaa suunnitelmaa tarkemmin. Ohranjyvän fosforipitoisuus orgaanisen lannoituksen käyttövuoden aikana ei kuitenkaan selvästi tukenut edellä olevaa pohdintaa orgaanisten lannoitteiden tehosta fosforilannoitteena.

Vuosi orgaanisen lannoitelisäyksen jälkeen korkein johtoluku oli N100-kontrollikäsitteilyllä ja matalin lannoittamattomassa maassa. Muilla lannoituskäsittelyillä maan johtoluku oli N100-kontrollin ja lannoittamattoman maan välillä.

Taulukko 9. Ensimmäisen ohrakokeen pintamaan viljavuusravinteiden pitoisuudet, happamuus ja johtoluku vuonna 2009 kevään ja syksyn näytteenotoissa. Orgaaniset lannoitevalmisteet oli levitetty keväällä 2008. Tulossarakkeessa esitetään erojen tilastollinen merkitsevyys ja toisistaan merkitsevästi eroavat tulokset on esitetty eri kirjaimin. (n.s. = ei eroja lannoitusten välillä)

	P		K		Mg		Ca		S		pH		johtoluku (10 ⁻⁴ S/cm)	
	(HAAC, mg/kg DM soil)													
	kev	syk	kev	syk	kev	syk	kev	syk	kev	syk	kev	syk	kev	syk
0-kontrolli	5,3 ^b	5,4	168	161	158	151	1862	1927	72	60	5,74	5,98	2,01	1,10 ^c
N 50	5,3 ^b	5,3	168	140	159	147	1876	1891	72	65	5,74	5,89	2,11	1,12 ^{bc}
N 100	5,6 ^b	7,4	175	148	161	156	1822	1895	71	70	5,73	5,90	2,01	1,61 ^a
Komposti 20	5,6 ^{ab}	5,4	169	152	169	151	1904	1770	69	66	5,78	5,85	1,98	1,16 ^{bc}
Komposti 20 N50	5,8 ^{ab}	5,7	172	147	161	150	1886	2099	70	65	5,76	6,05	2,04	1,33 ^b
Komposti 40	6,1 ^a	5,7	168	147	165	153	1921	1765	69	60	5,81	5,88	1,91	1,11 ^{bc}
Tuorekomposti 20	5,8 ^{ab}	5,5	173	152	158	146	1914	1843	68	63	5,78	5,85	1,87	1,14 ^{bc}
Tuorekomp. 20 N50	5,9 ^a	5,9	163	148	166	150	1946	2200	63	60	5,86	6,14	2,05	1,31 ^{bc}
Tuorekomposti 40	5,8 ^a	5,6	160	146	157	143	1867	1813	69	68	5,78	5,83	1,82	1,19 ^{bc}
Rae 5	5,9 ^a	5,9	165	151	176	161	1951	2020	65	65	5,84	5,96	2,04	1,24 ^{bc}
Rae 5 N50	6,1 ^a	5,9	165	147	161	154	1960	2002	68	66	5,84	6,02	1,98	1,25 ^{bc}
Rae 10	5,9 ^a	6,2	161	143	167	158	1987	2198	67	66	5,88	6,09	1,91	1,27 ^{bc}
	F=2,15, p=0,04	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	F=3,4, p=0,003

Maan liukoisten hivenaineiden ja metallien pitoisuuksissa ei ollut syksyllä vuosi lannoituksen jälkeen eroja eri lannoituskäsittelyjen välillä (Taulukko 10). Hivenaineiden ja metallien kokonaispitoisuudet määritettiin kuningasvesiuutosta ja lannoituskäsittelyt aiheuttivat muutamia tilastollisesti merkitseviä eroja lyijyn, arseenin ja mangaanin pitoisuuksissa syksyn pintamaassa vuosi lannoituskäsittelyn jälkeen (Taulukko 11). Lyijyn pitoisuus oli korkein raelannoituksilla Rae 5 N50 ja Rae 10 (12,8–12,9 mg/kg kuivaa maata), kun taas alin lyijypitoisuus mitattiin kontrollilannoituksella N100 (10,5 mg/kg kuivaa maata). Kaikilla muilla lannoituskäsittelyillä lyijypitoisuus ei poikennut lannoittamattoman maan pitoisuudesta. Arseenipitoisuus oli korkein Komposti 40-lannoituksella (9,9 mg/kg kuivaa maata), kun taas pienin arseenipitoisuus oli raelannoitetuissa maissa sekä Tuorekomposti 40-lannoituksella (6,0–7,3 mg/kg kuivaa maata). Korkein mangaanipitoisuus vuosi orgaanisen lannoituksen jälkeen mitattiin Tuorekomposti 20 N50-käsittelyllä (488 mg/kg kuivaa maata). Myös suuri raelannoitus aiheutti mangaanipitoisuuden nousua, kun taas alimmillaan mangaanipitoisuudet olivat pelkästään kompostilannoitusta saaneissa pelto- maissa (345–351 mg/kg kuivaa maata).

Taulukko 10. Ensimmäisen ohrakokeen pintamaan liukoiset metallipitoisuudet (HAAC-EDTA-uutto) syksyllä 2009, kun kaksi kasvukautta oli kulunut orgaanisten lannoitevalmisteiden levityksestä. (n.s. = ei eroja lannoitusten välillä)

LIUKOISET METALLIT (HAAC-EDTA-uutto, mg/kg DM soil)										
	Cd	Cr	Ni	Pb	Cu	Fe	Mn	Zn	Al	
0-kontrolli	0,099	0,92	6,3	1,91	10,2	590	30,6	1,6	692	
N50	0,091	0,94	6,2	1,81	10,4	614	29,2	1,6	697	
N100	0,096	0,98	6,1	1,96	10,3	627	27,6	1,7	721	
Komposti 20	0,095	0,88	6,2	2,07	10,6	644	24,4	2,4	672	
Komposti 20 N50	0,095	1,05	5,9	1,89	10,5	656	39,4	2,1	654	
Komposti 40	0,087	0,78	6,1	1,75	10,2	597	21,6	2,4	660	
Tuorekomposti 20	0,086	0,90	6,2	1,99	10,3	631	28,5	2,1	690	
Tuorekomposti 20 N50	0,088	0,88	5,8	2,04	10,4	597	36,8	1,8	633	
Tuorekomposti 40	0,091	0,87	6,4	1,73	10,5	614	24,8	2,5	690	
Rae 5	0,096	0,87	6,3	2,00	10,7	635	28,2	2,3	666	
Rae 5 N50	0,091	0,85	5,9	1,81	10,4	598	29,6	1,8	621	
Rae 10	0,094	1,03	5,9	2,25	10,9	725	39,6	2,7	617	
	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	

Taulukko 11. Ensimmäisen ohrakokeen pintamaan kokonaismetallipitoisuudet (kuningasvesiuutto) syksyllä 2009. Tulossarakkeessa esitetään erojen tilastollinen merkitsevyys ja toisistaan merkitsevästi eroavat tulokset on esitetty eri kirjaimin. (n.s. = ei eroja lannoitusten välillä)

	KOKONAISMETALLIT (AR-uutto, mg/kg DM soil)											
	Cd	Cr	Ni	Pb		Cu	As	Mn	Zn	Hg		
0-kontrolli	0,160	50,7	26,1	10,8	^{bc}	27,9	8,9	^b	385	^{bc}	67,3	0,056
N50	0,150	51,2	26,1	10,7	^{bc}	28,6	9,3	^{ab}	383	^{bc}	68,4	0,033
N100	0,163	48,3	25,1	10,5	^c	27,3	8,6	^b	358	^{bc}	66,4	0,056
Komposti 20	0,181	48,2	25,9	10,5	^{bc}	28,3	8,5	^b	348	^c	70,2	0,038
Komposti 20 N50	0,155	50,6	25,4	10,3	^{bc}	28,1	9,2	^{ab}	384	^{bc}	68,5	0,033
Komposti 40	0,168	47,5	25,6	10,4	^{bc}	28,2	9,9	^a	351	^c	69,2	0,056
Tuorekomposti 20	0,165	48,4	24,5	10,4	^{bc}	27,4	9,4	^{ab}	362	^{bc}	66,4	0,038
Tuorekomposti 20 N50	0,148	56,4	25,1	11,3	^{bc}	28,1	9,2	^{ab}	488	^a	66,6	0,048
Tuorekomposti 40	0,163	46,9	25,4	11,3	^{bc}	28,4	7,3	^c	345	^c	68,7	0,038
Rae 5	0,170	48,7	25,8	11,8	^{ab}	29,2	6,6	^c	372	^{bc}	69,3	0,043
Rae 5 N50	0,163	51,4	25,8	12,9	^a	28,7	6,0	^c	413	^{abc}	69,1	0,041
Rae 10	0,158	54,7	26,3	12,8	^a	29,8	7,0	^c	431	^{ab}	71,4	0,053
	n.s.	n.s.	n.s.		F=4,6, p=0,0003	n.s.	F=17,3, p<0,0001		F=2,3, p=0,03	n.s.	n.s.	

Mäkelä-Kurtto ym. (2007a) ovat aiemmin esittäneet seuraavat keskimääräiset hivenaineiden/metallien pitoisuudet suomalaisessa viljelymaassa: Cu 21 mg kg⁻¹ dm, Zn 55 mg kg⁻¹ dm, Cr 29 mg kg⁻¹ dm, Ni 14 mg kg⁻¹ dm, Cd 0,18 mg kg⁻¹ dm, Pb 9,7 mg kg⁻¹ dm, Hg 0,05 mg kg⁻¹ dm and As 4,1 mg kg⁻¹ dm. Tämän tutkimuksen ensimmäisessä ohrakokeessa maan metallipitoisuudet olivat perustasoltaan hieman korkeammat kuin aiemmat suomalaisen viljelymaan keskimääräiset pitoisuudet. Vuosi lannoitevalmisteiden käytön jälkeen maiden Cd- ja Hg -pitoisuus oli alhaisempi, kun taas Cu-, Cr-, Ni-, Pb-, Zn- ja As -pitoisuus oli hieman korkeampi kuin keskimääräisessä suomalaisessa viljelymaassa.

3.2.6 Typen käytön tehokkuus

Ohran tuottama typpisato oli jälkivaikutuskokeen ensimmäisenä vuotena 2008 korkeimmillaan mineraalikontrolleilla N100 ja N50 sekä niiden lisäksi maltillisten typpilisätyjen raelannoituksen ja tuorekompostilannoituksen jälkeen (Taulukko 12). Näillä käsittelyillä samana vuonna annettu lannoitus johti yli 70 kg:n jyvän typpisatoon. Suurimmat 40 m³/ha kompostilannoitukset tuottivat saman syksyn jyvän typpisatona vain samantasoisien tuloksen kuin lannoittamaton ohra.

Typpisadon lisäys eli lannoitetun typpisadon muutos lannoittamattoman jyvän typpisatoon verrattuna vuonna 2008 erosi käsittelyjen välillä samaan tapaan kuin jyvän typpisato. Suurin muutos oli typpitäydennetyllä 5 m³/ha raelannoituksella ja N100-mineraalikontrolleilla, molemmilla yli 14 kg:n typpisadon kasvu (Taulukko 12). Toisaalta tilastollisesti merkitseviä eroja oli typpisatolisäyksen parivertailuissa kuitenkin lannoituskäsittelyjen välillä selkeästi vähemmän kuin totaalityppisadon kohdalla.

Typen käytön tehokkuus eli jyvässä korjatun typpisadon suhde lannoituksessa lisättyyn kokonaistyyppimäärään oli N50-mineraalikontrolleilla korkeampi kuin muilla lannoituskäsittelyillä ensimmäisen vuoden aikana (Taulukko 12). Tuorekompostilannoitus 20 m³/ha saavutti likimain saman typen käytön tehokkuuden (63 %) kuin N100-mineraalikontrolleilla (72 %) ja seuraavaksi korkein taso (57–60 %) havaittiin maanparannuskompostin ja rakeen pienillä käyttömäärillä (20 m³/ha ja 5 m³/ha, vastaavasti). Typen käytön tehokkuus oli odotusten mukaisesti heikointa suurimmilla orgaanisen lannoituksen tasoilla (komposteja 40 m³/ha tai raetta 10 m³/ha), joilla kaikilla lannoitteissa lisätyn kokonaistypen käytön tehokkuus oli ensimmäisen vuoden aikana alle 30 %. Näissä kolmessa tapauksessa oli lannoituskäsittelyssä lisätyn kokonaistypen määrä yli 200 kg/ha, josta levityshetkellä keväällä oli liukoista typpeä korkeintaan 15 %.

Käytetyn lannoitetypen hyväksikäyttöaste, eli lannoituksella saadun typpisadon lisäyksen suhde lisättyyn kokonaistyyppimäärään, oli korkeimmillaan N50-mineraalikontrolleilla, 24 % (Taulukko 12). Ainoastaan typpitäydennetyllä 5 m³/ha raelannoituskäsittelylle mitattiin 10 % hyväksikäyttöaste, kun taas kaikilla muilla orgaanisilla lannoituskäsittelyillä kokonaistypen hyväksikäyttöaste jäi alle 10 prosentin. Tilastollisissa parivertailuissa hyväksikäyttöaste oli kuitenkin merkitsevästi N100-kontrollia alhaisempi vain 40

m³/ha kompostilannoituksilla, joilla myös jyvän typpisato pysytteli samalla tasolla kuin lannoittamattomalla ohralla.

Toisen vuoden typen käyttöä tarkastellaan tässä vain jyvän typpisadon ja typpisadon lisäyksen perusteella, koska orgaanisen lannoituskäsittelyn ruuduille ei annettu vuonna 2009 vuotuislannoitusta (Taulukko 12). Jyvän typpisato oli mineraalikontrollilannoituksen saaneella ohralla merkitsevästi muita korkeampi, eikä mikään orgaanisen lannoituksen käsittely tuottanut merkitsevästi lannoittamatonta ohraa suurempaa typpisatoa. Näin ollen myös typpisadon lisäys oli orgaanista lannoitetta saaneilla ohraruuduilla hyvin pieni.

Jälkivaikutuskokeen typen käytön tehokkuutta tarkasteltiin yli kahden vuoden tulosten, tarkastelemalla kahden vuoden jyväsatoa sekä jyvän typpisadon yhteissummaa ja sen perusteella laskettuja typen tehokkuuslukuja (Taulukko 12). Kahden vuoden kumulatiivinen ohran jyväsato poikkesi lannoituskäsittelyjen välillä samaan tapaan kuin ensimmäisen vuoden jyvän typpisato. Mineraalikontrollien kumulatiivinen jyväsato oli yli 10000 kg ka/ha. Seuraavaksi suurimman kumulatiivisen sadon tuottivat raelannoitukset ja typpitäydennetty 20 m³/ha tuorekompostia, sadon vaihdellessa välillä 9500–9800 kg ka/ha. Mikään alle 10000 kilon satotuloksista ei kuitenkaan poikennut merkitsevästi lannoittamattoman ohran tuottamasta kumulatiivisesta jyväsadosta.

Kumulatiivinen jyvän typpisato oli korkein N100- ja N50-lannoituskontrolleilla (198 ja 166 kg N/ha) ja kaikilla muilla lannoituskäsittelyillä typpisato oli merkitsevästi lannoituskontrollien satoja alhaisempi. Kymmenen kuution raelannoitus ja typpitäydennetty viiden kuution raelannoitus tuottivat lannoittamatonta ohraa suuremman kumulatiivisen typpisadon, mutta muilla lannoituksilla typpisato ei poikennut lannoittamattomasta kontrollista. Lannoituksen tuottama typpisadon lisäys oli kaikilla orgaanisen lannoituksen käsittelyillä merkitsevästi alhaisempi kuin mineraalikontrolleilla. Tilanne oli sama myös kokonaistypen hyväksikäytön suhteen. Kumulatiivisissa typen käytön tarkasteluissa mineraalikontrollien jälkeen seuraavaksi korkein lukema oli yleensä typpitäydennetyllä 5 m³/ha raelannoituksella. Typen käytön tehokkuuslukema oli kuitenkin lähinnä mineraalikontrolleja maanparannuskompostin 20 m³/ha lannoituksella, ja myös 5 m³/ha raelannoituksella typen käytön tehokkuus oli yli 100 %. Mikäli typen käytön tehokkuuslukema on yli 100 prosenttia, on kasvuston tuottama typpisato suurempi kuin viljelymaahan lisätty lannoitevalmisteiden kokonaistypin määrä.

Taulukko 12. Typen käytön tehokkuus ensimmäisellä ohrakokeella vuonna 2008 ja 2009 ohranjyvän typpisadon perusteella tarkasteltuna. Oljen typpisato ei ole tässä tarkastelussa mukana. Tulossarakkeessa esitetään erojen tilastollinen merkitsevyys ja toisistaan merkitsevästi eroavat tulokset on esitetty eri kirjaimin.

