



Puuhiilen vaikutus typen ja fosforin huuhtoutumiseen sekä kasvuun kasvatuslaboratoriokokeessa

Tiivistelmä

1. Johdanto
2. Aineisto ja menetelmät
3. Tulokset
4. Tulosten tarkastelu
5. Lähteet
6. Liitteet

Tiivistelmä

Opiskelijatyönä toteutettiin keväällä 2013 koe, jossa tutkittiin pelletöidyn biohiilen (5 tn/ha) vaikutusta typen ja fosforin huuhtoutumiseen ohran kasvualustasta sekä ohran sadonmuodostukseen. Biohiili lisättiin pelletteinä maahan ja biohiili-pelletin koostumus oli 33,3 m-% biohiiltä ja 66,6 m-% hienonnettua puuta .

Pelletöity biohiili viivästytti tuleentumista tilastollisesti merkittävästi samalla lannoitustasolla olleeseen verranteeseen nähden. Typen ja fosforin huuhtoutumiseen pelletöidyllä biohiilellä (5 tn/ha) ei ollut tilastollisesti merkittävää vaikutusta, joskin huuhtoutumista vähentävää vaikutusta kannattaisi tutkia suuremmalla biohiilimäärällä, esim. 10 tn/ha tai 20 tn/ha. Tuloksista oli kuitenkin vaikea erottaa pelkän biohiilen vaikutusta pelletöintiin käytetyn orgaanisen hiilen vaikutuksesta.



Eeva-Liisa Juvonen

1. Johdanto

Biohiili on epäorgaanista hiiltä ja sillä on todettu olevan monia maata parantavia vaikutuksia; mm. sen on todettu parantavan maan mikrobiologista aktiivisuutta tarjoamalla mikrobeille turvapaikkoja sekä lisäävän kationinvaihtokapasiteettia¹. Maassa olevan typen (pääas. NO_3^- ja NH_4^+) kierrossa tärkeämpi merkitys on mikrobiologisella sitoutumisella kuin kemiallisella sitoutumisella maan kationinvaihtopinnoille. Mikrobiologisesti typpi sitoutuu maassa oleviin erilaisiin typpibakteereihin, jotka vapauttavat sitä myöhemmin kasvin käyttöön. Maassa olevan orgaanisen aineen määrästä suhteessa typpimäärään riippuu typen mikrobiologinen vapautuminen sekä sen sitoutuminen orgaaniseen ainekseen. Kationinvaihtopinnoille sitoutuvat positiivisista ioneista pääosin Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ ja NH_4^+ vähäisissä määrin². Fosforin pidättyminen epäorgaaniseen ainekseen on kuvattu tarkasti, mutta epäorgaaniseen ainekseen pidättyminen on vielä epäselvää^{3,4}.

Typen sitoutuminen orgaaniseen ainekseen maassa ja vapautuminen siitä on mikrobiologinen prosessi. Kun typpi sitoutuu orgaanisen aineksen hiileen suhteessa 25:1 - 35:1 (esim. 25 kg C ja 1 kg N), typpi on suojassa huuhtoutumiselta ja aerobista kompostoitumista alkaa tapahtua. Kompostoitumisessa osa hiilestä haihtuu hiilidioksidina ilmaan ja typpeä vapautuu joko kasvien kasvuun tai uuden hiilimäärän kompostoitumiseen^{5,6}. Kasvinjätteiden kuiva-aineen hiilipitoisuus yleensä on 45 % ja typpipitoisuus 0,1-2,6 %⁵ kasvilajista ja sen kuivumisasteesta riippuen. Kasvinjätteet sisältävät hiiltä ja typpeä eri suhteissa, esimerkiksi nuoren palkokasvinurmen C/N suhde on noin 10-15 ja tuleentuneiden viljan olkien noin 70-80. Nuorista palkokasvien jätteistä typpi irtoaa nopeasti maahan ja kasvien lannoitukseen, koska niillä C/N suhde on pieni. Olkien lisääminen maahan sen sijaan alkaa kuluttaa liukoisia typpivarjoja oljen hajottamiseen - kompostoitumiseen ja vaikeuttaa mahdollisen satokasvin typenottoa.⁷ Lehtipuiden sahanpuru on erittäin hiilipitoista, sen hiilityppi-suhde on 500:1⁸.

