Pro Terra

No. 41 / 2009

MAAPERÄ MUUTTUVASSA MAAILMASSA

V Maaperätieteiden päivien laajennetut abstraktit

Helena Soinne
Heljä-Sisko Helmisaari
Pekka Hänninen
Mika Kähkönen
Katri Rankinen
Martti Esala
(toim.)

SUOMEN MAAPERÄTIETEIDEN SEURA

HELSINGIN YLIOPISTO
SOVELTAVAN KEMIAN JA MIKROBIOLOGIAN LAITOS

Pro Terra

No. 41 / 2009

MAAPERÄ MUUTTUVASSA MAAILMASSA

V Maaperätieteiden päivien laajennetut abstraktit

Toimittajat
Helena Soinne, Heljä-Sisko Helmisaari, Pekka Hänninen, Mika Kähkönen, Katri Rankinen ja Martti Esala

Toimituskunta

Sessio I Ilmasto ja maaperä
Kristiina Regina (pj.), Jussi Heinonsalo, Pekka Hänninen, Katri Siimes, Aino Smolander

Sessio II Maaperän biodiversiteetti, Maaperän uhat
Timo Tarvainen (pj.), Teija Haavisto, Jukka Kurola, Tiina Nieminen, Visa Nuutinen

Sessio III Maaperä luonnonvarana
Asko Simojoki (pj.), Jaana Jarva, Antti-Jussi Lindroos, Maarit Niemi, Antti Ristolainen

HELSINGIN YLIOPISTO
SOVELTAVAN KEMIAN JA MIKROBIOLOGIAN LAITOS

Helsinki, 2009

SISÄLLYSLUETTELO

Esitelmät

Sessio I: Ilmasto ja maaperä *sivu*

Valtakunnallinen hiilivaraston inventointi **10**
Hannu Ilvesniemi, Pekka Tamminen, Jaakko Heikkinen, Leila Korpela ja Tiina Tonteri

Maaperän erilaisten hiiliyhdisteiden hajoamisen lämpötilaherkkyys **12**
Kristiina Karhu, Pekka Vanhala, Mikko Tuomi, Katarina Björklöf, Hannu Fritze, Peter Spetz, Kai Hämäläinen, Eloni Sonninen, Högne Jungner, Markku Oinonen ja Jari Liski

Ilmastonmuutoksen vaikutus karikkeen hajoamiseen maapallolla **14**
Jari Liski, Mikko Tuomi, Stefan Fronzek, Tea Thum, Kirsti Jylhä, Heikki Järvinen, Sanna Sevanto ja Timo Vesala

Männyn, kuusen ja koivun hiilitase muuttuvassa ilmastossa: lämpötilan ja mykorritsasienilajiston vaikutusten tarkastelua **16**
Jussi Heinonsalo, Jukka Pumpanen, Terhi Rasilo, Kaj-Roger Hurme, Julie Villemot, M. Bomberg ja Hannu Ilvesniemi

Maatalousmaat ja ilmastonmuutos **18**
Martti Esala, Kristiina Regina ja Heikki Lehtonen

Low soil temperature as a result of snow removal increases emission and production of N_2O in boreal agricultural soils **20**
Marja Maljanen , Perttu Virkajärvi , Jyrki Hytönen and Pertti J Martikainen

Suoekosysteemin hiilen kierron osatekijöiden vasteet vedenpinnan tason alenemiseen **22**
Raija Laiho, Jani Anttila, Chris Freeman, Hannu Fritze, Jukka Laine, Maarit Niemi, Krista Peltoniemi, Timo Penttilä ja Petra Vávřová

Metaanin tuoton vuodenaikaisuus sarasuolla – mikrobit ja kaasuvuo **24**
Heli Juottonen, Eeva-Stiina Tuittila, Sari Juutinen, Janne Rinne, Timo Vesala, Hannu Fritze ja Kim Yrjälä

Sessio II: Maaperän biodiversiteetti, maaperän uhat

Charles Darwin (1809-1882) - 200 vuotta maaperätutkijan syntymästä **26**
Visa Nuutinen

Suomen turve-energiatase **28**
Pekka Hänninen ja Kimmo Virtanen

Heterotrofinen nitrifikaatio – todellisuutta vai mallien harhaa? **30**
Rauni Strömmer

Ectomycorrhizal root tips in relation to site and stand characteristics in Norway spruce and Scots pine stands 32
Heljä-Sisko Helmisaari, Ivika Ostonen, Krista Lõhmus, John Derome, Antti-Jussi Lindroos, Päivi Merilä ja Pekka Nöjd

Evaluating the role of shiro formation of *Tricholoma matsutake* in situ - I. Identification of Matsutake shiro and its fungal community 34
Lu-Min Vaario, Jussi Heinonsalo, Eira-Maija Savonen, Tytti Sarjala ja Taina Pannenen