	2008						2009			
	Lisätty N kg/ha		Jyvän N sato kg N/ha	N-sadon lisäys ⁽¹⁾ kg N/ha	N käytön tehokkuus ⁽²⁾ %	Kokonais-N hyväksikäyttö ⁽³⁾ %	Lisätty N		N sato	N-sadon lisäys ⁽¹⁾
	Total	Ino.					Total	Ino.	kg N/ha	kg N/ha
0-kontrolli	0	.	58 ^b	.	.	.	0	.	63 ^{cd}	.
N50	50	50	70 ^a	12,0 ^{abc}	140 ^a	24 ^a	50	50	96 ^b	33,1 ^b
N100	100	100	72 ^a	14,4 ^{ab}	72 ^b	14 ^b	100	100	126 ^a	63,0 ^a
Rae 5	120	10	68 ^{ab}	10,3 ^{abc}	57 ^c	9 ^{bc}			65 ^{cd}	2,4 ^c
Rae 5 N50	170	60	74 ^a	16,5 ^a	44 ^d	10 ^b			68 ^{cd}	5,6 ^c
Rae 10	240	19	67 ^{ab}	9,5 ^{abc}	28 ^e	4 ^{bc}			71 ^c	8,3 ^c
Komposti 20	110	14	66 ^{ab}	8,1 ^{abcd}	60 ^c	7 ^b			63 ^{cd}	-0,1 ^c
Komposti 20 N50	160	64	63 ^b	4,7 ^{bcd}	39 ^d	3 ^{bc}			59 ^d	-4,0 ^c
Komposti 40	220	28	61 ^b	3,0 ^{cd}	28 ^e	1 ^c			62 ^{cd}	-1,0 ^c
Tuorekomposti 20	102	15	64 ^{ab}	6,2 ^{abcd}	63 ^{bc}	6 ^b			.	.
Tuorekomp 20 N50	152	63	71 ^a	13,2 ^{abc}	47 ^d	9 ^b			.	.
Tuorekomposti 40	204	30	56 ^b	-1,6 ^d	28 ^e	-1 ^c			.	.
			F=2,5, p=0,02	F=2,2, p<0,05	F=96,1, p<0,001	F=6,0, p<0,001			F=34,7, p<0,001	F=36,9, p<0,001

	Kumulatiivinen 2008-2009				
	Jyvänsato	Jyvän N sato	N-sadon lisäys ⁽¹⁾	N käytön tehokkuus ⁽²⁾	Kokonais-N hyväksikäyttö ⁽³⁾
	kg dm/ha	kg N/ha	kg N/ha	%	%
0-kontrolli	9181 ^{bc}	121 ^d	.	.	.
N50	10427 ^a	166 ^b	45 ^b	166 ^a	45 ^a
N100	10694 ^a	198 ^a	77 ^a	99 ^c	39 ^a
Rae 5	9473 ^b	133 ^{cd}	13 ^{cd}	111 ^{bc}	11 ^{bc}
Rae 5 N50	9760 ^b	143 ^c	22 ^c	84 ^d	13 ^b
Rae 10	9692 ^b	138 ^c	18 ^{cd}	58 ^e	7 ^{bc}
Komposti 20	9120 ^{bc}	129 ^{cd}	8 ^{cd}	117 ^b	7 ^{bc}
Komposti 20 N50	8398 ^c	121 ^d	1 ^d	76 ^d	0 ^c
Komposti 40	8797 ^c	123 ^d	2 ^d	56 ^e	1 ^c
Tuorekomposti 20	9156 ^{bc}	.	.	.	.
Tuorekomp 20 N50	9453 ^b	.	.	.	.
Tuorekomposti 40	8870 ^{bc}	.	.	.	.
	F=4,1, p<0,001	F=21,1, p<0,001	F=20,1, p<0,001	F=50,3, p<0,001	F=17,6, p<0,001

⁽¹⁾ N-sadon lisäys = Lannoitettu N sato - Lannoittamaton N sato

⁽²⁾ Typen käytön tehokkuus = (Typpisato "output" / Lisätty kokonais-N "input") × 100

⁽³⁾ Kokonaistypen hyväksikäyttöaste = ((Lannoitettu N sato - Lannoittamaton N sato) / Lisätty kokonais-N) × 100

3.3 Rypsikoe

Rypsikoe perustettiin vuonna 2008 samalla tavalla kuin ohrakoe. Rypsikoe kylvettiin 30.5. ja korjattiin hyvin myöhään 15.10. Rypsikokeessa lannoituksen vaikutus satoon jäi kokonaisuudessaan vähäiseksi. Väkilannoitus ei kokeessa lisännyt satoa, vaan tällä kertaa vaikutti jopa päinvastoin (Taulukko 13). Syinä tähän ovat sateinen kasvukausi, joka irrotti maasta luontaista typpeä kasvien käyttöön. Kasvukausi oli erityisesti loppuosaltaan selvästi viileämpi kuin 2000-luvulla on totuttu. Myöhäisen rypsin kasvu jäi kesken ja sadonmuodostus ei ehtinyt loppuun saakka. Satonäytteiden alkuainepitoisuuksissa ei ollut eroja lannoituskäsittelyjen välillä (Taulukko 14). Kokeesta ei juurikaan saada tietoa orgaanisten lannoitevalmisteiden vaikutuksesta rypsin viljelyssä.

Taulukko 13. Rypsin sato, lehtivihreä, tuhannen jyvän paino ja klorofyllimäärä vuonna 2008. (n.s. = ei tilastollisesti merkitseviä eroja)

	Sato kg ka/ha	Lehtivihreä 30.07.08 Spad	Tuhannen jyvän paino g	Klorofylli mg/kg
0-kontrolli	2058	35,8	2,85	44,0
N50	1798	35,7	2,77	43,7
N100	1835	37,4	2,81	44,0
Rae 5	2056	37,1	2,79	44,1
Rae 5 N50	1771	38,3	2,78	43,7
Rae 10	1835	35,8	2,77	43,5
Komposti 20	1952	35,6	2,75	44,3
Komposti 20 N50	1948	39,1	2,78	44,3
Komposti 40	2088	36,2	2,83	44,2
Tuorekomposti 20	1995	33,1	2,83	45,0
Tuorekomposti 20 N50	1873	35,9	2,82	44,0
Tuorekomposti 40	1995	34,2	2,77	44,3
	n.s. (p=0,06)	n.s.	n.s.	n.s.

Taulukko 14. Rypsinäytteen alkuaeinepitoisuudet vuonna 2008. (n.s. = ei tilastollisesti merkitseviä eroja)

	Valkuaisaine % ka	P g/kg ka	K g/kg ka	Ca	Mg	S	Cu	Zn	Fe	Mn	Cd	Pb	As	Hg
		mg/kg ka												
		µg/kg ka												
0-kontrolli	21,7	9,29	9,38	6,36	3,65	3,35	3,58	37,3	91	36,4	87	24,3	14,7	<10
N50	21,9	9,29	9,48	6,31	3,65	3,32	3,58	36,3	66	32,7	97	11,0	10,0	<10
N100	22,2	9,21	9,35	6,20	3,69	3,41	3,58	37,7	67	35,3	90	9,3	9,6	<10
Rae 5	21,6	9,24	9,46	6,40	3,61	3,30	3,51	36,0	89	36,6	89	33,3	20,7	<10
Rae 5 N50	22,1	9,22	9,42	6,30	3,68	3,49	3,70	38,7	144	36,0	90	30,3	24,0	<10
Rae 10	22,5	9,26	9,14	6,29	3,67	3,57	3,78	39,7	184	36,6	101	57,3	35,7	28
Komposti 20	21,8	9,38	9,38	6,40	3,72	3,45	3,53	37,3	72	35,0	87	12,0	11,7	<10
Komposti 20 N50	22,2	9,46	9,44	6,42	3,73	3,49	3,67	39,3	69	33,1	91	12,3	10,7	<10
Komposti 40	21,9	9,31	9,41	6,39	3,70	3,43	3,59	37,3	100	35,2	92	14,3	12,7	<10
Tuorekomposti 20	21,1	9,18	9,26	6,34	3,60	3,19	3,39	35,0	68	33,3	84	13,0	11,0	<10
Tuorekomposti 20 N50	21,8	9,18	9,34	6,34	3,62	3,31	3,60	36,7	105	37,6	88	68,0	32,0	<10
Tuorekomposti 40	21,5	9,23	9,37	6,32	3,66	3,32	3,49	36,3	74	33,6	81	19,0	12,7	<10
	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	N.d.

(p=0,06)

N.d. = Tilastotarkastelua ei tehty, koska tulos vain yhdestä kerranteesta

3.4 Nurmikon perustamiskoe

3.4.1 Lannoituskäsittelyissä lisätyt määrät

Lannoitevalmisteasetuksessa (MMMa 12/2007) rajataan maisemoinnin ja viherrakentamisen suurin sallittu kadmiumkuormitus enintään 15 grammaan hehtaarille 10 vuoden ajanjaksolle annettuna. Kadmiumrajoitus ei kuitenkaan koske tyyppinimiryhmää maanparannusaineet eikä tyyppinimiryhmää kasvualustat. Kun lannoitevalmistetta käytetään viherrakentamisessa tai maisemoinnissa alueilla, joilla valumavesillä on pääsy pinta- tai pohjavesiin, saa hehtaarille lisätä vesiliukoista typpeä korkeintaan 1250 kg viiden vuoden käyttöjaksolle. Vastaavasti liukoista fosforia saa lisätä enintään 750 kg hehtaarille.

Kokeilla käytettyjen lannoitevalmisteiden analyysitulokset esitetään kootusti aiemmin esitetystä taulukoissa 2-3. Nurmikon perustamiskokeella toteutuneet lisätyt ravinne- ja metallimäärät on laskettu noiden lannoitevalmisteiden pitoisuuksien ja tuotteiden annostelun perusteella (Taulukot 15 ja 16). Nurmikko-

ruudut lannoitettiin 4.6. kevään maanäytteenoton ja ensimmäisten havaintojen jälkeen, sekä 6.8. yhdeksännen havaintokerran ja kesän maanäytteenoton jälkeen. Raekäsittelylle lisättiin toisen vuoden kasvulannoituksissa pellettejä 0,2 litraa neliölle ja muille lannoitetuille nurmille käytettiin väkilannoitetta samalla tasolla kuin normaalikontrollin lannoituksessa.

Taulukko 15. Nurmikon perustamiskokeella orgaanisissa lannoitevalmisteissa ja täydennyslannoitteissa kasvualustaan lisätty ravinteiden määrä. Vuoden 2009 lannoituksiin käytettiin raekäsittelyruuduille raetuetta ja kompostikäsitellyruuduille käytettiin nurmikon normaalia kasvulannoitusta (kloorivapaa Y-lannos).

	Lannoitteissa tuodut ravinteet (kg/ha)																
	28.7.2008								4.6.2009			6.8.2009			Yht v. 2009		
	N		P			K			Kokonais-			Kokonais-			Kokonais-		
	Kok	Vesil	Kok	Liuk	Vesil	Kok	Liuk	N	P	K	N	P	K	N	P	K	
Lannoitettu	39	0	12	0	0	45	0	39	12	45	39	12	45	78	24	90	
0-kontrolli ⁽¹⁾	39	0	12	0	0	45	0										
Komposti 10	550	68	640	13	1,9	150	100	39	12	45	39	12	45	78	24	90	
Komposti 50	2750	341	3200	65	9,5	750	500	39	12	45	39	12	45	78	24	90	
Rae 2	480	38	660	12	0,6	34	17	54	51	3,3	54	51	3,3	108	102	7	
Rae 10	2400	191	3300	60	3,2	170	83	54	51	3,3	54	51	3,3	108	102	7	

⁽¹⁾ 0-kontrolli sai perustamisvuoden 2008 aikana samat ravinteet kuin lannoitettu kontrolli

Taulukko 16. Nurmikon perustamiskokeella orgaanisissa lannoitevalmisteissa kasvualustaan lisätty metallien määrä (g/ha). Vuonna 2009 nurmikko lannoitettiin kaksi kertaa; raekäsittelylle käytettiin raetuetta ja kompostikäsitellyille käytettiin samaa lannoitelisäystä kuin normaalilannoitetulle nurmikolle (kloorivapaa Y-lannos).

	Nurmikon perustaminen 28.7.2008								Vuoden 2009 lisäykset (yht. 2 lannoitusta)							
	Kokonaismäärät (AR-uutto)								Kokonaismäärät (AR-uutto)							
	Cd	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	Hg	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	Hg	As
Lannoitettu ⁽¹⁾																
0-kontrolli ⁽²⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0
Komposti 10 ⁽¹⁾	23	2200	5100	980	930	16000	18	160								
Komposti 50 ⁽¹⁾	115	11000	25500	4900	4650	80000	90	800								
Rae 2	13,6	4000	5200	142	600	8800	7,4	320	5	860	880	39	122	1560	2	46
Rae 10	68	20000	26000	710	3000	44000	37	1600	5	860	880	39	122	1560	2	46
	Liukoiset määrät (HAAc-EDTA-uutto)								Liukoiset määrät (HAAc-EDTA-uutto)							
	Cd	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	Hg	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	Hg	As
	Lannoitettu ⁽¹⁾															
0-kontrolli ⁽²⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0
Komposti 10 ⁽¹⁾	9	40	2200	390	140	7900	1	30								
Komposti 50 ⁽¹⁾	45	200	11000	1950	700	39500	5	150								
Rae 2	2,8	34	480	40	22	1180	1,6	12	0,03	0,6	3,88	0,64	0,4	16	0,01	0,2
Rae 10	14	170	2400	200	110	5900	8	60	0,03	0,6	3,88	0,64	0,4	16	0,01	0,2

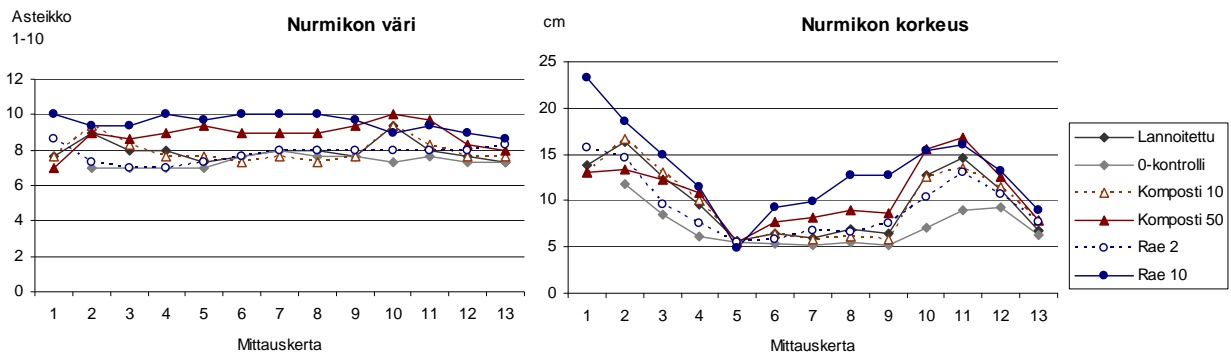
⁽¹⁾ Kloorivapaan Y-lannoksen raskasmetallipitoisuuksia ei ole tiedossa, joten sen aiheuttamia lisäyksiä ei voida laskea.

⁽²⁾ Lannoitettu kontrolli jaettiin kahteen osioon keväällä 2009, ensimmäisen havainnoinnin jälkeen. Vuoden 2008 aikana normaali-kontrollissa oli vain lannoitettu käsittely.

3.4.2 Nurmikkokasvuston kehitys

Nurmikon väri- ja pituushavainnot tehtiin ennen jokaista nurmikon leikkuukertaa, 1-2 viikon välein. Nurmikonleikkuut tehtiin keräävällä ruohonleikkurilla. Ensimmäinen havaintokerta oli 28.5. ja viimeinen 25.9., ja nurmikon puhdistusniitto tehtiin 30.10. Silmämääräisesti arvioiden tehty nurmikon värin luokittelu eli nurmikon vihreys oli lähes aina suurin Rae 10 -käsittelyllä (Kuva 4). Lähinnä sitä oli maanparannuskompostin suurin taso (Komposti 50). Muutamaa ensimmäistä havaintokertaa lukuun ottamatta molempien lannoitevalmisteiden pienemmät käyttömäärät olivat nurmikon vihreyden osalta samalla tasolla kuin lannoitettu ja lannoittamaton kontrolli. Nurmikkokasvusto oli keväällä selvästi korkein Rae 10 -käsittelyllä. Ero tasaantui kauden edetessä, ja heinäkuun alussa (5. mittaus) korkeus oli sama kaikissa käsittelyruuduissa. Heinä-elokuun vaihteessa (mittaukset 8-9) suurin pellettimäärä tuotti taas korkeamman nurmikon kuin muut käsittelyt. Elokuun puolivälistä syyskuun puoliväliin (mittaukset 10-12) nurmikon leikkuuväli oli lähes kaksi viikkoa, mikä selittää kaikilla käsittelyillä havaitun korkeuden kasvun.

Siitä huolimatta, lannoittamattoman nurmikon ja muiden käsittelyjen välillä oli selvä kasvuston korkeuden ero.



Kuva 4. Nurmikon perustamiskokeessa mitattu kasvuston korkeus ja nurmikon silmämääräinen väriarvio. Havainnot tehtiin ennen jokaista nurmikonleikkausta.

3.4.3 Maan ravinteet ja hivenaineet

Syksyllä 2008 otettiin heinäkuussa perustetun uuden nurmikon alta kasvualustanäytteet, joista määritettiin typen ja viljavuusravinteiden pitoisuudet (Taulukko 17). Kaksi kuukautta nurmikon perustamisen jälkeen syksyllä suuremmalla raemäärällä ja suuremmalla kompostimäärällä perustetun nurmikon kasvualustassa oli korkein maan kokonaistypen pitoisuus ja normaalisti lannoitettu nurmikko oli samalla tasolla. Pienimmällä raemäärällä kasvualustan kokonaistypin määrä oli puolestaan selvästi muita pienempi. Samana ajankohtana liukoisen typen määrä pienemmällä kompostimäärällä perustetun nurmikon kasvualustassa oli huomattavasti muita korkeampi. Maanparannuskompostikäsitteilyn pienemmällä tasolla havaittu 28,3 mg/litra maata vastaa noin 55 kg liukoista typpeä hehtaarilla. Seuraavaksi suurin normaalilannoitetulla nurmikolla mitattu liukoisen typen määrä vastaa noin 16 kg liukoista typpeä hehtaarilla.

Viljavuusravinteista havaittiin ensimmäisenä syksynä käsittelyjen välisiä eroja vain kalsiumin ja rikin pitoisuuksissa (Taulukko 17). Suurin raekäsittely aiheutti selvästi suurimmat pitoisuudet sekä kalsiumin että rikin osalta. Pienemmällä raemäärällä perustetun nurmikon kasvualustassa viljavuusrikin pitoisuus oli myös merkittävästi korkeampi kuin mitä kompostituotteella perustetussa nurmikon kasvualustassa mitattiin. Suurella raemäärällä kasvualustan johtoluku poikkesi myös huomattavan paljon muista nurmikon perustamislannoituksen tavoista.

Taulukko 17. Nurmikon perustamiskokeen kasvualustan typen ja viljavuusravinteiden pitoisuudet perustamisvuoden syksyllä vuonna 2008. Tulossarakkeessa esitetään erojen tilastollinen merkitsevyys ja toisistaan merkitsevästi eroavat tulokset on esitetty eri kirjaimin. (n.s. = ei eroja lannoitusten välillä)

	kokN %	liukN mg/l	P	K	Ca mg/l	Mg	S	pH	jL
Lannoitettu	0,31 ^{ab}	8,0 ^b	37	243	2200 ^b	277	14 ^c	6.6	1,3 ^c
Komposti 10	0,30 ^{bc}	28,3 ^a	35	207	2067 ^b	267	14 ^c	6.8	1,3 ^c
Komposti 50	0,32 ^{ab}	2,5 ^b	39	260	2400 ^b	270	25 ^{bc}	6.8	1,8 ^b
Rae 2	0,27 ^c	4,1 ^b	36	210	2367 ^b	280	33 ^b	6.7	1,8 ^b
Rae 10	0,34 ^a	3,2 ^b	45	217	3133 ^a	263	135 ^a	6.5	4,9 ^a
	F=5,2, p=0,02	F=27,9, p<0,001	n.s.	n.s.	F=4,2, p=0,04	n.s.	F=349, p<0,001	n.s.	F=110, p<0,001

Vuonna 2009 perustamislannoitetun nurmikon kasvualustasta mitattiin maan liukaisen typen (ammonium- ja nitraattityppi) pitoisuus keväällä (22.5.), elokuun alussa (6.8.) ja lokakuussa (22.10.) otetuista pintamaan näytteistä. Toukokuun lopussa ammoniumtypen pitoisuus oli suurinta kasvualustassa, johon oli käytetty maanparannuskompostin suurempi määrä, 50 litraa/m² (Taulukko 18). Tämä ammoniumpitoisuus (6,9 mg/litra tuoretta maata) vastaa pintamaan sisältämänä ammoniumtypen määränä enintään 14 kg / ha. Elokuun alussa ja lokakuussa maan ammoniumpitoisuus oli suurinta maanparannuskompostin ja rakeen suuremmilla käyttömäärillä. Suuri raemäärä lisäsi keväällä mitattua ammoniumin ja nitraatin pitoisuutta maassa. Nämä ammoniumin ja nitraatin pitoisuudet vastaavat yhteensä enintään 18 kg:n liukaisen typen määrää hehtaarilla pintamaata.