Fosforin sitoutuminen maahan on kemiallinen ja mikrobiologinen prosessi⁴. Epäorgaaninen fosfori (H_2PO_4^-), esimerkiksi väkilannoitefosfori, pidättyy maan kivennäisainekseen Al- ja Fe-ionien välityksellä. Osa fosforista on myös liukoisena maavedessä. Liukoisen fosforin osuuden arvellaan olevan pieni pidättyneeseen fosforiin verrattuna. Orgaanisen aineksen vaikutus fosforitalouteen näkyy tutkimusten mukaan epäsuorasti siten, että mitä enemmän maassa on orgaanista ainetta, sitä syvemmälle maan kivennäisfraktioon fosfori pidättyy.^{2,3}

Biohiilen käyttö on vanha ilmiö suomalaisessa peltoviljelyssä. Kaskiviljelyn köyhdyttämiä peltoja "rikastettiin" polttamalla puuta kasoissa ja niiden päälle oli laitettu pintamaata tarkoituksena, että puut kytisivät anaerobisesti muutaman päivän. Kytemisen jälkeen syntynyt hiili muokattiin maahan. Peltoja sanottiin kydöiksi ja parhaimmillaan 100 000 ha oli kyöinä. Myös soita kydötettiin eli turve poltettiin em. tavalla, sen jälkeen kun soita oli kuivatettu ojjittamalla. Menetelmä levisi Inkerinmaahan, Vätjaan, Karjalaan, Viroon, Latviaan, Vepsään, Venäjälle, Ruotsiin ja Baltian saksalaisten keskuuteen. Kyttöjen iäksi on arvioitu n. 1460 v. cal BP.⁹



Eeva-Liisa Juvonen

Suomalaisia koetuloksia biohiilen vaikutuksesta peltomaassa on julkaistu vuosien 2011 ja 2012 kenttäkokeista. Kenttäkokeissa biohiilen on todettu lisäävän maan vedenpidätystä, kun N-lannoitusta annettiin 130 kg/ha ja biohiilen määrä oli 10 tn/ha, maan kaliumpitoisuutta, kun biohiilen määrä oli 20 ja 30 tn/ha sekä palko- ja ristikukkaiskasvin satoa käyttövuoden jälkeisenä kasvukautena, kun N-lannoituksen määrä oli 130 kg/ha ja biohiilen määrä 10 tn/ha. Ensimmäisenä satovuonna biomassa lisääntyi, kun N-lannoitusta annettiin 150 kg/ha ja biohiilen määrä oli 10 tn/ha. Biohiilen käyttövuonna sen havaittiin pidättävän maan typpivarjoja. Viiden tonnin biohiilimäärä/ha vähensi biomassan määrää sekä 98 kg:n että 150 kg:n typpitasolla ja 98 kg:n typpitasolla jopa tilastollisesti merkittävästi. Biohiilen 5 tonnin hehtaarikäyttömäärällä ei yleensä ole ollut positiivisia vaikutuksia.^{10, 11} Palko- ja ristikukkaiskasvien sadonlisäyksen käyttövuoden jälkeisenä kasvukautena arveltiin liittyvän biohiililisäyksen saaneiden koeruutujen paremmasta vedenpidätyskyvystä johtuneeseen parempaan itämisasteeseen¹¹.

Ruotsissa on analysoitu maata, jonne oli vuosina 1920-1945 laitettu puuhiiltä jätteenä läheisestä polttouunista. Määrät olivat 50 - 200 kertaa suuremmat kuin suomalaisissa kokeissa käytetyt - n. 1000 tn/ha. Todettiin, että biohiili vähensi tiivistymistä ja paransi vedenpidätystä. Lisäksi havaittiin, että maassa oli 2-10 kertaa enemmän helpoliukoisia, kasveille käyttökelpoisia ravinteita fosforista, kaliumista, sulfaatista, boorista, kaliumista ja magnesiumista sekä sinkistä. Helpoliukoisen raudan määrää biohiili vähensi, alumiinin ja mangaanin määrään sillä ei ollut vaikutusta. Ravinteiden lähteeksi arveltiin läheisen polttouunin tuhka tai viljelystä sinne kertyneet ravinteet. Tavallista paremmat sadot olivat kuitenkin poistaneet myös tavallista enemmän ravinteita maasta, mutta siitä huolimatta helpoliukoisia ravinteita siellä oli enemmän. Hyvien satojen arveltiin myös ehkäisevän ravinteiden huuhtoutumista.¹²