Haapa saastuneiden maiden kunnostamisessa: haavan endofyyttiset bakteerit ja ritsosfäärin bakteeriyhteisö saastuneessa maassa 36
Kim Yrjälä, Timo Sipilä, Carola Fortelius, Marja-Leena Åkerman, Joonas Hautala, Lu-Min Vaario ja Pertti Pulkkinen

Sessio III: Maaperä luonnonvarana

Viljelyn vaikutus savimaan fysikaalisiin ja kemiallisiin ominaisuuksiin 38
Markku Yli-Halla, Mari Räty, Delbert L. Mokma, Risto Uusitalo, Larry P. Wilding, Richard Drees ja Laura Alakukku

Seleeni suomalaisissa peltomaissa – uuttomenetelmien tehokkuuden vertailu ja maan seleenifraktiot 40
Riikka Keskinen, Päivi Ekholm, Markku Yli-Halla ja Helinä Hartikainen

Maan hiili- ja typpivarastojen muutokset avohakkuun ja maanmuokkauksen jälkeen 42
Sirpa Piirainen, Jouni Niemelä, Leena Finér, Hannu Mannerkoski ja Michael Starr

Metsäisen moreenirinteen hydraulisten ominaisuuksien määrittäminen ja hyödyntäminen virtauksen ja aineiden kulkeutumisen mallintamisessa 43
Hanne Laine-Kaulio, Tuomo Karvonen, Harri Koivusalo ja Soile Saastamoinen

Fosforin esiintymismuodot ja sorptioprosessit moreenimetsämaan oikovirtausreiteillä ja maamatriisissa 45
Soile Saastamoinen, Hanne Laine-Kaulio ja Björn Klöve

Metsätalouden vesistövaikutukset: kriittinen tarkastelu pareittaisten valuma-alueiden menetelmän oletuksiin ja tulosten tulkintaan 47
Ari Laurén ja Harri Koivusalo

Posterit

Sessio I: Ilmasto ja maaperä

1. **Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden vuot boreaaliselta metsänpohjalta** 49
Hermanni Aaltonen, Jukka Pumpanen, Mari Pihlatie, Pasi Kolari, Heidi Hellén, Jussi Heinonsalo ja Jaana Bäck

2. **Lyhyt- ja pitkäaikaisen kuivumisen aiheuttamat muutokset soiden maan-päällisen karikkeen tuotossa** 51
Jani Anttila, Timo Penttilä ja Raija Laiho

3. **Maan mikrobit tuottamaan hiilidioksidista polttoainetta** 53
Erkki Aura

4. **Soil temperature and moisture conditions: effect on tree vitality** 55
Egbert Beuker, Liisa Ukonmaanaho and Martti Lindgren

5. **Canopy pattern and soil temperature in two forested drained peatlands in North Central Finland** 57
Markus Hartman ja Pekka Pietiläinen

6. **Poikkeuksellisen sateisten ja kuivien kesien vaikutus purojen nitraattityppipitoisuuksiin ja –kuormitukseen** 59
Eeva Huitu, Marko Järvinen ja Lauri Arvola

7. **Ilmasto lämpenee, lämpeneekö maa?** 61
Pekka Hänninen, Raimo Sutinen ja Ari Venäläinen

8. **Kahden sarasuon metanogeeniyhteisö kuivana ja sateisena vuonna** 63
Mirkka Kotiaho, Mirva Leppälä, Päivi Merilä, Heli Juottonen, Hannu Fritze, Kim Yrjälä, Jukka Laine ja Eeva-Stiina Tuittila

9. **Metsämaan vesitase, maaperän hajotustoiminta, ja näiden vaikutus puuston kasvuun muuttuvissa ilmasto-olosuhteissa** 65
Tapio Linkosalo, Annikki Mäkelä, Anu Kantola ja Raisa Mäkipää

10. **Hiilidioksiditaseet erityyppisillä boreaalisilla viljelysmailla** 67
Annalea Lohila, Kristiina Regina, Mika Aurela, Juha-Pekka Tuovinen ja Tuomas Laurila

11. **Biomass, carbon and nitrogen accumulation during mire primary succession - results from a mire chronosequence** 69
Päivi Merilä, Atte Korhola and Eeva-Stiina Tuittila

12. **Preliminary Results on the Effects of Drought on Growth and Polyamines of Scots pine seedlings** 71
Riina Mäkelä, Jaana Vuosku, Hely Häggman, Markku Saarinen, Juha Heiskanen and Tytti Sarjala

13. **Roudan vaikutus kuusen juurten absorboivaan pinta-alaan** 73
Tapani Repo ja Josef Urban

14. **Effects of water table and nitrogen load on methane emissions and methane oxidation in a littoral wetland of a boreal freshwater lake** 75
Saari A., Siljanen H., Martikainen K. and Martikainen P.J.