Viherympäristöliiton kasvualustatyöryhmän suosituksissa (Sirviö 2009) kasvualustan ohjearvoiksi on asetettu nurmikon kasvualustan liukaisen typen ohjearvoksi 35 – 100 mg/litra ja tavoitearvoksi 50 mg/litra. Tässä kokeessa liukaisen typen yhteissumma oli kussakin kesän 2009 näytteenotossa alle 10 mg/litra, joten liukaisen typen määrä oli nurmikon yleiseen typen tarpeeseen nähden varsin matala.

Taulukko 18. Nurmikon perustamiskokeen kasvualustan typen ja viljavuusravinteiden pitoisuudet vuonna 2009 kevään, kesän ja syksyn näytteenotossa. Tulossarakkeessa esitetään erojen tilastollinen merkitsevyys ja toisistaan merkitsevästi eroavat tulokset on esitetty eri kirjaimin. (n.s. = ei eroja lannoitusten välillä)

	Ammonium-N (mg/kg DM)			Nitraatti-N (mg/kg DM)			Liukoinen N (mg/kg DM)			pH		Johtoluku (10 ⁻⁴ S/cm)			
	keväät	kesä	syksy	keväät	kesä	syksy	keväät	kesä	syksy	keväät	kesä	syksy	keväät	kesä	syksy
0-kontrolli	-	4,1 ^b	3,3	-	1,6	2,3	-	5,7 ^b	5,6	-	6,36	6,45	-	1,3 ^c	1,3 ^c
Lannoitettu	4,1 ^b	3,7 ^b	4,5	1,7 ^b	1,6	2,7	5,9 ^b	5,3 ^b	7,2	6,56	6,38	6,49	1,1 ^c	1,5 ^{bc}	1,7 ^{bc}
Komp. 10	3,9 ^b	3,8 ^b	3,8	1,4 ^b	1,3	2,0	5,2 ^b	5,1 ^b	5,8	6,74	6,46	6,49	1,2 ^{bc}	1,9 ^b	1,7 ^{bc}
Komp. 50	8,0 ^a	6,6 ^a	5,3	2,3 ^b	1,7	2,5	10 ^a	8,3 ^a	7,8	6,73	6,49	6,64	1,4 ^{bc}	2,2 ^b	1,9 ^b
Rae 2	4,3 ^b	4,5 ^b	3,8	1,5 ^b	1,6	2,1	5,8 ^b	6,1 ^b	5,9	6,62	6,49	6,56	1,4 ^b	1,9 ^b	1,8 ^b
Rae 10	6,8 ^a	5,9 ^a	5,9	4,1 ^a	2,5	2,5	11 ^a	8,4 ^a	8,4	6,55	6,51	6,54	2,4 ^a	3,7 ^a	2,6 ^a
	F=8,6, p=0,005	F=5,7, p=0,009	n.s. (p=0,09)	F=11,9, p=0,002	n.s.	n.s.	F=14,6, p=0,001	F=4,2, p=0,03	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	F=38,0, p<0,0001	F=42,0, p<0,0001	F=8,2, p=0,003

Viljavuusravinteet (mg/kg kuivaa maata)

	Fosfori			Kalium			Magnesium			Kalsium			Rikki		
	kev	kes	syk	kev	kes	syk	kev	kes	syk	kev	kes	syk	kev	kes	syk
0-kontrolli	-	39,4	42,7	-	344	303	-	345	363	-	2529	2681	-	18 ^c	16 ^c
Lannoitettu	37,5 ^c	46,3	48,4	324	319	334	342	325	355	2678 ^b	2766 ^b	3131 ^b	14 ^b	27 ^c	34 ^b
Komp 10	35,7 ^c	42,5	43,7	254	299	281	333	350	352	2653 ^b	2719 ^b	2645 ^b	20 ^b	37 ^b	25 ^{bc}
Komp. 50	47,2 ^{ab}	57,2	48,7	374	421	353	355	366	364	3021 ^b	3132 ^b	3063 ^b	24 ^b	48 ^b	38 ^b
Rae 2	41,1 ^{bc}	40,3	43,2	251	244	235	318	323	336	2806 ^b	2764 ^b	2903 ^b	25 ^b	47 ^b	34 ^b
Rae 10	53,3 ^a	53,7	56,7	277	273	240	306	316	313	3827 ^a	4191 ^a	4092 ^a	72 ^a	122 ^a	75 ^a
	F=8,6, p=0,005	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	F=14,7, p<0,001	F=7,8, p=0,003	F=4,0, p=0,03	F=28, p<0,0001	F=73, p<0,001	F=14,4, p=0,001

Viherympäristöliiton kasvualustasuosituksessa nurmikon pH:n suositeltava ohjearvo on 5,5–7,0, ja tavoitearvo 6,0. Viheralueiden kasvualustan johtoluku vaihtelee ensimmäisen vuoden aikana yleisesti välillä 3–12 ja ensimmäisen kasvukauden jälkeen johtoluku yleensä asettuu tasolle 2–5 (Sirviö 2009). Nurmikon kasvualustasuosituksessa johtoluvun ohjearvo on 3–6 ja tavoitearvo 4. Yleiseen tasoon verrattuna tällä kokeella mitatut kasvualustan johtoluvut olivat verraten matalia.

Kasvualustan fosforipitoisuus oli keväällä 2009 korkeimmillaan suurimmalla 10 litraa/m² raemäärällä perustetussa nurmikossa (Taulukko 18). Myös nurmikon perustamisessa käytetty pienempi raemäärä ja suurempi kompostimäärä lisäsivät seuraavana keväänä kasvualustan fosforipitoisuutta normaalia kasvualustaa suuremmaksi. Viherympäristöliiton kasvualustasuositus nurmikoille määrittää kasvualustan fosforipitoisuuden ohjearvoksi 10–30 mg/l (tavoitearvo 15). Kokeella mitatut tuoreaineen fosforipitoisuudet olivat välillä 35–52 mg/l, joten pitoisuudet olivat kaikilla käsittelyillä läpi kesän ohjearvoa suuremmat.

Kaliumin tai magnesiumin pitoisuus ei poikennut lannoitevalmisteiden käyttömäärien välillä (Taulukko 18). VYL:n suosittama kaliumpitoisuus nurmikon kasvualustassa on 150–300 mg/l (tavoitearvo 200) ja magnesiumin suositus 150–400 mg/l (tavoitearvo 200). Kokeen nurmikkokasvualustassa kaliumin pitoisuus vaihteli välillä 220–366 mg/l, mikä osittain ylitti ohjeellisen pitoisuusalueen. Magnesiumin pitoisuus puolestaan pysyi VYL:n suosituksen rajoissa, vaihdellen välillä 284–332 mg/l. Myös kokeella mitatut kalsiumin (2300–3900 mg/l) ja rikin pitoisuudet (13–113 mg/l) nurmikkokasvualustassa olivat käytännössä suositeltujen pitoisuuksien rajoissa (1900–3800 mg Ca/l, tavoite 2500, ja 10–200 mg S/l, tavoite 30). Sekä kalsiumin että rikin kohdalla havaittiin merkitsevä muutos lannoitevalmisteiden käyttömäärien välillä, sillä suurella raemäärällä perustetussa nurmikossa pitoisuudet nousivat merkitsevästi muita korkeammiksi kaikkina ajankohtina. Kesän ja syksyn näytteenotoissa rikin pitoisuus oli myös muilla orgaanista lannoitevalmistetta sisältävillä nurmikkokasvualustoilla korkeampi kuin lannoittamattomalla kontrollinurmikolla (Taulukko 18).

Hivenalkuaineiden/metallien pitoisuus määritettiin syksyllä 2009 nurmikkokokeelta otetuista kasvualustanäytteistä. Korkeimmat hapan ammoniumasetaatti-EDTA –uuttoon (HAAc-EDTA) liunneen kromin, kuparin, sinkin ja raudan pitoisuudet mitattiin suurimman raemäärän nurmikkoruuduilta, mutta myös muilla orgaanisen lannoitevalmisteen nurmikkoruuduilla oli korkeampia pitoisuuksia kuin normaalikontrollilla (Taulukko 19). Raudan liukoinen pitoisuus oli kaikilla orgaanisilla valmisteilla perustetuilla ruuduilla kontrollikäsitteilyä suurempi. Kasvualustasta määritetyt kromin ja kuparin kokonaispitoisuudet olivat myös korkeimmat suurimman raemäärän nurmikkoruuduilla. Korkein lyijyn kokonaispitoisuus oli puolestaan lannoittamattomalla kontrolliruudulla. On kuitenkin huomioitava, että raeruuduille lisättiin pellettejä myös nurmikon perustamisen jälkeen tehdyissä kasvulannoituksissa vuoden 2009 aikana, kun taas kompostiruuduille käytettiin kasvulannoitteena kaupallista mineraalilannoitetta (Kloorivapaa Y). Koska kaupallisen Y-lannoitteen metallipitoisuuksia ei ole tässä tutkimuksessa määritetty, ei kasvulannoituksissa tuotujen lisäysten merkitystä voida perusteellisesti vertailla.

Taulukko 19. Nurmikon perustamiskokeen kasvualustan hivenaineiden/metallien pitoisuudet syksyllä 2009. Tulossarakkeessa esitetään erojen tilastollinen merkitsevyys ja toisistaan merkitsevästi eroavat tulokset on esitetty eri kirjaimin. (n.s. = ei eroja lannoitusten välillä)

Liukoiset pitoisuudet (HAAc-EDTA), mg/kg kuivaa maata										
	Cd	Cr	Ni	Pb	Cu	Mn	Zn	Fe	Al	
0-kontrolli	0,15	0,72 ^{bc}	1,78	5,13	10,8 ^b	75	14,4 ^c	1163 ^c	311	
Lannoitettu	0,15	0,65 ^c	1,88	4,80	11,3 ^b	71	14,0 ^c	1077 ^c	319	
Komposti 10	0,14	0,88 ^b	1,82	5,81	12,2 ^b	83	15,5 ^{bc}	1420 ^b	334	
Komposti 50	0,17	1,11 ^{ab}	1,92	7,08	13,3 ^b	101	22,6 ^{ab}	2200 ^{ab}	379	
Rae 2	0,14	1,15 ^a	1,73	5,61	11,9 ^b	81	13,3 ^c	1796 ^{ab}	336	
Rae 10	0,16	1,31 ^a	1,89	5,77	17,1 ^a	79	25,0 ^a	2235 ^a	347	
	n.s. (p=0,12)	F=4,2, p=0,026	n.s.	n.s. (p=0,09)	F=3,9, p=0,03	n.s.	F=4,1, p=0,03	F=4,0, p=0,03	n.s.	

Kokonaispitoisuudet (AR-uutto), mg/kg kuivaa maata										
	Cd	Cr	Ni	Pb	Cu	Mn	Zn	As	Hg	
0-kontrolli	0,16	38,0 ^b	15,1	12,6 ^a	26,9 ^b	409	90	7,0	0,18	
Lannoitettu	0,17	37,0 ^b	14,3	11,9 ^{abc}	26,8 ^b	402	90	7,4	0,22	
Komposti 10	0,15	37,7 ^b	14,1	11,3 ^c	28,8 ^b	394	88	7,3	0,14	
Komposti 50	0,17	38,7 ^b	14,7	12,3 ^{ab}	31,5 ^b	410	98	7,7	0,15	
Rae 2	0,15	41,0 ^b	14,8	11,3 ^c	27,5 ^b	403	88	7,2	0,15	
Rae 10	0,18	46,4 ^a	15,2	11,5 ^{bc}	38,2 ^a	403	104	7,0	0,30	
	n.s.	F=7,1, p=0,005	n.s.	F=3,8, p=0,03	F=5,3, p=0,01	n.s.	n.s. (p=0,07)	n.s.	n.s.	

3.5 Vanhan nurmikon lannoituskoe

3.5.1 Lannoituskäsittelyissä lisätyt määrät

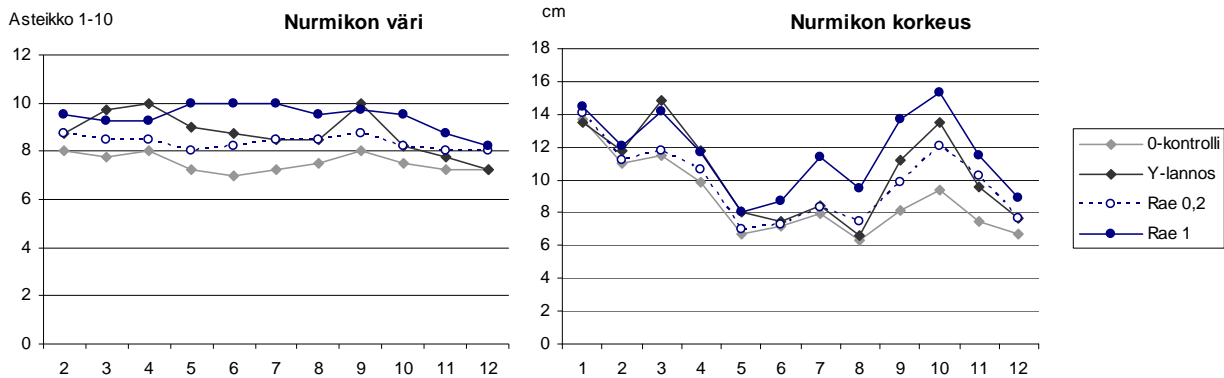
Koe perustettiin vanhalle nurmikkoalueelle tutkimusalueen pihapiiriin vuonna 2008. Koekäsittelyinä oli kaksi Etapin rakeen käyttötasoa, joita verrattiin kaupalliseen lannoitteeseen. Nurmikko lannoitettiin kahdesti kunkin kesän aikana, kesäkuun alussa ja heinäkuun lopussa. Koe niitettiin noin viikon välein 4-5-cm:n korkeuteen, kasvun hidastuessa harvemmin. Ennen niittoja mitattiin kasvuston korkeus ruuduittain ja arvioitiin kasvuston väri ja tiheys. Maanäytteet otettiin ruuduittain keväällä ja syksyllä ja niistä analysoitiin liukoinen tyyppi ja viljavuus, sekä syksyllä raskasmetallit. Vanhan nurmikon lannoituskoeksessa lisätyt ravinteiden ja raskasmetallien määrät esitetään taulukossa 20. Vuotuiset määrät esitetään lannoituskertojen yhteissummoina, laskettuna kyseisen vuoden lannoitevalmistäneiden pitoisuuksien perusteella. Käytettäessä lannoitevalmistetta viherrakentamisessa tai maisemoinnissa alueilla, joilla valumavesillä on pääsy pinta- tai pohjavesiin, saa hehtaarille lisätä vesiliukoista tyyppiä korkeintaan 1250 kg viiden vuoden käyttöjaksolle (MMM 12/2007). Vastaavasti liukoista fosforia saa lisätä enintään 750 kg hehtaarille.

Taulukko 20. Vanhan nurmikon lannoituskoekselle vuosina 2008 ja 2009 lisätyt pääravinteiden ja hivenaineiden/metallien määrät.

		KokN	Liuk N	P	K	Cd	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	Hg	As
		kg/ha				g/ha							
2008	Y-lannos	80	60	18	69	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	Rae 0,2	96	7,6	132	6,8	2,7	800	1040	28	120	1760	1,5	64
	Rae 1	480	38	660	34	13,6	4000	5200	142	600	8800	7,4	320
2009	Y-lannos	80	60	18	69	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	Rae 0,2	108	7,2	102	6,6	4,6	860	880	39	122	1560	1,7	46
	Rae 1	540	36	510	33	23,0	4300	4400	197	610	7800	8,5	230

3.5.2 Nurmikkokasvuston kehitys

Silmämääräisesti arvioiden tehty nurmikon värin luokittelu eli nurmikon vihreys oli lähes aina suurin Rae 1 -käsittelyllä (Kuva 5). Useimmiten lähinnä sitä oli normaalilannoituksen saanut nurmikko. Rakeen pienempi käyttömäärä tuotti hieman tummemman vihreyden kuin lannoittamaton nurmikko ja useimmilla havaintokerroilla se oli lähes samaa tasoa kuin normaalilannoitus. Vanhan nurmikkokasvuston korkeus oli useimmiten suurin Rae 1-lannoituksella, mutta heinäkuun alussa (5. mittaus) korkeus oli sama kaikissa käsittelyryuduissa. Vaikka kahden viikon leikkuuväli selittää elokuun puolivälistä syyskuun puoliväliin (mittaukset 9-11) yleisesti havaitun korkeuden kasvun, oli lannoittamattoman nurmikon ja muiden käsittelyjen välillä selvä kasvuston korkeuden ero.



Kuva 5. Vanhan nurmikon lannoituskokeessa ennen jokaista nurmikonleikkuuta mitattu kasvuston korkeus ja nurmikon silmämääräinen väriarvio vuonna 2009.

3.5.3 Maan ravinteet ja hivenaineet

Nurmikkokokeen ensimmäisen vuoden 2008 syksyllä määritettiin kasvualustan kokonaistypen ja viljavuusravinteiden pitoisuudet. Tuolloin merkittävästi normaalilannoitusta suurempi kokonaistypen, fosforin, kalsiumin ja rikin pitoisuus sekä korkein johtoluku havaittiin suurella 1 l/m² raelannoituksella (Taulukko 21). Seuraavan keväänä vastaava tilastollisesti merkitsevä ero havaittiin edelleen fosforin, kalsiumin ja rikin kohdalla, tosin viljavuusrikin ero oli tilastollisesti merkitsevä vain tuoreainetta kohti mitattuna. Lisäksi maan pH oli keväällä 2009 vanhassa rakeella lannoitetussa nurmikossa korkeampi kuin normaalilannoitetussa nurmikossa. Syksyllä 2009 vanhan nurmikon kasvualustan viljavuusravinteissa havaittiin jälleen fosforin, kalsiumin ja rikin merkittävästi muita käsittelyjä korkeammat pitoisuudet 1 l/m² raelannoituksella. Lisäksi sekä pH ja johtoluku olivat merkittävästi korkeammat suurella pellettilannoituksella. Raelannoituksen pienemmällä 0,2 l/m² määrällä viljavuusravinteiden pitoisuudet olivat kasvualustassa yleensä vähintään samalla tasolla kuin nurmikon normaalilannoituksella.