2. Aineisto ja menetelmät

Kokeen tavoitteena oli tutkia pelletöidyn biohiilen käytön vaikutusta typen ja fosforin huuhtoutumiseen sekä ohran sadonmuodostukseen. Koe tehtiin opiskelijatyönä opetuslaboratoriossa keväällä 2013. Koe oli luonteeltaan esiselvitys, eivätkä koejärjestely täyttäneet täysin tieteelliselle tutkimukselle asetettuja vaatimuksia. Koe oli syksyllä 2012 kentälle kylvetyn syysrukiin sisarkoe biohiilen määrän osalta (5 tn/ha), mutta käytettyjen tyyppi, fosfori ja kaliumin määrät poikkesivat toisistaan.

Koejäsenet

Koejäseninä olivat lannoittamaton (koejäsen 1), lannoitettu (koejäsen 3) ja lannoitettu + biohiili 5 tn/ha (koejäsen 4). Lisäksi koejärjestelyn luotettavuuden varmistamiseksi oli keskimääräinen lannoitus (koejäsen 2) ilman biohiililisäystä (Taulukko 1). Lannoitteena käytettiin moniravinnelannoitetta (27-3-5). Kerranteita oli neljä ja koejäsenet asetettiin kerranteissa samaan järjestykseen (Kaavio 1).

	N, kg/ha	P kg/ha	K, kg/ha	Biohiili
Koejäsen 1:	0	0	0	



Eeva-Liisa Juvonen

Koejäsen 2:	80	9	14	
Koejäsen 3:	120	13	23	
Koejäsen 4:	120	13	23	kyllä

Taulukko 1. Koejäsenet

A-kerranne				B-kerranne				C-kerranne				D-kerranne			
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4

Kaavio 1. Koejäsenet ja niiden järjestys eri kerranteissa

Kasvualustana oli runsasmultainen hiekkainen karkea hieta (hkKHT), ja sen P-arvot olivat korkeita, pH noin 7 ja K-arvot hyviä.

Kokeen perustaminen ja hoito sekä sadonkorjuu

Koe perustettiin 22.1.2013. Kasvatusalustoina toimivat 35 cm x 55 cm:n laatikot (a' 0,1925 m²). Laatikoiden pohjissa oli reiät (1 kpl/laatikko) huuhtoutuvien vesien keräämistä varten. Laatikon pohjalle laitettiin n. 7 cm:n kevytsora kerros, jonka päälle kuitukangas. Kevytsorakerros toimi ylimääräisen veden kerääjänä. Kuitukankaan päälle laitettiin noin 30 cm:n maakerros. Biohiili sekoitettiin 7 cm:n pintakerrokseen, siemenet asetettiin (96 kpl = n. 275 kg/ha) neljään poikkiriviin 3 cm:iin ja lannoitteet kahteen poikkiriviin 5 cm:iin.

Laatikoihin asetettiin Kivikankaan automaattinen kipsiblokkiin perustuva kastelujärjestelmä, jokaiseen laatikkoon kaksi blokkia ja neljä pientä tippukasteluletkua. Veden säätely perustui kipsiblokkien mittaamaan maan kuivuuteen. Kastelujärjestelmä ei kaikilta osin toiminut, esimerkiksi 14.2. tapahtui ylivaluntaa kolmannen koejäsenen kahdessa kerranteessa. Kuivuudesta kärsi neljännen koejäsenen yksi kerranne. Näiden laatikoiden tulokset poistettiin tuloksista.

Laboratorion lämpötila oli keskimäärin 18°C ja valojakson pituus 12 h/vrk. Suurpainenatriumlamput (6 kpl) ripustettiin kasvuston päälle säädettävillä ketjuilla mahdollisimman tasaisin välimatkoin. Lamppuja nostettiin kasvuston kehityksen mukaan etäisyyden kasvustosta ollessa noin 30-50 cm.

Kasvustolle annettiin korrenvahvistus-käsittely (Moddus) 17.2. kasvuston ollessa versoutumisvaiheessa korkeimpia annostelusuosituksia noudattaen.