15. **Maaperän hajotusprosesseissa vapautuvan DOC:n laadun merkitys metsänkäsittelyalueen NO-dynamiikkaan** 77
Päivi Saari, Sanna Saarnio, Jussi V.K. Kukkonen, Jarkko Akkanen ja Jukka Alm

16. Ilmastonmuutoksen vaikutus typen huuhtoutumiseen savimaasta **79**
Tapio Salo ja Eila Turtola

17. Kasvillisuus ja hiilidioksididynamiikka ennallistetulla ja luonnontilaisella suolla: ennallistamisen arviointi **81**
Pirita Soini, Terhi Riutta, Mika Yli-Petäys ja Harri Vasander

18. Orgaanisen aineksen hajoamisen lämpötilariippuvuus boreaalisella havumetsävyöhykkeellä **83**
Pekka Vanhala, Kristiina Karhu, Mikko Tuomi, Katarina Björklöf, Hannu Fritze ja Jari Liski

Sessio II: Maaperän biodiversiteetti, maaperän uhat

19. Karikkeenlahottajasienten kasvu, entsyymiaktiivisuudet ja toksisuus nikkelillä kontaminoidussa maassa **85**
Mika A. Kähkönen, Pauliina Lankinen, Johanna Rajasärkkä, Marko Virta ja Annele Hatakka

20. Maan ravintoverkkojen ja orgaanisen aineksen laadun vaikutus hajotuksessa vapautuvan liukoisen typen laatuun ja määrään **87**
Mari Lappalainen, Ari Laurén ja Jussi V. K. Kukkonen

21. Sulattopäästöjen voimakkaan vähenemisen vaikutus lähiympäristön metsämaan metallipitoisuuksiin **89**
Tiina M. Nieminen, John Derome ja Heljä-Sisko Helmisaari

22. Kahden ektomykorritsasienen L–aminohappo-oksidaasi –geenien tunnistus ja emäsjärjestyksen määritys **91**
Jaro T. Nuutinen, Eeva Marttinen, Kristiina Hildén, Rabah Soliymani ja Sari Timonen

23. Hakkuutähteen korjuun vaikutus kuusikkomaan hiilen ja typen transformaatioihin **93**
Aino Smolander, Teuvo Levula ja Veikko Kitunen

24. Energiapuunkorjuun vaikutus elohopean ja raskasmetallien huuhtoutumiin ojitetuilla turvemailla **95**
Liisa Ukonmaanaho, Tiina Maileena Nieminen, Mike Starr, Marjatta Kantola, Erkki Ahti, Juha Piispanen., Markku Mäkilä ja Kirsti Loukola-Ruskeeniemi

25. Kasvien bioottisen ja abioottisen stressin torjunta kompostin avulla **97**
Mauritz Vestberg, Sanna Kukkonen, Saija Rantala, Petr Prochazka, Saara Tuohimetsä, Päivi Parikka, Dan Yu, Jukka Kurola, Martin Romantschuk ja Heikki Setälä

Sessio III: Maaperä luonnonvarana

26. Puiden ja varpujen juurten lajikohtainen massasuhteiden määrittäminen infrapunaspektroskopian avulla **99**
Noora Ilola, Petra Vávřová ja Raija Laiho

27. Relations of soil age, soil properties and forest vegetation on Olkiluoto Island **101**
Anne-Maj Lahdenperä, Reija Haapanen, Lasse Aro and Ari Ikonen

28. Maaperän paksuus metsämailla **103**
Hannu Mannerkoski, Kari T. Korhonen ja Ari Laurén

29. Do the nutrient concentrations in percolation water and organic layer explain the respective element concentrations in Scots pine and Norway spruce needles? **105**
Päivi Merilä and John Derome

30. Eroosiota ja sedimentin kulkeutumista kuvaavan INCA-SED mallin sovellus neljälle valuma-alueelle Suomessa **107**
Katri Rankinen, Marie Thouvenot-Korppoo ja Daniel Butterfield

31. Savimaan kutistumisominaisuuksista **109**
Kimmo Rasa, Rainer Horn, Mari Räty, Markku Yli-Halla ja Liisa Pietola

32. TEHO-hanke panostaa maatalouden vesiensuojeluun **111**
Kimmo Rasa, Sami Talola ja Airi Kulmala

33. Savimaan lujuusominaisuudet eri tavoin hoidetuilla suojakaistoilla **113**
Mari Räty, Rainer Horn, Kimmo Rasa, Markku Yli-Halla ja Liisa Pietola