Viherympäristöliiton kasvualustasuositus nurmikoille määrittää kasvualustan fosforipitoisuuden ohjearvoksi 10–30 mg/l (tavoitearvo 15). Kokeella mitatut tuoreaineen fosforipitoisuus oli korkeimmillaan noin 23 mg/l, joten pitoisuudet olivat kaikilla käsittelyillä ohjearvojen sisällä. VYL:n suosittelema kaliumipitoisuus nurmikon kasvualustassa on 150–300 mg/l (tavoitearvo 200) ja magnesiumin suositus 150–400 mg/l (tavoitearvo 200). Kokeen nurmikkokasvualustassa kaliumin pitoisuus oli korkeimmillaan noin 250 mg/l, eli ohjeellisen pitoisuusalueen sisällä. Myös magnesiumin pitoisuus pysyi VYL:n suosituksen rajoissa, suurimmillaan noin 280 mg/l. Kalsiumin pitoisuus oli korkeimmillaan noin 2150 mg/l ja rikin pitoisuus korkeimmillaan 67 mg/l, eli suositeltujen pitoisuuksien rajoissa (1900–3800 mg Ca/l ja 10–200 mg S/l).

Taulukko 21. Vanhan nurmikon lannoituskokeen kasvualustan typen ja viljavuusravinteiden pitoisuudet vuonna 2008 ja 2009. Tulossarakkeessa esitetään erojen tilastollinen merkitsevyys ja toisistaan merkitsevästi eroavat tulokset on esitetty eri kirjaimin. (n.s. = ei eroja lannoitusten välillä)

Syksy 2008	kokN	P	K	Ca	Mg	S	pH	johto- luku				
									% (ik)	mg/l tuoretta		
0-kontrolli	0,46 ^b	14,8 ^b	193 ^{ab}	1375 ^c	233 ^{ab}	16 ^b	5,53	1,13 ^b				
Y-lannos	0,43 ^b	14,8 ^b	210 ^a	1300 ^c	243 ^a	18 ^b	5,53	1,13 ^b				
Rae 0,2	0,44 ^b	16,0 ^b	205 ^a	1525 ^b	228 ^b	20 ^b	5,65	1,28 ^b				
Rae 1	0,55 ^a	21,0 ^a	178 ^b	1900 ^a	243 ^a	39 ^a	5,65	2,00 ^a				
	F=11,1 p=0,002	F=15,0 p=0,0008	F=7,0 p=0,01	F=42,8 p<0,0001	F=4,3 p=0,04	F=30,1 p<0,0001	n.s.	F=34,7 p<0,0001				

Kevät 2009	AmmN	NitN	LiukN	P	K	Mg	Ca	S	S	pH	johto- luku				
												mg/kg kuivaa maata				mg/l tuore
0-kontrolli	7,43	2,31	9,73	22,0 ^b	323	339,8	2051 ^b	23,9	18,0 ^b	5,50 ^b	1,11				
Y-lannos	11,7	4,37	16	21,4 ^b	328	336,9	1919 ^b	23,2	17,8 ^b	5,53 ^b	1,26				
Rae 0,2	10,2	2,47	12,6	23,0 ^b	328	326,9	2137 ^b	24,9	19,2 ^b	5,65 ^{ab}	1,35				
Rae 1	9,82	2,25	12,1	29,7 ^a	288	325,3	2687 ^a	33,6	25,3 ^a	5,73 ^a	1,42				
	n.s.	n.s.	n.s.	F=11,3 p=0,002	n.s.	n.s.	F=11,5 p=0,002	n.s.	F=6,4 p=0,01	F=5,2 p=0,02	n.s.				

Syksy 2009	AmmN	NitN	LiukN	P	K	Ca	Mg	S	pH	johto- luku				
											mg/kg kuivaa maata			
0-kontrolli	8,0 ^b	1,6 ^b	9,7 ^b	21,6 ^b	256 ^b	2032 ^b	328	22 ^c	5,47 ^b	1,01 ^d				
Y-lannos	8,2 ^b	1,9 ^b	10,0 ^b	22,4 ^b	308 ^a	1985 ^b	365	46 ^b	5,42 ^b	1,43 ^b				
Rae 0,2	9,7 ^{ab}	2,1 ^b	11,7 ^b	22,6 ^b	242 ^b	2148 ^b	323	32 ^c	5,59 ^{ab}	1,24 ^c				
Rae 1	11,7 ^a	3,3 ^a	15,1 ^a	29,1 ^a	228 ^b	2750 ^a	319	86 ^a	5,67 ^a	2,15 ^a				
	F=4,5 p=0,03	F=9,3 p=0,004	F=11,1 p=0,002	F=28,0 p<0,001	F=12,6 p=0,001	F=23,7 p<0,001	n.s.	F=44,7 p<0,001	F=4,0 p=0,04	F=67,3 p<0,001				

Maan liukoisen typen (ammonium- ja nitraattityppi) pitoisuus vanhan nurmikon kasvualustassa mitattiin vuonna 2009 keväällä ja syksyllä otetuista näytteistä. Keväällä ammoniumtypen ja nitraattitypen pitoisuuksissa ei ollut käsittelyjen välisiä merkitseviä eroja (Taulukko 21). Syksyllä 2009 suuren 10 l/m² pellettilannoituksen saaneilla nurmikkoruuduilla oli merkitsevästi muita käsittelyjä korkeampi ammoniumtypen ja nitraattitypen pitoisuus. Tässä kokeessa liukoisen typen yhteissumma oli syksyn 2009 näytteenotossa alle 11 mg/litra, joten liukoisen typen määrä oli kuitenkin syksyllä varsin matala. Kasvukauden lopulla, nurmikon valmistautuessa talveen suositellaan typpilannoituksen lopettamista ja pelkäämään PK-lannoitteen käyttämistä.

Hivenalkuaineiden/metallien pitoisuus määritettiin syksyllä 2009 vanhan nurmikon pellettilannoituskokeelta otetuista kasvualustanäytteistä. Korkeimmat hapen ammoniumasetatti-EDTA -uuttoon (HAAc-EDTA) liunneen kadmiumin, kuparin ja sinkin pitoisuudet mitattiin suurimman pellettimäärän nurmikkoruuduilta (Taulukko 22). Näistä kadmiumin pitoisuus ei kuitenkaan poikennut merkitsevästi lannoittamattoman nurmikon kasvualustan pitoisuudesta. Kasvualustasta määritetyt kromin ja kuparin kokonaispitoisuudet (AR- eli kuningasvesiuutto) olivat myös korkeimmat suurimman pellettimäärän nurmikkoruuduilla.

Taulukko 22. Vanhan nurmikon lannoituskokeen kasvialustan hivenaineiden/metallien pitoisuudet syksyllä 2009. Tulossarakkeessa esitetään erojen tilastollinen merkitsevyys ja toisistaan merkitsevästi eroavat tulokset on esitetty eri kirjaimin. (n.s. = ei eroja lannoitusten välillä)

Liukoiset pitoisuudet (HAAC-EDTA), mg/kg kuivaa maata									
	Cd	Cr	Ni	Pb	Cu	Mn	Zn	Fe	Al
0-kontrolli	0,161 ^{ab}	0,64	2,69	11,0	8,1 ^b	187	20,5 ^b	2034	436
Y-lannos	0,141 ^{bc}	1,01	2,75	16,0 [*]	7,9 ^b	192	20,8 ^b	3153	476
Rae 0,2	0,151 ^b	0,77	2,68	10,6	8,6 ^b	182	21,3 ^b	2198	425
Rae 1	0,175 ^a	1,31	2,82	13,7	10,8 ^a	180	27,1 ^a	3363	472
	F=7,7 p=0,007	n.s. (p=0.10)	n.s.	n.s.	F=14,4 p<0,001	n.s.	F=16.8 p<0.001	n.s.	n.s.
Kokonaispitoisuudet (AR-uutto), mg/kg kuivaa maata									
	Cd	Cr	Ni	Pb	Cu	Mn	Zn	As	Hg
0-kontrolli	0,205	37,8 ^b	15,6	20,0	21,8 ^b	601	102	8,06	0,064
Y-lannos	0,199	38,2 ^b	16,1	18,9 [*]	21,8 ^b	570	100	8,77	0,059
Rae 0,2	0,194	39,5 ^{ab}	16,1	20,8	22,9 ^b	610	105	8,85	0,059
Rae 1	0,174	41,2 ^a	16,2	38,7	27,9 ^a	586	110	7,58	0,061
	n.s.	F=7.6 p=0.008	n.s. (p=0.13)	n.s.	F=19.1 p<0.001	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

* 1 poikkeava arvo poistettu

3.6 Toinen ohrakoe

3.6.1 Lannoituskäsittelyissä lisätyt määrät

Toinen ohrakoe perustettiin keväällä 2009 ja lannoitettiin ennen kylvöä koesuunnitelman mukaisilla lannoituskäsittelyillä. Maanparannusrakeen käyttömäärät valittiin tuoteselosteen suosittelemaa käyttömäärää (7 m³/ha) hieman pienemmäksi ja hieman suositusta suuremmaksi. Näin valituille 5 ja 10 m³/ha tasoille annettiin pelkän raelannoituksen rinnalla myös täydennyslannoitusta mineraalityypellä, jolloin molemmille tasoille typpitäydennys oli sama 50 kg N/ha.

Maanparannuskompostin käyttömäärät valittiin tuoteselosteen suositteleman käyttömäärän (10–20 m³/ha) perusteella sekä yksi taso selvästi suositusta suuremmaksi (40 m³/ha). Näin valituille 10, 20 ja 40 m³/ha tasoille annettiin pelkän kompostilannoituksen rinnalla myös täydennyslannoitusta mineraalityypellä, ja kaikille typpitäydennetyille käsittelyille typpimäärä oli sama 50 kg N/ha.

Ympäristötukiehtojen mukaan saa Etelä- ja Keski-Suomen karkeilla kivennäismailla käyttää ohran typpi-lannoitukseen enintään 90 kg typpeä hehtaarille vuodessa (www.mavi.fi >). Ympäristötukiehdoissa otetaan huomioon lannan ja muiden orgaanisten lannoitteiden liukoinen typpi kokonaan. Lisäksi ns. nitraatidirektiivin perusteella säädetty kansallinen nitraattiasetus (VnA 931/2000) rajoittaa lannoitteissa kevätiljalle käytettävän kokonaistypen määrän enintään 170 kg hehtaarille vuodessa. Ympäristötukiehtojen mukaisessa fosforilannoituksessa huomioidaan puhdistamolietepohjaisen lannoitevalmisteen kokonaisfosforista 40 %. Molemmat tässä tutkimuksessa tarkastellut lannoitevalmisteet sisältävät puhdistamolietettä, joten ympäristötuen mukaista fosforin käyttökelpoisuuden tulkintaa sovelletaan molempiin tuotteisiin. Ympäristötukiehdot sallivat fosforilannoituksessa enintään viiden vuoden tasausjakson. Tämän perusteella kerralla voidaan levittää enintään viiden vuoden fosforilannoitus, jolloin maksimifosforilannoituksen jälkeen ei viiden vuoden aikana saa käyttää fosforilannoitusta lainkaan. Ympäristötukiehdoissa sallittu fosforilannoituksen määrä määritellään viljelykasvin ja kyseisen peltolohkon viljavuustason perusteella. Esimerkiksi ohran lannoitukseen saa viljavuusluokassa ”tyydyttävä” käyttää fosforia 14 kg/ha/vuosi.

Lannoitevalmisteissa ja täydennyslannoituksessa ohrakokeelle lisätyt ravinteiden määrät esitetään taulukossa 23. Molempien orgaanisten lannoitevalmisteiden suurimmalla käyttömäärällä, sekä typpitäydennettynä että ilman sitä, lisättiin peltoon 198–324 kg kokonaistyppeä, mikä ylitti selvästi nitraattisäädöksen mukaisen enimmäisrajan. Kun 5 m³/ha pellettilannoitusta täydennettiin 50 kg:lla mineraalityypilannoitetta, oli käytetty kokonaistypen yhteismäärä, 187 kg, hieman yli nitraattisäädöksen 170 kg:n rajan. Muilla lannoitustasoilla lisätyn kokonaistypen määrä oli selvästi alle sallitun maksimimäärän. Pienin pellettilannoituksen taso 5 m³/ha lisäsi kokonaistyppeä 137 kg/ha, joten kokonaistypin suhteen olisi ollut mahdollista käyttää enintään 6,2 m³/ha pellettiä. Kompostituotteen alin ja keskimäinen käyttömäärä (10

tai 20 m³/ha) ilman typpitäydennystä lisäsivät peltomaahan kokonaistyyppiä 50 tai 100 kg/ha, joten kokonaistyyppien suhteen tätä kompostituotetta olisi voinut käyttää enintään 34 m³/ha.

Taulukko 23. Toisella ohrakokeella orgaanisissa lannoitevalmisteissa ja täydennyslannoitteissa vuonna 2009 annettu pääravinteiden määrä (kg/ha).

	Kokonaismäärä			Vesiliukoiset ravinteet		
	N	P	K	N	P	K
0-kontrolli	0	0	0	0	0	0
N50	50	0	2	50	0	2
N100	100	10	60	100	10	60
Rae 5	137	125	8	9	0,06	5
Rae 5 N50	187	125	8	59	0,06	5
Rae 10	274	250	17	18	0,13	10
Rae 10 N50	324	250	17	68	0,13	10
Komposti 10	50	71	10	8	0,11	4
Komposti 10 N50	100	71	10	58	0,11	4
Komposti 20	99	142	21	15	0,21	8
Komposti 20 N50	149	142	21	65	0,21	8
Komposti 40	198	285	41	30	0,43	16
Komposti 40 N50	248	285	41	80	0,43	16

Puhdistamolietepohjaisten tuotteiden sisältämästä kokonaisfosforista ympäristötukiehtojen mukaisesti huomioitava 40 % osuus oli maanparannuskompostin suurimmalla käyttömäärällä 114 kg. Raeituotteen suuremmalla käyttömäärällä ympäristötuen mukaan huomioitava fosforimäärä oli 100 kg fosforia. Tämän kokeen peltolohkolla (multava HHT) fosforin viljavuusluokka oli ”huononlainen”, joten ohran lannoitukseen voi ympäristötuen mukaisesti käyttää enintään 26 kg/ha/vuosi. Kaikki lannoituskäsittelyt jäivät tällä alhaisen fosforiluvun omaavalla lohkolla alle sallitun fosforin maksimilannoituksen käytettäessä maksimitasausjaksoa. Lähinnä fosforin maksimirajaa ja pisintä viiden vuoden tasausjaksoa oli tässä kokeessa 40 m³ kompostilannoitus hehtaarille, jossa kertalevityksessä lisättiin 4,4 vuoden tasausjaksoa vastaava fosforimäärä.

Orgaanisissa lannoitevalmisteissa levityshetkellä mitattu vesiliukoisen fosforin määrä oli hyvin pieni. Vain alle 0,5 % koekäsittelyille levitetystä kokonaisfosforista oli vesiliukoisessa muodossa kokeiden perustamisen aikaan (Taulukko 23). Myös viljavuusanalyysimenetelmällä (HAAc-uutto) mitattuna liukoisen fosforin määrä oli levityshetkellä sekä rakeen että kompostin osalta alle 2,5 % peltoon lisätystä kokonaisfosforin määrästä.

Lannoitevalmisteissa peltoon lisätyt hivenaineiden ja metallien määrät (Taulukko 24) on laskettu levityksen yhteydessä otettujen lannoitevalmistenäytteiden pitoisuuksien perusteella. Lannoitevalmisteasetuksessa (MMM 12/2007) määritetty maa- ja puutarhataloudessa sallittu suurin kadmiumkuormitus on enintään 1,5 g/ha/vuosi ja yhden lannoitevalmisteen käyttöerän suurin käyttöjakso voi olla 4 vuotta (enintään 6 g/ha/4 vuotta). Molempien orgaanisten lannoitevalmisteiden suurimmalla käyttömäärällä peltoon lisätty kadmiumin määrä ylitti lannoitevalmisteasetuksen mukaisen enimmäiskuormitusrajan ja pisimmän sallitun käyttöjakson. Kun orgaanista lannoitusta annettiin pienempi määrä, kompostia 20 m³/ha tai raetta 5 m³/ha, oli peltoon kohdistuva kadmiumkuormitus sallitun enimmäiskuormituksen rajoissa. Kaupallisista mineraalilannoitteista ei ollut käytössä metallipitoisuuksia, joten näitä orgaanisen lannoituksen kuormituslukuja ei pysty vertaamaan mineraalilannoituksen aiheuttamaan kuormitukseen.

Taulukko 24. Toisella ohrakokeella orgaanisissa lannoitevalmisteissa peltomaahan vuonna 2009 lisätty hivenainesten ja metallien määrä (g/ha).

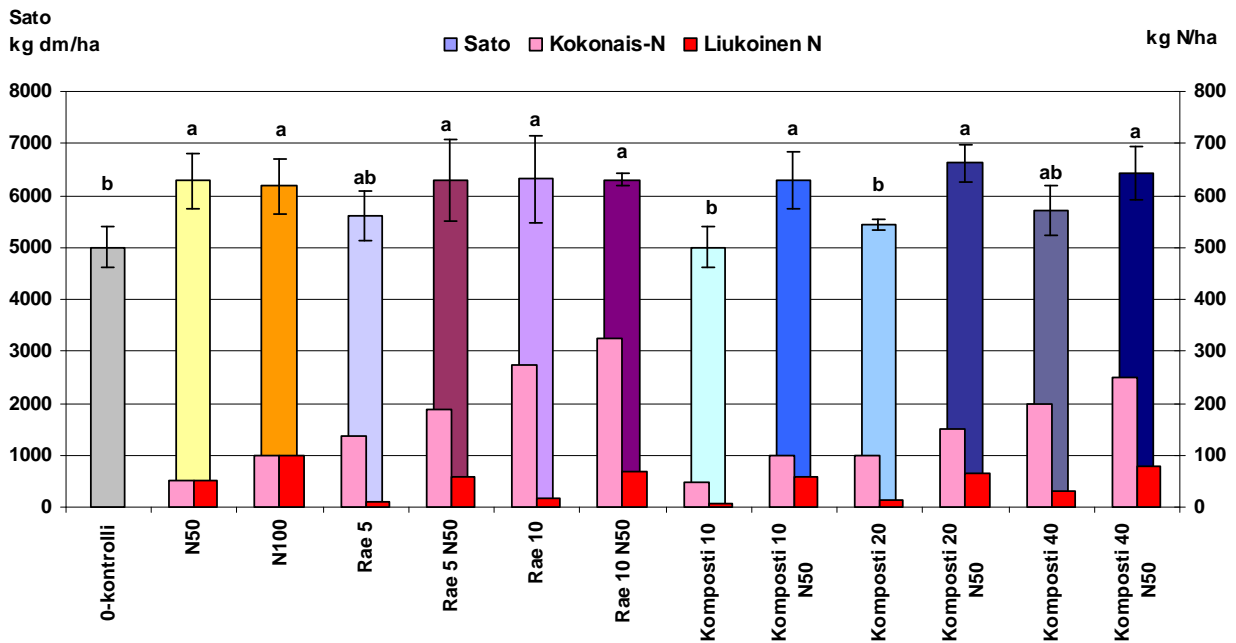
	Kokonaismäärät (AR-uutto)								Liukoiset määrät (HAAc-EDTA-uutto)							
	Cd	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	Hg	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	Hg	As
0-kontrolli	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N50	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
N100	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Rae 5	5,6	1078	1127	49	154	1985	2,1	59	0,4	7	49	8	5	206	0,10	2
Rae 5 N50	5,6	1078	1127	49	154	1985	2,1	59	0,4	7	49	8	5	206	0,10	2
Rae 10	11,3	2156	2254	98	309	3969	4,3	118	0,9	15	97	16	10	412	0,20	5
Rae 10 N50	11,3	2156	2254	98	309	3969	4,3	118	0,9	15	97	16	10	412	0,20	5
Komposti 10	2,5	116	509	83	80	1663	1,8	18	0,7	3	100	17	7	732	0,07	5
Komposti 10 N50	2,5	116	509	83	80	1663	1,8	18	0,7	3	100	17	7	732	0,07	5
Komposti 20	5,0	233	1017	166	160	3325	3,5	35	1,3	7	200	33	13	1463	0,13	9
Komposti 20 N50	5,0	233	1017	166	160	3325	3,5	35	1,3	7	200	33	13	1463	0,13	9
Komposti 40	10,0	466	2035	333	319	6650	7,0	70	2,7	13	399	67	27	2926	0,27	19
Komposti 40 N50	10,0	466	2035	333	319	6650	7,0	70	2,7	13	399	67	27	2926	0,27	19