Kasvusto korjattiin 11.4. leikkaamalla ruohosaksilla 5 cm:n sänkeen ja puimalla käsin ja lajittelunsiivilän avulla. Sekä kokonaisbiomassa että jyvät punnittiin. Kasvustot olivat pääosin tuleentuneet, kuitenkin biohiili-käsittelyn saaneet olivat tässä vaiheessa selkeästi muita vihreämpiä, mutta ne puitiin kuitenkin aikataulu-syistä samaan aikaan.



Sadon annettiin kuivua alumiinirasioissa kaksi viikkoa ja ne punnittiin 25.4. uudelleen ilmakuivan ja yhteismitallisen sadon määrittämiseksi.

Kastelukäsittelyt

22.2.2013 tehtiin ensimmäinen valuntakäsittely huuhtoutuvien ravinteiden (typen ja fosforin) mittaamiseksi. Kasvuston ollessa korrenkasvuvaiheessa kasvustoa kasteltiin valuttamalla vettä astiassa kasvuston juurelle n. 30 mm = n. 6 l/laatikko. Vesi valui nopeasti maakerroksen, suodatin kankaan ja kevytsorakerroksen läpi putkeen, joka oli aukaistava melkein heti kastelun alkaessa ylivalunnan estämiseksi. Valumisvesi kerättiin ämpäreihin ja ne peitettiin mahdollisimman hyvin muovikelmulla ammoniakkin haihtumisen estämiseksi jättämällä aukko laatikosta tulevalle valumavesiletkulle. Vesien annettiin valua niin kauan kuin sitä suodattui putkeen. Näytteet otettiin 0,5 l:n suljettaviin muovipulloihin ja ne säilytettiin jääkaapissa analysointiin, huhtikuun alkuun asti.

14.3.2013 kasvuston ollessa kukkimisvaiheessa kastelu ja näytteenotto toistettiin muuten em. tavalla, mutta vettä annettiin 36 mm eli 7 l/laatikko, koska 6 l:n kastelulla/laatikko (= 30 mm) kaikista laatikoista ei suodattunut vettä. Kasvusto oli ohittanut juuri suurimman kasvuvaiheen ja maa oli kuivaa sekä vedenotto runsasta.

Havainnot ja mittaukset sekä analyysit

Kasvuston kehitystä seurattiin visuaalisesti havainnoimalla etenkin loppuvaiheessa, kun kasvusto alkoi tuleentua ja eroja alkoi olla.

Vesinäytteistä analysoitiin ammonium ja nitraattityppi sekä liukoinen fosfori filterifotometrin (malli S 12 A, WTW, Saksa) avulla.

Satomittaukset; sekä kokonaisbiomassa että jyväsato mitattiin kokeen päättyessä 11.4. Tämän lisäksi jyvät punnittiin uudelleen 25.4. niiden kuivuttua ilmakuivaksi.

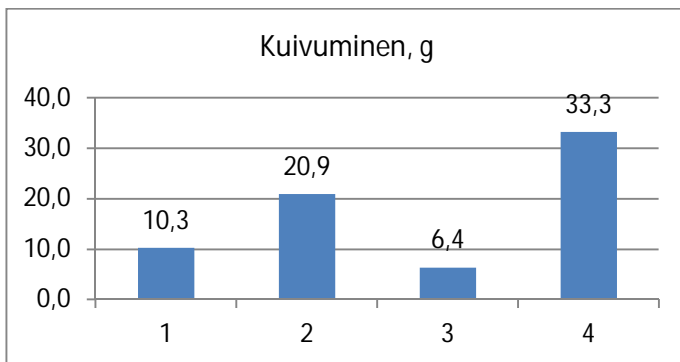
Tulokset käsiteltiin Excel-taulukko-ohjelmalla. Koejäsenten erojen tilastollinen merkitsevyys testattiin varianssianalyysillä.

Kerranteita jokaisessa koejäsenessä oli kolme alkuperäisen neljän (A, B, C ja D) sijaan. Koejäsenessä 3 kaksi kerrannetta (A,D) menetettiin ylivalunnan takia. Kolmas kerranne saatiin laskemalla jäljellä olevien kahden kerranteen keskiarvo ja käyttämällä sitä kolmantena kerranteena. 4. koejäsenestä poistettiin yksi kerranne (B) kasteluhäiriön vuoksi. Ensimmäinen ja toinen koejäsen saatiin kolmikerranteiseksi käyttämällä A:n ja D:n keskiarvoa. (Liite 1).