n.d. = ei pitoisuustietoa

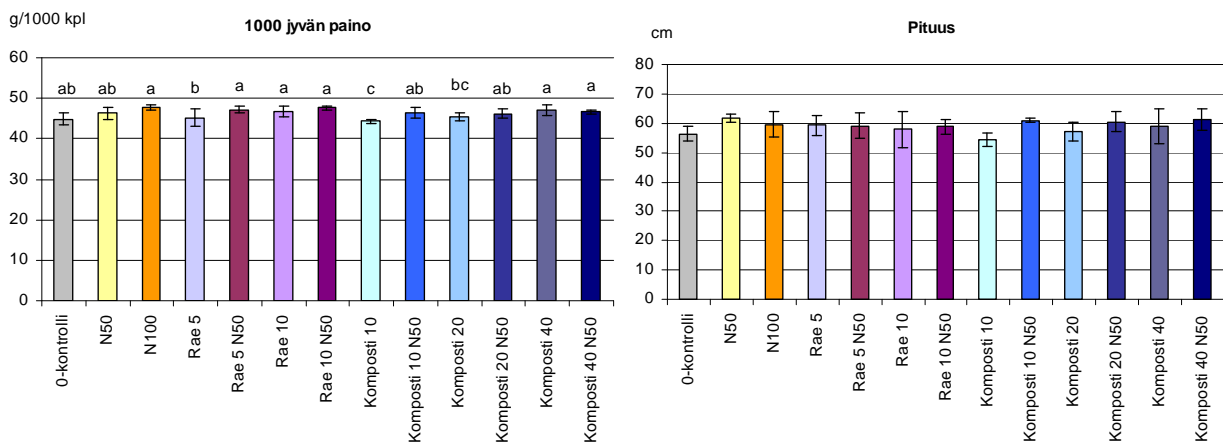
3.6.2 Satotulokset

Orgaanisilla lannoitevalmisteilla lannoitetun ohran jyväsato vaihteli vuonna 2009 välillä 5,0–6,6 tonnia / hehtaari (Kuva 6). Pelkällä maanparannuskompostilla lannoitettu jyväsato (5,0–5,7 t/ha) ei eronnut merkittävästi lannoittamattoman kontrollin 5 tonnin sadosta. Myöskään 5 m³ raelannoitus hehtaaria kohti ei lisännyt merkittävästi jyväsatoa lannoittamattomaan kontrolliin verrattuna. Väkilannoitteella tehty 50 kg:n typpilisäys yhdistettynä orgaaniseen lannoitukseen tuotti samansuuruisen jyväsadon kuin kontrollilannoitus 50 tai 100 kg:lla väkilannoitetta. Väkilannoitetyypeä saaneiden koekäsittelyjen sato vaihteli välillä 6,2–6,6 t / ha, ja mikään lannoituskäsittely ei tuottanut merkittävästi suurempaa satoa kuin 50 kg:n typpilannoituskontrolli. Raelannoituksella 10 m³ / ha jyväsato oli myös samalla tasolla kuin typpilannoituskontroleilla.

Viljasadon käyttölaatua kuvaava tuhannen jyvän paino noudatteli pääosin jyväsadossa havaittuja eroja (Kuva 7). Ohran lannoitus 10 m³ maanparannuskompostia hehtaarille aiheutti jyväpainon laskun jopa lannoittamatonta kontrollia alhaisemmaksi. Tämän lannoituskäsittelyn tuoma ravinnemäärä oli liian pieni kasvuston tarpeeseen nähden. Kaikilla muilla lannoituskäsittelyillä ohran tuhannen jyvän paino oli tasainen. Kasvuston pituus oli molemmilla kontrollilannoituksen tasoilla sama, eikä mikään orgaanisen lannoituksen käsittely tuottanut niitä korkeampaa kasvustoa. Myöskään lakoontumista ei havaittu, joten kasvuston käytössä maassa olleen typen määrä ei ollut millään käsittelyllä haitallisen suuri.



Kuva 6. Orgaanisesti lannoitetun ohrakokeen jyväsato vuonna 2009 (vasen pysty akseli). Lannoitevalmisteet oli levitetty saman vuoden keväällä. Lannoituksessa annetut typpimäärät on esitetty oikealla pysty akselilla. Tilastoanalyysissä toisistaan merkitsevästi eroavat tulokset on esitetty satopylväiden päällä eri kirjaimin ($p < 0,05$).



Kuva 7. Orgaanisesti lannoitetun ohran tuhannen jyvän paino ja kasvuston pituus vuonna 2009. Tilastoanalyysissä toisistaan merkitsevästi eroavat tuhannen jyvän painot on esitetty pylväiden päällä eri kirjaimin ($p < 0,05$).

Keväällä 2009 orgaanisesti lannoitetun ohran jyvänäytteistä määritettiin pääravinteiden ja muiden alkuaineiden pitoisuudet (N Leco, muut märkäpoltto ja ICP-AES). Suurten analyysikustannusten vuoksi elohopean määrittäminen tehtiin vain yhden kerran kasvinäytteistä. Elohopea-analyysiin valittiin keskimääräinen ja satotuloksen perusteella vähiten muista poikkeava kerranne.

Jyvän typpipitoisuus kohosi suurimmalla typpitäydennetyllä raelannoituksella (Rae 10 N50) samalle tasolle kuin mineraalikontrollilla N100. Muut typpitäydennetyt orgaaniset lannoituskäsittelyt tuottivat hieinan edellisiä alhaisemman typpipitoisuuden, mutta kuitenkin merkitsevästi suuremman pitoisuuden kuin pieni mineraalikontrolli N50. Myös raelannoitukset ilman typpilisäystä (Rae 5 ja Rae 10) nostivat jyvän typpipitoisuuden suuremmaksi kuin mineraalikontrolli N50. Kompostilannoitusta ilman typpitäydennystä tarvittiin vähintään 20 m³/ha, jotta jyvän typpipitoisuus oli samalla tasolla kuin N50 mineraalikontrollilla.

Jyvän fosforin, kaliumin tai magnesiumin pitoisuuksissa ei ollut eroja lannoituskäsittelyjen välillä. Kun orgaanista lannoitusta täydennettiin typpilannoituksella kalsiumin ja rikin pitoisuus kohosi yleisesti samalle tasolle tai korkeammalle kuin mineraalikkontrollilla N100 (Taulukko 25). Tämän lisäksi molemmat raelannoituksen tasot nostivat jyvän kalsium- ja rikkipitoisuutta myös ilman typpitäydennystä. Jyvän natriumpitoisuus nousi useimmilla orgaanisen lannoituksen käsittelyillä hieman korkeammaksi kuin mineraalikkontrollilannoituksilla.

Orgaanisesti lannoitetussa ohranjyvässä havaittiin tilastollisesti merkitseviä eroja kuparin, sinkin, raudan, mangaanin ja kadmiumin pitoisuuksissa (Taulukko 25). Korkein pitoisuus havaittiin useimmiten suurimmalla typpitäydennetyllä raelannoituksella (Rae 10 N50), mutta vain sinkin ja kadmiumin kohdalla pitoisuus oli suurempi kuin mineraalikkontrollilla N100. Myös suurin typpitäydennetty kompostilannoitus (Komposti 40 N50) nosti jyvän pitoisuudet monesti samalle tasolle kuin N100-kontrolli. Muutoin typpitäydennetty orgaaninen lannoitus nosti kuparin, sinkin, raudan, mangaanin ja kadmiumin pitoisuuden jyvässä pääsääntöisesti suuremmaksi kuin mineraalikkontrollilla N50 mitatut pitoisuudet olivat, mutta pyytellen samalla kuitenkin useimmiten hieman alempana kuin N100-kontrollilannoituksen pitoisuudet.

Aiemmissa suomalaisissa tutkimuksissa tavanomaisesti tuotetun ohran hivenaineiden/metallien pitoisuudet ovat vaihdelleet seuraavasti; Cu 5-7 mg/kg dm, Zn 22-31 mg/kg dm, Ni 0.055-0.063 mg/kg dm, Cd 0.017-0.019 mg/kg dm and Pb 0.05-0.13 mg/kg dm (Mäkelä-Kurtto ym. 2007b). Aiempiin tuloksiin verrattuna tässä tutkimuksessa havaitut ohranjyvän Cu ja Pb -pitoisuudet olivat alempia, kun taas Zn -pitoisuus oli korkeampi. Tässä tutkimuksessa havaittu ohran Cd-pitoisuuksien vaihteluväli oli laajempi kuin aikaisemmissa suomalaisissa tuloksissa.

Taulukko 25. Toisen ohrakokeen jyvänäytteiden alkuainepitoisuudet vuonna 2009. Lannoitevalmisteet oli levitetty saman vuoden keväällä. Tulossarakkeessa esitetään erojen tilastollinen merkitsevyys ja toisistaan merkitsevästi eroavat tulokset on esitetty eri kirjaimin. (n.s. = ei eroja lannoitusten välillä)

	N	P	K	Ca	Mg	Na	S	
	g/kg kuiva-ainetta							
0-kontrolli	15,3 ^e	4,0	5,0	0,48 ^c	1,33	0,05 ^f	1,22 ^f	
N50	17,4 ^d	3,8	5,0	0,50 ^c	1,33	0,05 ^f	1,37 ^e	
N100	20,7 ^a	3,8	4,8	0,53 ^b	1,33	0,05 ^f	1,48 ^{cd}	
Rae 5	17,9 ^c	4,0	4,9	0,53 ^b	1,29	0,08 ^d	1,45 ^d	
Rae 5 N50	19,5 ^b	3,9	5,0	0,55 ^b	1,33	0,10 ^c	1,55 ^{bc}	
Rae 10	20,0 ^b	4,1	5,1	0,57 ^a	1,29	0,11 ^b	1,58 ^{ab}	
Rae 10 N50	20,8 ^a	3,9	5,0	0,58 ^a	1,29	0,13 ^a	1,64 ^{ab}	
Komposti 10	15,3 ^e	3,9	4,9	0,49 ^c	1,34	0,05 ^f	1,26 ^f	
Komp. 10 N50	18,5 ^c	3,8	5,0	0,52 ^b	1,34	0,06 ^{ef}	1,49 ^{cd}	
Komposti 20	16,4 ^d	3,9	4,9	0,49 ^c	1,34	0,05 ^f	1,31 ^{ef}	
Komp. 20 N50	18,6 ^c	3,8	4,9	0,50 ^c	1,33	0,06 ^{ef}	1,46 ^{cd}	
Komposti 40	17,3 ^d	4,0	5,0	0,52 ^{bc}	1,31	0,06 ^{ef}	1,37 ^e	
Komp. 40 N50	19,5 ^{bc}	3,7	5,0	0,53 ^b	1,30	0,07 ^e	1,56 ^{bc}	
	F=49,4			F=12,8		F=40,8	F=24,0	
	p<0,001	n.s.	n.s.	p<0,001	n.s.	p<0,001	p<0,001	
	Cu	Zn	Fe	Mn	Cd	Pb	As	Hg
	mg/kg kuiva-ainetta				µg/kg kuiva-ainetta			
0-kontrolli	4,3 ^d	35 ^d	31,8 ^d	23,8 ^d	11,3 ^d	11,8	<10	<10
N50	4,6 ^b	38 ^{cd}	32,8 ^c	25,3 ^{cd}	15,0 ^{cd}	11,8	<10	<10
N100	5,0 ^{ab}	43 ^b	36,0 ^a	30,0 ^a	22,8 ^b	16,5	<10	<10
Rae 5	4,6 ^c	40 ^b	33,3 ^c	27,3 ^{bc}	15,5 ^{cd}	12,8	<10	<10
Rae 5 N50	4,9 ^{ab}	43 ^{ab}	34,3 ^b	28,0 ^{bc}	21,1 ^b	7,0	<10	<10
Rae 10	4,9 ^{ab}	43 ^{ab}	35,0 ^a	29,3 ^a	21,3 ^b	9,0	<10	<10
Rae 10 N50	5,1 ^{ab}	46 ^a	36,0 ^a	29,8 ^a	27,0 ^a	9,5	<10	<10
Komposti 10	4,3 ^{cd}	36 ^d	32,8 ^d	23,8 ^{cd}	11,3 ^d	11,0	<10	<10
Komp. 10 N50	4,9 ^{ab}	41 ^b	34,3 ^b	27,3 ^{bc}	17,5 ^{bc}	7,5	<10	<10
Komposti 20	4,5 ^{cd}	38 ^{bc}	32,8 ^c	24,8 ^{cd}	13,0 ^d	8,3	<10	<10
Komp. 20 N50	4,8 ^b	41 ^b	33,8 ^b	26,0 ^{cd}	18,3 ^{bc}	6,2	<10	<10
Komposti 40	4,6 ^c	40 ^{bc}	33,8 ^b	26,5 ^{bc}	14,8 ^{cd}	9,8	<10	<10
Komp. 40 N50	4,9 ^{ab}	44 ^a	34,0 ^b	28,5 ^a	19,0 ^b	8,0	<10	<10
	F=11,9	F=10,5	F=7,03	F=13,4	F=12,85			
	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,001	n.s.	n.s.	N.d.

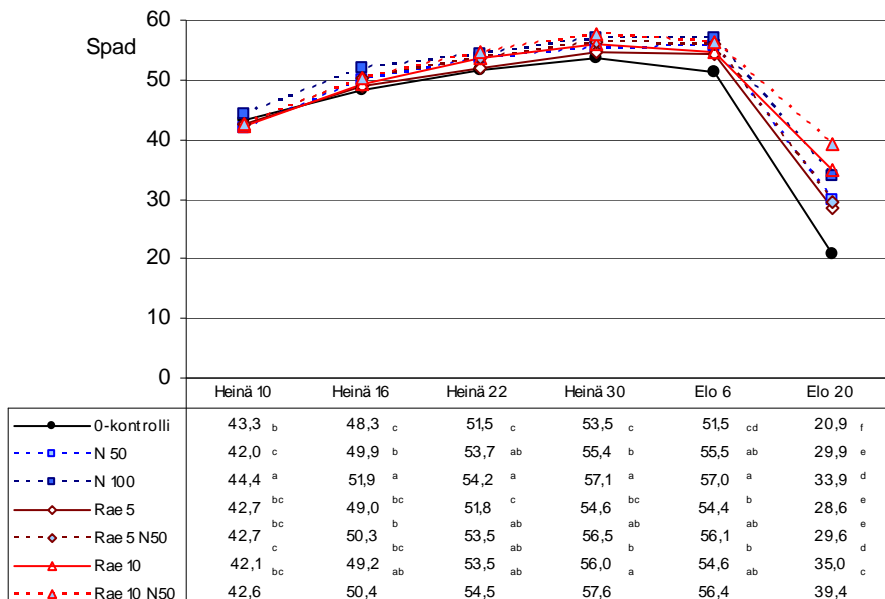
N.d. = Tilastotarkastelua ei tehty, koska tulos vain yhdestä kerranteesta

3.6.3 Lehtivihreäpitoisuus

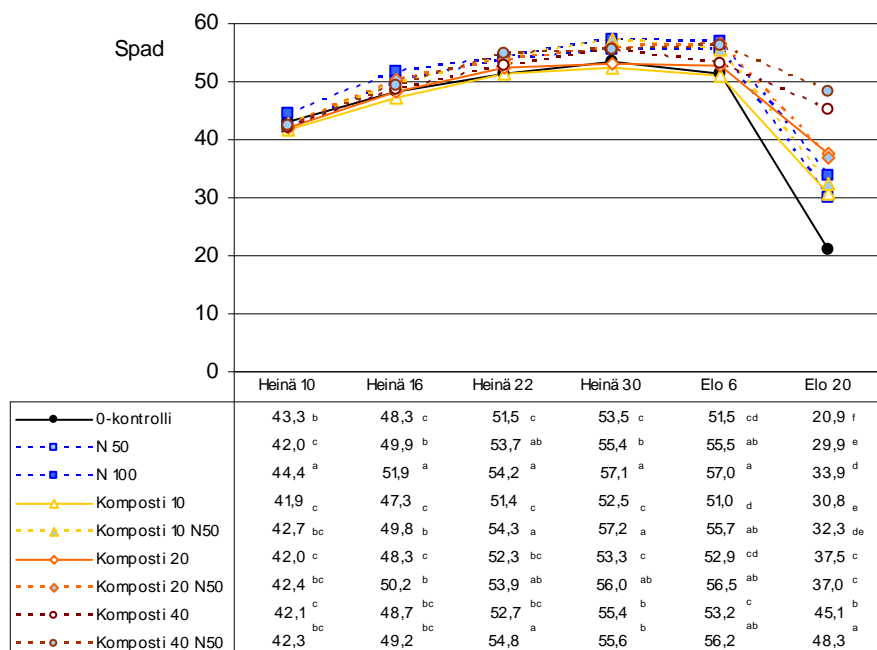
Keväällä 2009 lannoitetun toisen ohrakokeen kasvuston typpitilaa seurattiin kannettavalla lehtivihreämittarilla (Minolta SPAD-5000) heinä-elokuussa. Mittausjakson alussa, heinäkuun alkupuolella, kontrollikäsitteilyn 100 kg:n N-lannoitus nosti lehtivihreätasoa muihin lannoituskäsittelyihin verrattuna. Viimeisessä mittauksessa elokuun 20. päivänä tämän suurimman kontrollilannoituksen lehtivihreätaso oli kaikkien koekäsittelyjen joukossa keskitasoa (Kuva 8). Mittausjakson aikana alimmat lehtivihreätasot mitattiin yleensä pienimmällä 10 m³:n maanparannuskompostilannoituksella viimeistä mittauskertaa lukuun ottamatta. Tuolloin alin lehtivihreätaso oli lannoittamattomassa kasvustossa. Viimeisellä mittauskerralla lehtivihreätasot maanparannuskompostin suurimmalla 40 m³:n käyttömäärällä olivat suuremmat kuin muilla lannoituksilla, ja 50 kg:n typpilisäys johti tätäkin korkeampaan lehtivihreälukemaan. Typpilisätty 10 m³:n raelannoitus nosti myös viimeisen lehtivihreämittauksen tasoa 100 kg:n typpikontrolliin verrattuna. Kun maanparannuskompostia käytettiin 20 m³, joko typpilisäyksellä tai ilman sitä, oli lehtivihreätaso viimeisessä mittauksessa myös N100-kontrollia korkeammalla.

Näistä lehtivihreän tasossa havaituista eroista huolimatta kaikki kasvustot olivat täysin tuleentuneita kolmen päivän sisällä, välillä 1.9.–3.9. Orgaanisten lannoitevalmisteiden sisältämä typpi vapautuu kasvien käyttöön vähitellen kasvukauden aikana, jolloin myöhään kasvukaudella vapautuva typpi voi jäädä kasveilta hyödyntämättä.

Toinen ohrakoe - Raekäsittelyt - 2009



Toinen ohrakoe - Kompostikäsitellyt - 2009



Kuva 8. Orgaanisesti lannoitetun ohrakasvuston lehtivihreäpitoisuus (spad-yksikkönä) 1-2 viikon välein mitattuna. Ylemmässä kuvassa on raelannoituksen ja alemmassa kuvassa kompostilannoituksen vertailu kontrollikäsitteilyihin (kontrollit samat molemmissa kuvissa). Kussakin mittaussajakohdassa toisistaan eroavat tulokset on merkitty eri kirjaimin ($p < 0,05$).

3.6.4 Maan ravinteet ja hivenaineet

Liukoisen typen määrää peltomaassa seurattiin määrittämällä syksyllä otetuista muokkauskerroksen maanäytteistä liukoisen typen pitoisuudet (ammonium- ja nitraattityppi KCl-uutosta). Kasvukauden aikana maanäytteet otettiin kerran, tähkimisen aikaan (23.7.2009), ja myös näistä näytteistä määritettiin ammonium ja nitraatti. Raelannoitus nosti maan ammoniumpitoisuuden kasvuston tähkimisvaiheessa merkittävästi muita korkeammalle (Taulukko 26). Maan nitraattipitoisuus oli tähkimisvaiheessa mineraalikontrollien tasolla yleensä tyypitäydennetyissä orgaanisesti lannoitetuissa maissa. Mikään lannoituskäsittely ei kuitenkaan tuottanut mineraalikontrolleja suurempaa maan nitraattipitoisuutta tähkimisvaiheessa. Ilman tyypitäydennystä orgaanisella tuotteella lannoitetun maan nitraattipitoisuus oli heinäkuussa samalla tasolla kuin lannoittamattomassa maassa.

Syyskuussa sekä rakeen että maanparannuskompostin suurin käyttötaso yhdessä N-lisälannoituksen kanssa kohotti maan nitraattipitoisuuden suuremmaksi kuin muissa lannoituskäsittelyissä (Taulukko 26). Nämä suurimmat nitraattipitoisuudet olivat 8-9 mg/l tuoretta maata, mikä kyseisen peltolohkon muokkauskerroksessa vastaa typpimäärää alle 14 kg/ha.

Kokonaistypen pitoisuus määritettiin syksyllä 2009 otetuista muokkauskerroksen maanäytteistä, samoin kuin orgaanisen hiilen pitoisuus. Orgaanisten lannoitevalmisteiden kevätleivityksen jälkeisenä syksynä koekäsittelyjen välillä ei havaittu merkitseviä eroja kokonaistypen eikä orgaanisen hiilen määrässä.

Taulukko 26. Toisen ohrakokeen pintamaan typen ja orgaanisen hiilen pitoisuudet vuonna 2009 kevään (yleisnäyte), kesän (tähkimisvaihe) ja syksyn näytteenottoissa. Lannoitevalmisteet oli levitetty saman vuoden keväällä. Tulossarakkeessa esitetään erojen tilastollinen merkitsevyys ja toisistaan merkitsevästi eroavat tulokset on esitetty eri kirjaimin. (n.s. = ei eroja lannoitusten välillä)

	Kokonais-N (g/kg ka)		Ammoniumtyppi (mg/kg ka)			Nitraattityppi (mg/kg ka)			Liukoinen typpi (amm + nit) (mg/kg ka)		Org C (g/kg ka)		
	kevät	syksy	kevät	kesä	syksy	kevät	kesä	syksy	kevät	kesä	syksy	kevät	syksy
Alkutilanne ⁽¹⁾	3,51		2,86			26,9			29,8		61,1		
Syksy													
0-kontrolli	3,6		3,3 ^d		4,6	1,8 ^d		3,8 ^b	5,1 ^c		8,5 ^b		62,6
N50	3,4		4,0 ^{cd}		4,8	5,8 ^{bcd}		3,0 ^b	9,8 ^{abc}		7,8 ^{bc}		59,7
N100	3,8		4,1 ^{cd}		4,5	6,6 ^{ab}		5,1 ^b	10,7 ^{ab}		9,6 ^b		66,7
Rae 5	3,6		7,0 ^{ab}		5,0	2,0 ^{cd}		4,3 ^b	9,1 ^{bc}		9,2 ^b		64,2
Rae 5 N50	3,6		7,0 ^{ab}		5,5	6,7 ^{ab}		4,1 ^b	13,7 ^a		9,6 ^b		61,2
Rae 10	3,6		6,0 ^{ab}		6,2	4,1 ^{bcd}		6,4 ^b	10,1 ^{abc}		12,6 ^{ab}		62,0
Rae 10 N50	3,5		6,9 ^{ab}		4,7	5,0 ^{bcd}		10,0 ^a	11,9 ^{ab}		14,7 ^a		59,4
Komposti 10	3,4		4,5 ^{cd}		4,6	2,7 ^{cd}		4,5 ^b	7,2 ^{bc}		9,1 ^b		57,6
Komposti 10 N50	4,0		4,7 ^{bcd}		4,6	6,0 ^{abc}		3,3 ^b	10,8 ^{ab}		8,0 ^{bc}		69,7
Komposti 20	3,8		4,1 ^{cd}		4,1	2,8 ^{cd}		4,2 ^b	6,9 ^{bc}		8,3 ^{bc}		64,1
Komposti 20 N50	3,7		4,9 ^{bcd}		4,3	9,5 ^a		3,6 ^b	14,4 ^a		8,0 ^{bc}		63,8
Komposti 40	3,0		4,3 ^{cd}		3,7	2,9 ^{cd}		3,7 ^b	7,2 ^{bc}		7,3 ^{bc}		51,7
Komposti 40 N50	4,1		4,9 ^{bcd}		3,4	7,2 ^{ab}		11,8 ^a	12,1 ^{ab}		15,2 ^a		69,9
	n.s.		F=2,15, p=0,038		n.s.	F=2,72, p=0,01		F=3,85, p<0,001	F=2,28, p=0,03		F=3,1, p=0,005		n.s.

⁽¹⁾ Alkutilanteen näytteet otettiin keväällä uudelta koealueelta, yksi yleisnäyte kustakin kerranteesta.

Maan viljavuusravinteiden pitoisuuksissa havaittiin syksyllä sadonkorjuun jälkeen tilastollisesti merkitseviä eroja lannoituskäsittelyjen välillä fosforin ja rikin sekä johtoluvun kohdalla (Taulukko 27). Kaikilla tyypitäydennetyillä kompostilannoituksilla sekä suurimmalla raelannoituksella maan syksyinen viljavuusfosforipitoisuus oli suurempi kuin kontrollilannoituksilla. Muutoin maan viljavuusfosfori ei eronnut merkittävästi kontrollikäsittelyistä. Maan viljavuusrikkipitoisuus oli raelannoitetussa maassa merkittävästi suurempi kuin kontrollilannoitetuissa maissa. Myös suurin kompostilannoitustaso nosti viljavuusrikin pitoisuutta kontrollikäsittelyjä korkeammalle. Pintamaan johtoluvussa havaitut merkitsevät erot noudattelivat rikkipitoisuudessa havaittuja eroja.

Taulukko 27. Orgaanisesti lannoitetun ohrakokeen pintamaan viljavuusravinteiden pitoisuudet syksyllä 2009. Lannoitevalmisteet oli levitetty saman vuoden keväällä. Tulossarakkeessa esitetään erojen tilastollinen merkitsevyys ja toisistaan merkitsevästi eroavat tulokset on esitetty eri kirjaimin. (n.s. = ei eroja lannoitusten välillä)

	P	K	Mg	Ca	S	pH	Johtoluku
	(HAAc, mg/kg kuivaa maata)						(10 ⁻⁴ S/cm)
Alkutilanne (kevät)	6,31	164	133	1948	73	5,55	2,02
Syksy							
0-kontrolli	5,5 ^c	169	131	2099	70 ^f	5,75	1,15 ^d
N50	5,7 ^c	170	134	2030	69 ^{ef}	5,73	1,07 ^d
N100	5,8 ^c	181	137	2141	80 ^{ef}	5,63	1,45 ^d
Rae 5	5,8 ^c	160	137	2066	114 ^{cd}	5,62	1,88 ^c
Rae 5 N50	5,6 ^c	152	136	2080	126 ^c	5,59	1,90 ^c
Rae 10	6,4 ^{ab}	168	136	2252	153 ^b	5,62	2,54 ^b
Rae 10 N50	5,6 ^c	149	142	2226	197 ^a	5,51	3,23 ^a
Komposti 10	5,8 ^{bc}	155	124	1860	82 ^{ef}	5,66	1,23 ^d
Komposti 10 N50	6,3 ^{ab}	161	144	2344	90 ^{ef}	5,71	1,25 ^d
Komposti 20	5,9 ^{bc}	162	141	2089	90 ^{ef}	5,65	1,33 ^{cd}
Komposti 20 N50	6,4 ^{ab}	151	140	2489	79 ^{ef}	5,85	1,30 ^d
Komposti 40	6,0 ^{bc}	138	130	1812	98 ^{de}	5,67	1,62 ^c
Komposti 40 N50	6,76 ^a	159	138	2130	131 ^{bc}	5,46	2,10 ^c
	F=3,57 p=0,0016	n.s.	n.s.	n.s.	F=21,5 p<0,001	n.s.	F=34,3 p<0,001

Lannoitevalmisteiden kevätleivitystä seuranneena syksynä ohrakokeen pintamaanäytteiden liukoisten metallien pitoisuuksissa oli eroja vain sinkin osalta (Taulukko 28.). Raelannoitus 10 m³/ha ja typpitäydennetty 40 m³/ha pellettilannoitus nostivat maan liukoisen sinkkipitoisuuden suuremmaksi kuin mineraalityppikontrolleilla tai lannoittamattomassa maassa.

Taulukko 28. Orgaanisesti lannoitetun ohrakokeen pintamaan liukoiset metallipitoisuudet syksyllä 2009. Lannoitevalmisteet oli levitetty saman vuoden keväällä. Tulossarakkeessa esitetään erojen tilastollinen merkitsevyys ja toisistaan merkitsevästi eroavat tulokset on esitetty eri kirjaimin. (n.s. = ei eroja lannoitusten välillä)

LIUKOISET METALLIT (HAAC-EDTA-uutto, mg/kg kuivaa maata)									
	Cd	Cr	Ni	Pb	Cu	Fe	Mn	Zn	Al
Alkutilanne (kevät)	0,07	1,09	6,02	1,47	8,39	839	31	2,04	1149
Syksy									
0-kontrolli	0,09	0,76	5,89	1,79	7,71	748	24,1	1,68 ^c	978
N50	0,09	0,75	5,62	1,66	7,23	693	24,5	1,66 ^c	952
N100	0,08	0,74	5,93	1,98	7,01	781	26,7	1,82 ^c	993
Rae 5	0,09	0,76	5,70	1,64	7,40	744	27,1	1,95 ^{bc}	968
Rae 5 N50	0,09	0,68	5,78	1,95	7,47	741	21,7	2,20 ^{bc}	959
Rae 10	0,08	0,77	5,70	1,83	7,63	849	28,8	3,21 ^a	954
Rae 10 N50	0,08	0,76	5,85	1,82	7,72	785	27,3	2,27 ^{bc}	921
Komposti 10	0,07	0,80	5,27	1,36	7,39	684	21,8	2,01 ^{bc}	925
Komposti 10 N50	0,08	0,85	6,03	1,87	7,71	804	28,4	1,94 ^{bc}	1033
Komposti 20	0,08	0,76	5,78	1,78	7,64	754	22,5	2,01 ^{bc}	996
Komposti 20 N50	0,07	0,92	5,49	1,82	7,37	802	39,6	1,87 ^{bc}	924
Komposti 40	0,06	0,74	4,82	1,50	7,07	641	19,3	2,27 ^{bc}	836
Komposti 40 N50	0,08	0,94	6,26	1,84	8,24	857	27,8	2,46 ^b	1156
	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	F=3,10, p=0,0045	n.s.

Kuningasvesiuutosta määritetyt raskasmetallien kokonaispitoisuudet syksyn maanäytteissä osoittivat lannoituskäsittelyjen välisiä eroja kadmiumin, lyijyn ja arseenin kohdalla (Taulukko 29). Suurin typpitäydennetty kompostilannoitus (Komposti 40 N50) aiheutti kokonaispitoisuuden nousun kontrollikäsitteilyä suuremmalle tasolle kaikkien kolmen alkuaineen kohdalla. Muutoin maan kokonaismetallipitoisuudet olivat samalla tasolla kuin kontrollilannoituksen saaneissa maissa.

Taulukko 29. Orgaanisesti lannoitetun ohrakokeen pintamaan kokonaismetallipitoisuudet. Lannoitevalmisteet oli levitetty saman vuoden keväällä. Tulossarakkeessa esitetään erojen tilastollinen merkitsevyys ja toisistaan merkitsevästi eroavat tulokset on esitetty eri kirjaimin. (n.s. = ei eroja lannoitusten välillä)

KOKONAISMETALLIT (AR-uutto, mg/kg kuivaa maata)										
	Cd	Cr	Ni	Pb	Cu	As	Mn	Zn	Hg	
Alkutilanne (kevät)	0,115	45,8	20,8	8,64	25,0	5,0	352	52,4	0,036	
Syksy										
0-kontrolli	0,128 ^b	47,8	21,6	9,0 ^c	26,2	5,7 ^{bc}	355	54,5	0,041	
N50	0,120 ^b	43,9	20,6	11,2 ^b	24,7	5,4 ^c	333	53,4	0,038	
N100	0,120 ^b	44,3	21,5	11,2 ^b	25,7	6,2 ^{bc}	350	52,4	0,051	
Rae 5	0,118 ^b	44,7	21,4	10,8 ^b	26,2	5,4 ^c	329	53,5	0,041	
Rae 5 N50	0,115 ^b	45,6	21,6	11,0 ^b	26,7	6,2 ^{bc}	329	54,9	0,041	
Rae 10	0,118 ^b	49,5	21,2	11,7 ^{ab}	27,9	5,8 ^{bc}	384	56,0	0,044	
Rae 10 N50	0,126 ^b	48,8	22,2	11,2 ^b	27,7	5,8 ^{bc}	381	56,1	0,041	
Komposti 10	0,118 ^b	44,9	20,9	11,4 ^b	25,9	5,8 ^{bc}	333	54,7	0,036	
Komposti 10 N50	0,121 ^b	47,1	22,1	11,2 ^b	28,1	5,6 ^{bc}	359	53,9	0,044	
Komposti 20	0,113 ^b	44,7	21,6	11,1 ^b	26,9	5,7 ^{bc}	333	54,4	0,038	
Komposti 20 N50	0,121 ^b	51,7	20,8	10,9 ^b	25,2	6,2 ^{bc}	433	53,4	0,041	
Komposti 40	0,112 ^b	42,6	19,0	11,4 ^b	23,9	6,5 ^b	311	53,9	0,036	
Komposti 40 N50	0,149 ^a	46,2	22,3	12,5 ^a	29,4	7,5 ^a	339	55,6	0,044	
	F=2,42 p=0,021	n.s.	n.s.	F=4,74 p<0,001	n.s.	F=3,24 p=0,003	n.s.	n.s.	n.s.	

Mäkelä-Kurto ym. (2007a) ovat aiemmin esittäneet seuraavat keskimääräiset hivenaineiden/metallien pitoisuudet suomalaisessa viljelymaassa: Cu 21 mg kg⁻¹ dm, Zn 55 mg kg⁻¹ dm, Cr 29 mg kg⁻¹ dm, Ni 14 mg kg⁻¹ dm, Cd 0,18 mg kg⁻¹ dm, Pb 9,7 mg kg⁻¹ dm, Hg 0,05 mg kg⁻¹ dm and As 4,1 mg kg⁻¹ dm. Tässä tutkimuksessa orgaanisilla lannoitevalmisteillä käsiteltyjen maiden Cd- ja Hg -pitoisuus oli alhaisempi, kun taas Cu, Cr, Ni, Pb- ja As -pitoisuus oli hieman korkeampi kuin keskimääräisessä suomalaisessa viljelymaassa.

3.6.5 Typen käytön tehokkuus

Ohran tuottama typpisato muuttui käsittelyjen välillä samaan tapaan kuin jyvän typpipitoisuus (vrt. taulukko 25). Lähes kaikilla typpitäydennyksen saaneilla orgaanisilla lannoituskäsittelyillä jyvän typpisato oli samalla tasolla kuin mineraalikontrollilla N100 ja suurempi kuin mineraalikontrollilla N50 (Taulukko 30). Lisäksi raelannoitus 10 m³/ha nosti jyvän typpisadon samalle tasolle kuin N100-kontrolli. Ilman typpilisäystä kompostilannoitus 20 ja 40 m³/ha sekä raelannoitus 5 m³/ha lisäsivät typpisatoa lannoittamattoman kasvuston typpisatoon verrattuna. Pienin kompostilannoitus 10 m³/ha tuotti kuitenkin vain saman typpisadon kuin lannoittamaton maa.

Typpisadon lisäys on jyvän typpisadon muutos lannoittamattoman ohran jyväsatoon verrattuna (Taulukko 30). Ainoastaan suurin raelannoitus, sekä typpitäydennyksellä että ilman sitä, tuotti vastaavan typpisadon lisäyksen kuin N100-mineraalikontrolli. Typpitäydennettyjen kompostilannoitusten avulla typpisato nousi lähes yhtä paljon kuin N100-kontrollilla, mutta kuitenkin selvästi enemmän kuin N50-kontrollilla. Muutoin kaikki orgaaniset lannoitukset ilman typpitäydennystä lisäsivät ohranjyvän typpisatoa selvästi vähemmän kuin N50-kontrollilannoitus.

Typen käytön tehokkuus (N use efficiency) on jyvässä korjatun typpisadon suhde lannoituksessa lisättyyn kokonaistyppimäärään prosentteina esitettynä (Taulukko 30). Tässä tarkastelussa mahdollisimman pieni käytetty kokonaistyppimäärä ja mahdollisimman suuri liukoisen typen osuus lannoitevalmisteiden kokonaistyppeistä ovat eduksi. Tällä perusteella paras typen käytön tehokkuus oli N50-mineraalikontrollilla ja toiseksi paras tehokkuus pienimmällä 10 m³/ha kompostilannoituksella. Heikointa typen käytön tehokkuus oli suurimmalla raelannoituksella ja suurimmalla kompostilannoituksella, joilla molemmilla lannoitteissa lisättiin vähintään 200 kg kokonaistyppeä ja siitä korkeintaan 32 % oli helppoliukoisessa muodossa levityksen aikaan.