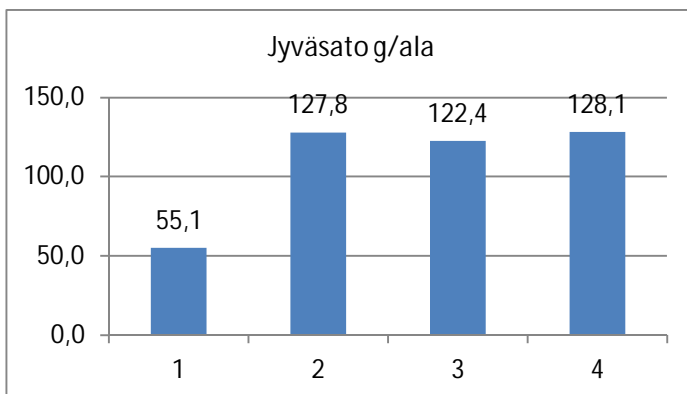
3. Tulokset

Satotulokset

Visuaalisen havainnoinnin perusteella todettiin, että biohiilikäsittelyn saaneet koejäsenet olivat keskimäärin myöhäisempiä kuin muut koejäsenet, ero oli havaittavissa selvimmin puintivaiheessa. Tämä näkyi tilastollisesti merkittävästi (p -arvo: 0,0495) myös satomittauksissa. Biohiilikoejäsenen oli menettänyt eniten painoa (Kaavio 2) kuivauksessa. Kaaviossa 3 on tuoreen sadon tulokset, joissa ei näkynyt biohiilen ja verrokin välillä merkittävää eroa (koejäsenet 4 ja 3). Kuivatun sadon (Kaavio 4) määrissä oli havaittavissa tilastollisesti melkein merkittävä ero (p -arvo: 0,063) niiden välillä.



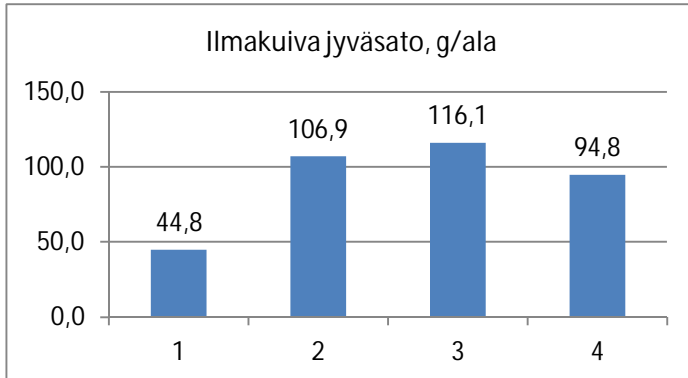
Kaavio 2. Sadon kuivuminen ilma-kuivaksi eli veden haihtuminen jyvistä, g.



Kaavio 3. Puintituoreen jyväsadon määrä.



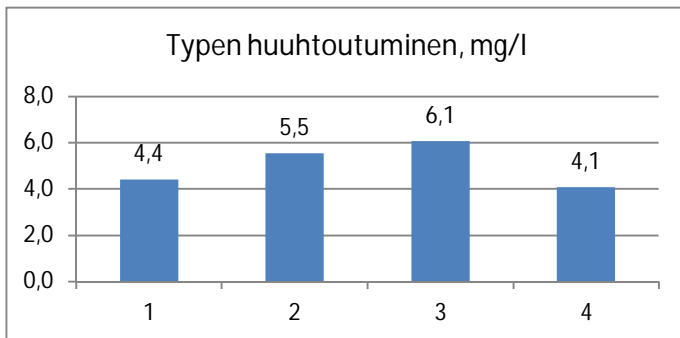
Eeva-Liisa Juvonen



Kaavio 4. Ilmakuivan jyväsadon määrä.

Ravinteiden huuhtoutuminen versoutumisvaiheessa

Biohiili vähensi typen huuhtoutumista (Kaavio 5), ero samaan typpilannoitusmäärän saaneeseen ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkittävä (p -arvo=0,39) (vrt. koejäsenet 3 ja 4).



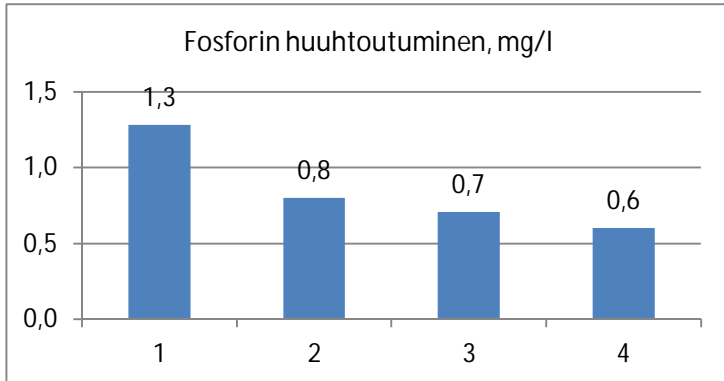
Kaavio 5. Nitraattitypen (NO_3^- , mg/l) huuhtoutuminen salaojavedessä 30 mm:n kastelun jälkeen kasvuston ollessa versoutumisasteella.

Fosfori

Biohiilisyä ei vaikuttanut fosforin huuhtoutumiseen (Kaavio 6, vrt koejäsenet 3 ja 4).



Eeva-Liisa Juvonen



Kaavio 6. Fosforin huuhtoutuminen (mg P/l) salaajavedessä 30 mm:n kastelun jälkeen kasvuston ollessa versoutumisasteella.

Kukkimisvaiheen huuhtoutumismittaukset

Kukkimisvaiheen kastelu ei saanut aikaan valuntaa kaikissa koeastioissa, minkä vuoksi toisen kastelun tuloksia ei käsitelty. Liitteessä 2 on kuitenkin tulokset toisen kastelukokeen huuhtoutumismittauksista.

4. Tulosten tarkastelu

Pelletöidyn biohiilen todettiin pidentävän ohran kasvukautta, jopa tilastollisesti merkittävästi. Tulos oli odotusten mukainen sillä moniravinnelannoitteen typen odotettiin sitoutuvan pelletöityyn biohiileen, ja alkavan vapautua sieltä myöhemmin kasvin käyttöön. Tuloksissa myös näkyi, tilastollisesti melkein merkitsevä, pelletöidyn biohiilen sadon määrää alentava vaikutus käsittelyvuonna. Tuloksista on kuitenkin vaikea erottaa sitoutuiko tyyppi mikrobiologisesti orgaaniseen pelletöintimateriaaliin vai kemiallisesti epäorgaaniseen biohiileen.

Kokeessa käytetty pelletöity biohiilimäärä, 5 tn/ha, ei tilastollisesti merkittävästi vähentänyt typen ja fosforin huuhtoutumista. Asiaa kuitenkin kannattaa tutkia käyttämällä suurempia biohiilimääriä esim. 10 tn/ha tai 20 tn/ha, koska suurempien biohiilimäärien käytöllä on todettu olevan myös positiivisia vaikutuksia sadonmuodostukseen käsittelyvuoden jälkeen Tammeorg. ym. (2011 ja 2013).