Taulukko 30. Typen käytön tehokkuus toisella ohrakokeella vuonna 2009 jyvän typpisadon perusteella tarkasteltuna. Oljen typpisato ei ole tässä tarkastelussa mukana. Tulossarakkeessa esitetään erojen tilastollinen merkitsevyys ja toisistaan merkitsevästi eroavat tulokset on esitetty eri kirjaimin. (n.s. = ei eroja lannoitusten välillä)

	Lisätty N kg/ha		Jyvän N-sato kg/ha	N-sadon lisäys (1) kg/ha	N käytön tehokkuus (2) %	Kokonaistypen hyväksikäyttö (3) %
	Total	Epäorg	kg/ha	kg/ha	%	%
0-kontrolli	0	0	77 ^g	.	.	.
N50	50	50	109 ^{cd}	33 ^c	218 ^a	65 ^a
N100	100	100	127 ^a	51 ^a	127 ^c	51 ^b
Rae 5	137	10	101 ^{de}	24 ^d	73 ^f	17 ^{cd}
Rae 5 N50	187	60	122 ^a	45 ^{ab}	65 ^f	24 ^{bc}
Rae 10	274	20	126 ^a	49 ^a	46 ^g	18 ^{cd}
Rae 10 N50	324	70	131 ^a	54 ^a	40 ^g	17 ^{cd}
Komposti 10	50	8	77 ^g	0 ^d	153 ^b	0 ^e
Komposti 10 N50	100	58	116 ^{bc}	40 ^b	116 ^d	40 ^b
Komposti 20	99	15	89 ^f	13 ^d	90 ^e	13 ^{cd}
Komposti 20 N50	149	65	123 ^{ab}	46 ^{ab}	82 ^{ef}	31 ^b
Komposti 40	198	30	99 ^e	22 ^d	50 ^g	11 ^{de}
Komposti 40 N50	248	80	125 ^{ab}	48 ^{ab}	50 ^g	20 ^{cd}
			F= 38,0 p<0,001	F= 29,2 p<0,001	F= 223 p<0,001	F= 17,7 p<0,001

(1) N-sadon lisäys = Lannoitettu N sato - Lannoittamaton N sato

(2) Typen käytön tehokkuus = (Typpisato "output" / Lisätty kokonais-N "input") × 100

(3) Kokonaistypen hyväksikäyttöaste = ((Lannoitettu N sato – Lannoittamaton N sato) / Lisätty kokonais- N) × 100

Typen hyväksikäyttöastetta tarkastellaan tavanomaisessa tuotannossa yleensä annetun kokonaistypen määrän suhteen, mikä epäorgaanisten helppoliukoisten lannoitteiden tapauksessa kuvaa yleensä hyvin lannoitetyypistä kasvustoon sitoutuneen typen osuutta. Epäorgaanisissa lannoitteissa typpi on käytännössä kokonaan helppoliukoista ja lähes välittömästi kasvien käytettävissä. Orgaanisten lannoitevalmisteiden kohdalla typen hyväksikäytön tarkastelu on monimutkaisempaa, sillä niiden sisältämästä kokonaistypestä suuri osuus on hitaasti liukenevassa orgaanisessa muodossa. Tämä vaikeuttaa ravinnesatojen perusteella tehtävää typen käytön ja typen hyödyntämistason tarkastelua. Kun epäorgaanisen typen osuus lannoitevalmisteessä lisätystä kokonaistypestä on pieni, on myös kokonaistypen hyväksikäyttöaste yleensä alhainen.

Käytetyn lannoitetyypin hyväksikäyttöaste oli kokonaistypen perusteella laskettuna odotetunlainen. Selvästi korkein typen hyväksikäyttöaste oli mineraalilannoituskontrolleilla N100 ja N50 (Taulukko 30). Niiden lisäksi kokonaistypen hyväksikäyttöaste oli yli 30 % vain kahdella pienimmällä typpitäydennetyllä kompostilannoituksella. Kaikilla muilla lannoituskäsitteilyillä käytetyn kokonaistypen hyväksikäyttöaste oli alle 25 %. Samantapaisia tuloksia saatiin aiemmassa tutkimuksessa käytettäessä yhdyskuntajätekomposteja rehunurmen lannoitteena, korkein kokonaistypen hyväksikäyttöaste lannoitusvuonna oli 12 % (Tontti ym. 2009).

4 Yhteenveto

4.1 Maanparannusrae

4.1.1 Ohran lannoitus

Ensimmäiselle ohrakokeelle lisättiin raelannoituksessa suurimmillaan 240 kg kokonaistyppeä. Maltillisempi käyttömäärä (5 m³/ha) sisälsi 120 kg kokonaistyppeä ja mineraalityypitäydennettynä kokonaistypen käyttö oli yhteensä 170 kg/ha. Ohran sato oli ensimmäisessä ohrakokeessa alle 5 t/ha, eikä lannoitetun tai lannoittamattoman sadon välillä ollut eroja.

Kun maltillinen ja käyttösuosituksen mukainen raemäärä 5 m³/ha täydennettiin 50 kg lannoitetyypellä, oli jyvän typpipitoisuus samalla tasolla kuin ainoastaan mineraalilannoitusta 50 tai 100 kg/ha saaneilla kontrollikäsitteilyillä (N50, N100). Vastaavasti, myös jyvän kalsiumin, rikin, magnesiumin, kuparin, sinkin ja raudan pitoisuus oli maltillisen ja tyypitäydennetyt raelannoituksen jälkeen vähintään samalla tasolla kuin pienemmällä mineraalikontrollilla N50. Myös suurin raelannoitus 10 m³/ha tuotti vähintään saman hivenaineiden pitoisuuden. Kadmiumin, lyijyn, arseenin ja elohopean pitoisuus jyvässä ei muuttunut raelannoituksen vaikutuksesta merkitsevästi.

Raelannoituksen jälkivaikutus toisen vuoden aikana tuotti vain samantasoisien sadon kuin lannoittamaton peltomaa. Vuosittain mineraalilannoitusta saaneen ohran typpi-, kalsium- ja rikkipitoisuudet olivat suuremmat kuin orgaanisen lannoituksen jälkivaikutuksella kasvaneessa ohrassa. Myös jyvän hivenaineiden pitoisuudet olivat suurimmat mineraalilannoitetuilla kontrolleilla. Sopiva typpilannoituksen taso tuotti ilmeisesti mineraalilannoitetuille kontrolleille normaalin ravitsemuksellisen tilanteen, kun taas raelannoitus ei enää toisen vuoden aikana riittänyt kasvuston tarpeeseen.

Toisena vuonna heinäkuun loppupuolella peltomaan ammoniumtyypen pitoisuus oli suurimman raelannoituksen (10 m³/ha) vaikutuksesta suurempi kuin muilla lannoituskäsitteilyillä. Elokuun loppupuolella lehtivihreäseurannassa maltillinen raelannoitus tyypitäydennyksellä (Rae 5 N50) puolestaan kohotti hieman lehtivihreätasoa. Syksyllä sadonkorjuun aikaan maan ammonium- tai nitraattityypen pitoisuuksissa ei kuitenkaan ollut lainkaan lannoitusten välisiä eroja.

Toisen vuoden keväällä kaikki raelannoitukset saivat aikaan hieman suuremman peltomaan viljavuusfosforin tason verrattuna mineraalilannoitteella lannoitettuun.

Raelannoituksen jälkeen, toisen vuoden syksyllä maan liukoiset raskasmetallit (HAAc-EDTA) olivat samalla tasolla kuin muilla lannoituskäsitteilyillä. Lyijyn ja mangaanin kokonaispitoisuudet raelannoitussa maassa olivat toisen vuoden syksyllä hieman korkeammat kuin muiden lannoitusten jälkeen.

Maltillinen raelannoitus tyypitäydennettynä (Rae 5 N50) tuotti yhtä suuren jyvän typpisadon kuin suurempi mineraalikontrolli (N100). Tällä raelannoituksella myös typpisadon lisäys, eli lannoitetun typpisadon muutos lannoittamattomaan typpisatoon verrattuna, oli suurin. Ero mineraalilannoitetuihin kontrolleihin verrattuna ei kuitenkaan ollut tilastanalyysissä merkitsevä. Lannoiteaineissa lisätyn kokonaistypen hyväksikäyttöaste oli maltillisella raelannoituksella likimain suuren mineraalikontrollin (N100) tasoa, välillä 9-14 %.

Kahden vuoden aikana saatu ohran kumulatiivinen jyväsato jäi raelannoituksen jälkeen samalle tasolle kuin lannoittamaton sato. Siitä huolimatta kahden vuoden kumulatiivinen jyvän typpisato oli tyypitäydennetyt maltillisen raelannoituksen (Rae 5 N50) ansiosta suurempi kuin lannoittamattomalla ohralla. Myös lannoituksella aikaansaatu typpisadon lisäys oli mineraalikontrollien jälkeen suurin juuri maltillisella tyypitäydennetyllä raelannoituksella.

Toiselle ohrakokeelle lisättiin raelannoituksessa suurimmillaan 270–320 kg kokonaistypeä. Maltillisempi rakeen käyttömäärä (5 m³/ha) sisälsi 140 kg kokonaistypeä ja mineraalityypitäydennettynä kokonaistypen käyttö oli yhteensä 190 kg/ha. Ohran sato oli toisessa ohrakokeessa 5,0–6,6 t/ha. Maltillinen tyypitäydennetty raelannoitus tuotti vastaavan sadon kuin mineraalilannoituskontrollit (N50, N100) ja sato oli selvästi suurempi kuin lannoittamaton sato. Suuri raelannoitus (10 m³/ha) tuotti vastaavan sadon, mutta ei kuitenkaan nostanut jyväsatoa mineraalilannoituskontrolleja suuremmaksi, vaikka kokonaistypen käyttömäärä oli paljon suurempi.

Jyvän typpipitoisuus oli kaikilla raelannoituksilla suurempi kuin mineraalikontrollilannoituksella N50. Raelannoitus nosti jyvän kalsium-, rikki- ja natriumpitoisuutta suuremmaksi kuin lannoittamattomassa ja pienemmän kontrollilannoituksen saaneessa ohrassa. Suuri tyypitäydennetty raelannoitus (Rae 10 N50) nosti hivenaineiden pitoisuuksia jyvässä jopa suuremmaksi kuin mineraalikontrolli N100, mutta maltillinen raelannoitus tyypitäydennyksellä (Rae 5 N50) tuotti mineraalikontrolleja vastaavat pitoisuustasot.

Raelannoitetun ohran lehtivihreäpitoisuus oli heinä-elokuun aikana mineraalikontrollien lehtivihreätasojen välillä. Elokuun loppupuolella suuri raelannoitus tyypitäydennyksellä (Rae 10 N50) sai kuitenkin aikaan korkeamman lehtivihreätason kuin N100 mineraalikontrolli.

Heinäkuun loppupuolella peltomaan ammoniumtypen pitoisuus oli raelannoitusten vaikutuksesta suurempi kuin muilla lannoituskäsittelyillä. Samaan aikaan nitraatin pitoisuus oli maltillisen raelannoituksen ja tyypitäydennyksen (Rae 5 N50) ansiosta samalla tasolla kuin suurella mineraalikontrollilla N100. Syksyllä sadonkorjuun aikaan suurin tyypitäydennetty raelannoitus (Rae 10 N50) ja suurin tyypitäydennetty kompostilannoitus (Komposti 40 N50) saivat molemmat aikaan muita lannoituksia suuremman maan nitraattitypen pitoisuuden.

Suurin raelannoitus (Rae 10) nosti maan viljavuusfosforin pitoisuutta syksyllä. Viljavuusrikin pitoisuus kohosi kaikilla raelannoituksilla mineraalikontrollilannoituksia korkeammaksi, samoin kuin maan johtoluku.

Maan liukoinen sinkkipitoisuus (HAAc-EDTA) nousi suurimman raelannoituksen jälkeen suuremmaksi kuin mineraalilannoitetussa maassa, mutta muilla raelannoituksilla eroa ei ollut. Maan kokonaismetallipitoisuudet raelannoitetussa maassa olivat samaa tasoa kuin mineraalilannoitetussa maassa.

Maltillinen raelannoitus tyypitäydennettynä (Rae 5 N50) tuotti yhtä suuren jyvän typpisadon kuin suurempi mineraalikontrolli (N100). Tällä raelannoituksella myös typpisadon lisäys, eli lannoitetun typpisadon muutos lannoittamattomaan typpisatoon verrattuna, oli yhtä suuri kuin mineraalikontrollilla N100. Suurimmat raelannoitukset tuottivat myös vastaavat tulokset. Lannoiteaineissa lisätyn kokonaistypen hyväksikäyttöaste oli maltillisella tyypitäydennetyllä raelannoituksella (Rae 5 N50) lähellä suuren mineraalikontrollin (N100) tasoa. Tällä raelannoituksella kokonaistypen hyväksikäyttöaste oli 24 %, kun N100 mineraalilannoituksella osuus oli 51 %.

4.1.2 Nurmikon perustaminen ja lannoitus

Nurmikon perustamiskokeessa maanparannusraetta käytettiin kahdella tasolla, kaksi tai kymmenen litraa neliömetrille. Perustamisen jälkeen tehdyissä kasvalannoituksissa vuonna 2009 käytettiin raeruuduille edelleen raetta (0,2 litraa/m²), kun taas muille lannoitetuille nurmikkoruuduille annettiin mineraalilannoitetta. Suurin raemäärä 10 litraa neliölle (Rae 10) sai usein aikaan tummemman vihreän värin ja korkeamman kasvuston kuin muut käsittelyt. Keväällä 2009 havaitut erot johtuvat nurmikon perustamiseen käytetystä raemäärästä. Kesän aikana havaituissa eroissa voi kuitenkin olla mukana myös kasvalannoituksen vaikutusta, sillä kasvalannoitus rakeella lisäsi kesän aikana nurmikolle yli 100 kg kokonaistypeä hehtaarille. Kasvalannoitus mineraalilannoitteella lisäsi puolestaan noin 80 kg typeä, joka tosin oli kaikki helpoliukoisessa muodossa.

Heti nurmikon perustamisen jälkeen syksyllä maan typpipitoisuudet raetta sisältävässä kasvualustassa olivat korkeintaan normaalisti lannoitetun kontrollin tasolla. Viljavuusravinteista kalsiumin ja rikin pitoisuus, sekä maan johtoluku kohosivat suuren raemäärän kasvualustassa.

Keväällä 2009, ennen ensimmäistä kasvulannoitusta, suurimman raemäärän kasvualustassa (Rae 10) ammonium- ja nitraattitypen määrät olivat nousseet muita kasvualustoja korkeammalle. Ammoniumpitoisuus oli korkealla myös elokuun alussa. Kaikissa kesän 2009 näytteenotoissa johtoluku, fosfori, kalsium ja rikki olivat suuren raemäärän kasvualustassa muita korkeammalla. Nämä erot olivat merkitseviä myös pienen raemäärän (Rae 2) ja suuren raemäärän (Rae 10) välillä, joten rakeella tehty kasvulannoitus ei ole peittänyt perustamistason vaikutusta. Muutoin pienemmän raemäärän kasvualustassa oli vähintään vastaavat ravinnepitoisuudet kuin normaalissa kasvualustassa. Korkeimmat kromin, kuparin, sinkin ja raudan liukoiset pitoisuudet olivat suuren raemäärän (Rae 10) kasvualustassa. Myös kromin ja kuparin kokonaispitoisuudet olivat kohonneet vastaavasti.

Vanhan nurmikon lannoituskokeessa maanparannusraetta käytettiin kahdella tasolla, 0,2 tai 1,0 litraa neliömetrille. Vertailukäsittelyä oli normaali mineraalilannoite. Kaikkein tummin nurmikon väri ja korkein kasvusto oli yleensä suurella raelannoituksella (Rae 1). Raelannoituksen suurempi määrä kohotti myös maan typpipitoisuutta sekä ensimmäisenä että toisena syksynä. Myös viljavuusravinteiden pitoisuudet ja johtoluku pääsääntöisesti kohosivat suuren raelannoituksen vaikutuksesta.

Toisena syksynä 2009 suurempi raelannoitus (Rae 1) aiheutti liukoisen kadmiumin, kuparin ja sinkin pitoisuuden nousun muita korkeammalle tasolle. Samaan aikaan myös kromin ja kuparin kokonaispitoisuus oli noussut muita lannoituksia korkeammaksi.

4.1.3 Johtopäätökset rakeen käytöstä

Ohran lannoituksessa maanparannusrae vaatii helppoliukoisen typen täydennystä, jotta ohran typpitarve saadaan täytettyä. Toisaalta liian suuria raemääriä ei pidä käyttää, koska vaarana on haitallisten aineiden kertyminen maahan ja kasvukauden lopulla tapahtuvat ravinnehävikit. Maltillisella raelannoituksella ja sen tyypitäydennyksellä ohra voi tuottaa samantasoisien sadon kuin typpilannoituskontroleilla. Raelannoituksen avulla on mahdollista kohottaa viljavuusfosforin ja -rikin pitoisuutta peltomaassa. Maanparannusrakeen sopiva käyttömäärä ohralle on näiden tulosten perusteella käyttösuosituksen mukainen 7 m³/ha tai hieman sitä pienempi. Tärkeää on samalla minimoida tuotteen mukana peltomaahan kulkeutuvien haitallisten metallien määrä ja varmistaa ettei suurin sallittu kadmiumkuormitus ylitä.

Maanparannusrakeen lannoitusvaikutus toisena vuonna kompostin käytön jälkeen on heikko. Käyttövuo-
den jälkeen tarvitaan lannoitetypitäydennys normaalin ohrasadon tuottamiseen. Tämän aineiston perusteella ei selvinnyt, minkä verran toisen vuoden typpilannoitusta olisi mahdollista pienentää rakeesta toisen vuoden aikana vapautuvan typen avulla.

Nurmikon perustamisessa maanparannusrakeen sopiva käyttömäärä on lähempänä kahta litraa neliölle, kuin kymmentä litraa neliölle. Pienempi käyttömäärä soveltui nurmikon perustamiseen melko hyvin, sillä maan ravinnepitoisuudet olivat vuosi nurmikon perustamisen jälkeen yleensä samalla tasolla kuin normaalissa kasvualustassa. Vanhan nurmikon toistuvassa lannoituksessa sovelias pellettilannoituksen käyttömäärä voi olla hieman suurempi kuin 0,2 litraa neliölle, mutta kuitenkin selvästi pienempi kuin 1 litra neliölle. Pelletti on kätevää käsitellä ja levittää myös kasvuston sekaan.