Eeva-Liisa Juvonen

5. Lähteet:

- ¹Atkinson, C., Fitzgerald, J. ja Higgs, N. 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. *Plant Soil* 2010, 337 (1), 1-18.
- ²Hartikainen, H. 1996. Maaperä. Teoksessa *Maa, viljely ja ympäristö*. toim. Heinonen R., Hartikainen, H., Aura, E., Jaakkola, A., ja Kempainen, E. WSOY: Helsinki.
- ³Hartikainen, H. 2004. Maanorgaaninen fosfori. *Maataloustieteen Päivät 2004*.
- ⁴Hartikainen, H., Kauppinen, M. ja Uusitalo, R. 2006. Maan fosforivarat ja niiden käyttökelpoisuus. *Maaperän prosessit - pellon kunnon ja ympäristönhoidon perusta*. Maa- ja elintarviketalous 82. 128 s.
- ⁵Conservation Agronomy Technical Notes. Note No 30. June 1. 1977. Toukokuu 2013.
<http://www.nm.nrcs.usda.gov/technical/tech-notes/agro/AG30.pdf>
- ⁶Cooperband, L, R. 2000. Ce Update — Waste III Composting: Art and Science of Organic Waste Conversion to a Valuable Soil Resource. *Lab Medicine* 2000 31:283-290.
- ⁷Carbon to Nitrogen Ratios in Cropping Systems. USDA Natural Resources Conservation Service. Toukokuu 2013. http://soils.usda.gov/sqi/management/files/C_N_ratios_cropping_systems.pdf
- ⁸Soil Basics Part III: Organic Matter, Key to Management. Toukokuu 2013.
<http://extension.umass.edu/vegetable/articles/soil-basics-part-iii-organic-matter-key-management>
- ⁹Ahokas, H. 2013. A fire cultivation method used for improving crop yields in Finland since the Prehistory. NJF Seminar 459 2nd Nordic Biochar Seminar - Towards a carbon negative agriculture. Helsinki, Finland, 14-15 February 2013. NJF Report Vol 9, No 2, Year 2013.
- ¹⁰Tammeorg, P., Helenius, J., Simojoki, A., Mäkelä, P. ja Stoddard, F. 2011. Biochar experiments in Finland – first results. First Nordic seminar on biochar. 9.-10. November 2011, Oslo, Norway.
- ¹¹Tammeorg, P., Simojoki, A., Mäkelä, P., Stoddard, F., Alakukku, L., ja Helenius, J. 2013. Biochar effects to soil and plant properties: results from multi-year field experiments on two contrasting soils in Southern Finland. NJF Seminar 459 2nd Nordic Biochar Seminar - Towards a carbon negative agriculture. Helsinki, Finland, 14-15 February 2013. NJF Report Vol 9, No 2, Year 2013.
- ¹²Kihlberg, T., Hedvigsdotter, M., Petersen, C., Hylander, L. D. 2013. Soil nutrient enrichment in a half century old “Terra Preta” in Sweden. NJF Seminar 459 2nd Nordic Biochar Seminar - Towards a carbon negative agriculture. Helsinki, Finland, 14-15 February 2013. NJF Report Vol 9, No 2, Year 2013.

6. Liitteet

Liite 1

1. vesinäytteen tulokset ja satotulokset

	N-P-K
koejäsen 1:	0-0-0
koejäsen 2:	80-9 -14
koejäsen 3:	120-13-23 120-13-
koejäsen 4:	23+C

Näyte	P mg/l	NH ₄ -N (mg/l)	NO ₃ -N (mg/l)	Kasvuston biomassa, g 11.4.	Jyväsato, g 11.4.	Ilmakuiva jyväsato, g 25.4.	Kuivuminen, g
1A	0,78	0,78	7,1	242	77	45,37	31,63
1B	1,37	0,22	3,9	184	54,8	48,44	6,36
1C	1,65	0,45	4,5	146	50,7	43,08	7,62
1D	0,87	0,21	2,6	130	42,83	40,6	2,23
2A	0,61	0,95	12,4	290	124,6	108,44	16,16
2B	0,93	0,13	3,8	414	117,2	105,52	11,68
2C	0,84	0,15	5,7	346	139,98	104,13	35,85
2D	0,65	0,03	1,8	432	127,7	113,52	14,18
3A	0,69	0,2	0,7	410	117,1	116,01	1,09
3B	0,95	0,42	8,7	496	133,7	122,9	10,8
3C	0,46	0,2	3,4	378	111,18	109,22	1,96
3D	0,32	0,14	0,4	450	122,61	107,31	15,3
4A	0,52	0,37	4,9	366	126,77	107,83	18,94
4B	1,21	1,56	19	266	93,32	63,25	30,07
4C	0,78	0,31	6,1	412	124,21	94,03	30,18
4D	0,50	2,02	1,2	496	133,23	82,47	50,76

Tuloksissa käytettiin lukujen keskiarvoa

Poistettiin ylivalunnan takia ja käytettiin kolmantena kerranteena B:n ja C:n keskiarvoa

Poistettiin kuivuuden takia

2. vesinäytteen tulokset

Näyte	P mg/l	NH ₄ -N, mg/l	NO ₃ -N, mg/l
1A2	0,72	0,18	1,4
1B2	1,07	0,59	2,0
1C2	1,22	0,31	6,4
1D2	0,59	0,23	1,3
2A2			
2B2			
2C2	0,46	0,19	2,0
2D2	0,31	0,25	1,3
3A2			
3B2	0,66	0,35	2,2
3C2	0,46	0,29	2,3
3D2	0,28	0,56	0,7
4A2	0,46	1,14	3,0
4B2			
4C2			
4D2	0,22	0,24	1,4