4.2 Maanparannuskomposti

4.2.1 Ohran lannoitus

Ensimmäiselle ohrakokeelle lisättiin kompostilannoituksessa suurimmillaan 220 kg kokonaistyppeä. Pienempi käyttömäärä (20 m³/ha) sisälsi 110 kg kokonaistyppeä ja mineraalityppitäydennettynä kokonaistypen käyttö oli yhteensä 160 kg/ha. Ohran sato oli ensimmäisessä ohrakokeessa alle 5 t/ha, eikä lannoitetun tai lannoittamattoman sadon välillä ollut eroja.

Kun käyttösuosituksen mukainen kompostimäärä 20 m³/ha täydennettiin 50 kg lannoitetyypellä, oli jyvän typpipitoisuus samalla tasolla kuin ainoastaan mineraalilannoitusta 50 tai 100 kg/ha saaneilla kontrollikäsitteilyillä (N50, N100). Vastaavasti, myös jyvän kalsiumin, rikin, magnesiumin, kuparin ja sinkin pitoisuus oli typpitäydennetyt kompostilannoituksen jälkeen vähintään samalla tasolla kuin pienemmällä mineraalikontrollilla N50. Kadmiumin, lyijyn, arseenin ja elohopean pitoisuus jyvässä ei muuttunut kompostilannoituksen vaikutuksesta.

Kompostilannoituksen jälkivaikutus toisen vuoden aikana tuotti vain samantasaisen sadon kuin lannoittamaton peltomaa. Vuosittain mineraalilannoitusta saaneen ohran typpi-, kalsium- ja rikkipitoisuudet olivat suuremmat kuin orgaanisen lannoituksen jälkivaikutuksella kasvaneessa ohrassa. Myös jyvän hivenaineiden pitoisuudet olivat suurimmat mineraalilannoitetuilla kontroleilla, lukuun ottamatta lyijypitoisuutta. Toisen vuoden jyvässä suurin lyijypitoisuus oli 20 mg/kg kompostilannoituksen jälkeen. Kompostilannoituksen tuomat ravinteet eivät toisen vuoden aikana enää riittäneet kasvuston tarpeeseen.

Toisena vuonna heinäkuun loppupuolella peltomaan ammoniumtypen pitoisuus oli typpitäydennetyt 20 m³ kompostilannoituksen vaikutuksesta suurempi kuin lannoittamattomassa maassa. Elokuunpuolenvälin jälkeen lehtivihreäseurannassa typpitäydennetyt kompostilannoitukset (Komposti 20 N50 ja Tuorekomposti 20 N50) kohottivat hieman lehtivihreätasoa. Mineraalilannoituskontrollien lehtivihreätaso oli kuitenkin silloinkin selkeästi muita käsitteilyjä korkeammalla. Syksyllä sadonkorjuun aikaan maan ammonium- tai nitraattitypen pitoisuuksissa ei kuitenkaan ollut lainkaan lannoitusten välisiä eroja.

Toisen vuoden keväällä kaikki kompostilannoitukset saivat aikaan hieman suuremman peltomaan viljavuusfosforin tason verrattuna mineraalilannoitettuun maahan.

Kompostilannoituksen jälkeen, toisen vuoden syksyllä maan liukoiset raskasmetallit (HAAc-EDTA) olivat samalla tasolla kuin muilla lannoituskäsitteilyillä. Arseenin ja mangaanin kokonaispitoisuudet kompostilannoitetussa maassa olivat toisen vuoden syksyllä hieman korkeammat kuin muiden lannoitusten jälkeen.

Kompostilannoitetun ohranjyvän typpisato oli samansuuruinen tai korkeintaan hieman suurempi kuin lannoittamattoman jyvän typpisato. Typpitäydennetty tuorekomposti puolestaan tuotti mineraalikontrolli- ja vastaavan typpisadon. Kompostilannoituksen tuottama typpisadon lisäys oli alle 9 kg. Typpitäydennetty tuorekomposti (Tuorekomposti 20 N50) puolestaan tuotti vastaavan jyvän typpisadon lisäyksen kuin mineraalikontrollit (12–15 kg). Kompostilannoituksissa lisätyn kokonaistypen hyväksikäyttöaste oli kaikissa tapauksissa alle 10 %.

Kahden vuoden aikana saatu ohran kumulatiivinen jyväsato jäi kompostilannoituksen vaikutuksesta samalle tasolle kuin lannoittamaton sato. Myös kahden vuoden kumulatiivinen jyvän typpisato oli vastaava kuin lannoittamattomalla ohralla. Kompostilannoituksella aikaansaatu typpisadon lisäys oli kahden vuoden aikana pieni, enimmillään vain 8 kg. Lannoituksissa peltoon lisätyn typen käytön tehokkuus kahden koevuoden aikana oli yli 100 % vain pienillä lannoitusmäärillä mineraalikontrolli N50 ja Komposti 20. Tällä kompostilannoituksella tuotettu jyvän typpisato 129 kg oli kompostilannoituksessa annettua kokonaistypen määrää (110 kg/ha) suurempi.

Toiselle ohrakokeelle lisättiin kompostilannoituksessa suurimmillaan 200–250 kg kokonaistyppeä. Keskimäinen kompostin käyttömäärä (20 m³/ha) sisälsi 100 kg kokonaistyppeä ja mineraalityppitäydennettynä kokonaistypen käyttö oli yhteensä 150 kg/ha. Ohran sato vaihteli toisessa ohrakokeessa välillä 5,0–6,6 t/ha. Kompostilannoitus edellytti typpitäydennystä jotta saatiin mineraalikontrolleja vastaava sato. Pelkällä kompostilannoituksella jyväsato jäi samalle tasolle kuin lannoittamaton sato. Käyttösuositukseen nähden kaksinkertainen kompostilannoitus (Komposti 40) ei nostanut jyväsatoa lannoittamatonta suuremmaksi. Myöskään typpitäydennetty käyttöohjeeseen nähden kaksinkertainen kompostilannoitus (yhteensä 250 kg) ei tuottanut suurempaa satoa kuin mineraalikontrollilla annettu normaalilannoitus.

Jyvän typpipitoisuus oli typpitäydennetyillä kompostilannoituksilla suurempi kuin mineraalikontrollilannoituksella N50, mikäli käytettiin typpitäydennystä. Mikäli kompostia käytettiin yksinään, joko 20 tai 40 m³/ha, oli jyvän typpipitoisuus sama kuin pienemmällä mineraalilannoituksella N50. Kompostilannoitus nosti jyvän kalsium- ja rikkipitoisuuden suuremmaksi kuin lannoittamattomassa ja pienemmän kontrollilannoituksen saaneessa ohrassa. Useimmissa tapauksissa typpitäydennetyt kompostilannoitukset nostivat jyvän hivenaineiden pitoisuudet mineraalikontrollien tuottamien tasojen välille.

Kompostilannoitetun ohran lehtivihreäpitoisuus saattoi heinä-elokuun aikana olla lähellä mineraalikontrollia N100, mikäli oli käytetty typpilisäystä. Elokuun loppupuolella keskimäinen ja suurin kompostilannoitus tuottivat korkeamman lehtivihreätason kuin N100 mineraalikontrolli.

Heinäkuun loppupuolella nitraatin pitoisuus oli typpitäydennetyt kompostilannoituksen ansiosta vähintään samalla tasolla kuin suurella mineraalikontrollilla N100. Samaan aikaan peltomaan ammoniumtypen pitoisuus ei kompostilannoitusten vaikutuksesta ollut lannoittamatonta suurempi. Syksyllä sadonkorjuun aikaan sekä suurin typpitäydennetty kompostilannoitus (Komposti 40 N50) että suurin typpitäydennetty raelannoitus saivat aikaan maan nitraattitypen pitoisuuden nousun. Näillä lannoituksilla maassa oli nitraattia 13 kg/ha, kun muilla lannoituksilla maassa oli syksyllä alle 6 kg nitraattityppeä hehtaarilla.

Typpitäydennetyt kompostilannoitukset nostivat maan viljavuusfosforin pitoisuutta syksyllä. Viljavuusrikin pitoisuus kohosi suurimmalla kompostilannoituksella mineraalikontrollilannoituksia korkeammaksi, samalle tasolle kuin raelannoituksilla.

Maan liukoinen sinkkipitoisuus (HAAc-EDTA) nousi suurimman typpitäydennetyt kompostilannoituksen jälkeen suuremmaksi kuin mineraalilannoitetussa maassa. Sinkkipitoisuuden nousevaa suuntausta oli myös muilla kompostilannoituksilla, mutta vaikutus ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Suurin typpitäydennetty kompostilannoitus (Komposti 40 N50) kohotti kadmiumin, lyijyn ja arseenin kokonaispitoisuutta maassa. Muutoin pitoisuudet eivät muuttuneet.

Typpitäydennyksen avulla kompostilannoitukset tuottivat yhtä suuren jyvän typpisadon kuin suurempi mineraalikontrolli (N100). Myös typpisadon lisäys vastasi useimmiten suuremman mineraalilannoituskontrollin N100 aikaansaamaa typpisadon lisäystä, kun kompostin lisäksi käytettiin typpitäydennystä. Lannoiteaineissa lisätyn kokonaistypen hyväksikäyttöaste oli keskimmaisella ja pienellä typpitäydennetyllä kompostilannoituksella lähellä mineraalikontrollin N100 tasoa. Näillä kompostilannoituksilla kokonaistypen hyväksikäyttöaste oli 31–40 %, kun mineraalilannoituksella N100 osuus oli 51 %.

4.2.2 Nurmikon perustaminen

Nurmikon perustamiskokeessa maanparannuskompostia käytettiin kahdella tasolla, 10 tai 50 litraa neliömetrille. Perustamisen jälkeen tehdyissä kasvulannoituksissa vuonna 2009 käytettiin kompostiruuduille ja normaalisti perustetuille kontrolliruuduille mineraalilannoitetta. Suurella kompostimäärällä 50 litraa neliölle (Komposti 50) perustettu nurmikko oli monessa havaintoajankohdassa värin tummuuden ja kasvuston korkeuden suhteen toiseksi korkein, kun suurin raemäärä oli korkein.

Heti nurmikon perustamisen jälkeen syksyllä liukoisen typen pitoisuus kompostia sisältävässä kasvualustassa oli kohonnut pienemmän kompostimäärän nurmikossa.

Keväällä 2009, ennen ensimmäistä kasvulannoitusta, suurimman kompostimäärän kasvualustassa (Komposti 50) ammoniumtypen määrä oli noussut normaalia kasvualustaa korkeammalle. Tuolloin myös kasvualustan viljavuusfosforin pitoisuus oli suuren kompostimäärän kasvualustassa kohonnut. Elokuun alussa ammoniumpitoisuus oli edelleen korkealla. Pienemmän kompostimäärän kasvualustassa oli vähintään vastaavat ravinnepitoisuudet kuin normaalissa kasvualustassa. Kromin, sinkin ja raudan liukoiset pitoisuudet olivat suuren kompostimäärän (Komposti 50) kasvualustassa suuremmat kuin normaalissa kasvualustassa. Pienen kompostimäärän kasvualustassa (Komposti 10) kromi- ja sinkkipitoisuudet olivat kuitenkin samalla tasolla kuin normaalikasvualustassa. Lyijyn kokonaispitoisuus oli yllättäen korkein lannoittamattomassa kasvualustassa.

4.2.3 Johtopäätökset kompostin käytöstä

Ohran lannoituksessa maanparannuskomposti vaatii helppoliukoisen typen täydennystä, jotta ohran typpitarve saadaan täytettyä. Toisaalta liian suurta kompostimäärää ei voi käyttää, koska vaarana on haitallisten aineiden, etenkin kadmiumin, kertyminen maahan. Suurilla käyttömäärillä myös kasvukauden lopulla tapahtuvat ravinnehävikit saattavat lisääntyä. Enintään 20 m³ kompostilannoitus yhdistettynä helppoliukoiseen 50 kg:n lannoitetyypitäydennykseen voi tuottaa samantasoisen ohrasadon kuin lannoitussuosituksen mukainen typpilannoituskontrolli (100 kg typpeä). Tällöin kompostilannoituksen lisäksi ohralle käytettävä lannoitetyypin täydennys olisi noin puolet ympäristötuen sallimasta liukoisen typen maksimimäärästä. Tyypitäydennetyt kompostilannoituksen avulla on myös mahdollista kohottaa viljavuusfosforin ja -rikin pitoisuutta peltomaassa. Kun maanparannuskompostia käytetään käyttösuosituksen mukaan, pysyy haitallisten vaikutusten riski alhaisena.

Maanparannuskompostin lannoitusvaikutus toisena vuonna kompostin käytön jälkeen on heikko. Käyttövuoden jälkeen tarvitaan lannoitetyypitäydennys normaalin ohrasadon tuottamiseen. Tämän aineiston perusteella ei selvinnyt, minkä verran toisen vuoden typpilannoitusta olisi mahdollista pienentää kompostin orgaanisesta aineksestä vapautuvan typen avulla.

Nurmikon perustamiseen käytettävän maanparannuskompostin sopiva käyttömäärä on lähempänä kymmentä kuin viittäkymmentä litraa neliölle. Pienempi käyttömäärä soveltui nurmikon perustamiseen melko hyvin. Maan ravinnepitoisuudet olivat vuosi nurmikon perustamisen jälkeen yleensä samalla tasolla kuin normaalissa kasvualustassa.

5 Kirjallisuus

- Antikainen, R., Lemola, R., Nousiainen, J.I., Sokka, L., Esala, M., Huhtanen, P. & Rekolainen, S. 2005. Stocks and flows of nitrogen and phosphorus in the Finnish food production and consumption system. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 107: 287–305.
- Evara 2010. Lannoitevalmisteita koskeva keskeinen lainsäädäntö. www.evira.fi > Kasvintuotanto ja rehut > Lannoitevalmisteet > Lainsäädäntö (vierailtu 9.9.2010)
- Halinen, A., Palojärvi, A., Karinen, P., Heinonen-Tanski, H., Tontti, T. 2007. Jätekompostit lannoitteena peltoviljelyssä - biologiset ja kemialliset vaikutukset : 2. korjattu painos. Maa- ja elintarviketalous 81: 105 s. <http://www.mtt.fi/met/pdf/met81a.pdf>
- Huang, C-Y. & Schulte, E. 1985. Digestion of plant tissue for analysis by ICP emission spectroscopy. *Communications In Soil Science and Plant Analysis* 10 (9): 949-958.
- Kenward, M.G. & Roger, J.H. 1997. Small sample inference for fixed effects from restricted maximum likelihood. *Biometrics* 53: 983-997.
- Lakanen, E. & Erviö, R. 1971. A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils. *Suomen Maataloustieteellisen seuran julkaisu* 123: 223-232.
- Lehtonen, K., Tontti, T., Kuisma, M. 2003. Biojäte- ja lietekompostien käyttömahdollisuudet kasvintuotannossa. Maa- ja elintarviketalous 28: 120 s. + 5 liitettä. <http://www.mtt.fi/met/pdf/met28.pdf>
- Littell, R.C., Milliken, G.A., Stroup, W.W., Wolfinger, R.D., & Schabenberger, O. 2006. SAS for Mixed Models, Second Edition. Cary, NC: SAS Institute Inc. 814 p.
- Maa- ja metsätalousministeriö 2009. Lannoitevalmistesektorin tulevaisuuskatsaus vuosille 2009-2013. Työryhmämuistio MMM 2009:1. (ISBN 978-952-453-456-7 (pdf))
- MMMa 12/2007. Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista.
- Mulvaney, R.L. 1996: Extraction of exchangeable ammonium and nitrate. Teoksessa: Sparks, D.L. (toim.). *Methods of soil analysis: Part 3. Soil Science Society of America Book Series 5. Madison, Wisconsin: Soil Science Society of America and American Society of Agronomy.* s. 1129-1131.
- Mäkelä-Kurtto, R., Eurola, M. & Laitonen, A. 2007a. Monitoring programme of Finnish arable land: Agua regia extractable trace elements in cultivated soils in 1998. *Agrifood Research Reports* 104. 61 s. ISBN 978-952-487-115-0 (painettu). ISBN 978-952-487-116-7 (verkkojulkaisu).
- Mäkelä-Kurtto, R., Laitonen, A., Eurola, M., Vuorinen, A., Pasanen, T., Rankanen, R., Suominen, K., Laakso, P., Tarvainen, T., Hatakka, T. & Salopelto, J. 2007b. Field balances of trace elements at the farm level on crop and dairy farms in Finland in 2004. *Agrifood Research Reports* 111. 131 s. ISBN 978-952-487-133-4 (painettu). ISBN 978-952-487-134-1 (verkkojulkaisu).
- Orava, H., Matilainen, A., Halinen, A., Tontti, T. & Nordman, T. 2004. Kompostista ja tuhkasta rakeistamalla lannoitevalmistetta. Mikkelin ammattikorkeakoulu. A: Tutkimuksia 14: 118 p.
- Sirviö, J. (toim.) 2009. Viheralueiden kasvualustat. Viherystöliitto ry. Julkaisu 31. ISSN 1238-8734.
- Sitra 2009. Kansallinen luonnonvarastrategia: Älykkäästi luonnon voimin. (ISBN 978-951-563-667-6 (pdf)) www.sitra.fi/luonnonvarastrategia

Tike 2009. Maatilatilastollinen vuosikirja 2009. Suomen virallinen tilasto. Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus Tike. Helsinki. ISSN 1795-5165.

Tilastokeskus 2010. www.tilastokeskus.fi

Tontti, T., Heinonen-Tanski, H., Karinen, P., Reinikainen, O. & Halinen, A. 2010. Maturity and hygiene quality of composts and hygiene indicators in agricultural soil fertilised with municipal waste or manure compost. *Waste Management & Research*. (In press). 10.1177/073424X10361511.

Tontti, T., Nykänen, A. & Kuisma, M. 2009. Waste composts as a forage grass fertilizer. *Agricultural and Food Science* 18: 57-75.

VnA 931/2000. Valtioneuvoston asetus maataloudesta peräisin olevien nitraattien vesiin pääsyn rajoittamisesta.

VnP 282/1994. Valtioneuvoston päätös puhdistamolietteen käytöstä maanviljelyksessä.

Ympäristöministeriö 2008. Kohti kierrätysyhteiskuntaa - Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2016. Suomen ympäristö 32/2008. (ISBN 978-952-11-3216-2 (pdf))

Ympäristöministeriö 2010. Biohajoavista jätteistä enemmän energiaa. Biojäte-energiatyöryhmän raportti. Ympäristöministeriön raportteja 3/2010. (ISBN 978-952-11-3720-4 (pdf))

Ympäristöhallinto 2010. www.ymparisto.fi > Ympäristön tila > Jätteet

MTT TEKEE TIETEESTÄ ELINVOIMAA

MTT RAPORTTI₁₀

www.mtt.fi/julkaisut

MTT Raportti -verkkojulkaisusarjassa julkaistaan maatalous- ja elintarviketutkimusta sekä maatalouden ympäristötutkimusta käsitteleviä tutkimusraportteja. Lukijoille tarjotaan tietoa MTT:n kaikilta tutkimusaloilta eli biologiasta, teknologiasta ja taloudesta.

MTT, 31600 Jokioinen.

Puh. (03) 4188 2327, sähköposti julkaisut@mtt.fi