34. Savimaiden agroekologinen parantaminen nurmikierrolla, syvämuokkauksella ja tehokalkituksella **115**
Into Saarela

35. Weathering rates of Ca and Mg within a small forested catchment: variation and magnitude compared to deposition loads **117**
Mike Starr, Antti-Jussi Lindroos and Timo Tarvainen

36. Lumen sulamisveden valuminen roudan läpi **119**
Raimo Sutinen, Pekka Hänninen, Ari Venäläinen ja Marja-Liisa Sutinen

37. DGT- menetelmien soveltaminen ravinteiden ja raskasmetallien biosaatavuuden määritykseen metsämaassa **120**
Marita Turunen, Tiina Nieminen, Liisa Ukonmaanaho, Marjatta Kantola ja Arja Tervahauta

38. Pohjaveden korkeuden vaikutus happamien sulfaattimaiden maaveden sähkönjohtavuuteen **122**
Seija Virtanen, Asko Simojoki, Olga Nikolenko ja Markku Yli-Halla

39. Metsämaan fosforinpidätysominaisuudet ja niiden vaikutus fosforin huuhtoutumisalttiuteen **124**
Riitta Väänänen, Kaarle Kenttämies, Mika Nieminen, Hannu Ilvesniemi ja Helinä Hartikainen

40. Maan vesipitoisuus ja ilmatila vaikuttavat männyn kasvuun metsitetyillä pelloilla **126**
Antti Wall ja Juha Heiskanen

Tervetuloa viidensille Maaperätieteiden päiville

Maaperä on mukana ympäristömme muutoksessa sekä sen kohteena että siihen vaikuttajana. Ihmisen toiminta on keskeisin tämän muutoksen aiheuttaja. Kuormitamme ympäristöä, myös maaperää, ja maankäyttömme vaikuttaa ympäristöön. Nämä muutokset ovat osin tuntemattomia tai huonosti tiedostettuja varsinkin julkisuuden keskusteluissa. Meidän tutkijayhteisöjen tehtävänä on tiedostaa nämä muutokset ja nostaa ne suuren yleisön tietoisuuteen, ja kantaa huolta maaperän tilasta. Samalla me huolehdimme, ei enempää eikä vähempää, kuin koko ihmiskunnan, ympäristön, tämän maapallon ja sen koko maailmankaikkeudessa ainutlaatuiseksi tietämämme elämän tilasta.

Ilmastonmuutos on suurin meneillään olevista ympäristönmuutoksista. Maaperä, "maapallon iho", on keskeinen vaikuttaja tässä muutoksessa. Maaperä on myös ilmastonmuutoksen kohteena. Maaperän ja ilmaston välillä on selvä takaisinkytkentä. Maaperään kohdistuu myös muita ihmisen toiminnan kautta tulevia uhkia. Meidän on jatkuvasti seurattava maaperän tilaa, jotta tietäisimme näiden uhkien toteutumisesta ja maaperämme kyvystä toimia eliökuntamme ravinnon ja raaka-aineiden tuottajana ja ympäristön, mm. vesistöjen ja ilmakehän, tilaan vaikuttavana tekijänä. Näistä taustoista lähtien on rakennettu näiden viidensien maaperätieteiden päivien teemat.

Maaperän tila on myös päättäjien taholla alettu ottaa vakavasti. EU on jo vuosia valmistellut maaperän suojeluun liittyviä toimia, maaperän suojelun temaattista strategiaa ja maaperän puitedirektiiviä. Puitedirektiivin valmistelu kesken, mutta voimme odottaa sen hyväksymistä kuluvan vuoden aikana. USA:n senaatti on jo hyväksynyt vastaavan päätöksen EU:n toimien innoittamana. Näiden ohjelmien takana on tutkijayhteisön aktiivinen valmistelu. Olemme nostaneet ja saaneet "salatun" mutta elintärkeän maaperän aseman päättäjien agendalle. Tämä työ jatkuu suuren yleisön saamiseksi tietoiseksi maaperästä, sen mielenkiintoisista ilmiöistä, merkityksestä ja uhista. Siksi Euroopan maaperätieteiden seurojen liitto on käynnistämässä verkostoa "European Network on Soil Awareness" (ENSA). Mm. Saksan maaperätieteiden seura on monella tapaa aktiivinen maaperäasioiden esille tuomisessa. Australiassa ollaan käynnistämässä kansainvälistä verkostoa koulujen maaperäopetuksen puitteissa. USA:ssa on esillä näyttely Smitsonianin luonnonhistoriallisessa museossa nimellä “Dig it! The Secrets of Soil”. Vuosi 2008 oli kansainvälinen maapallon vuosi (The Year of the Planet Earth). Myös maaperäteema on ollut mukana vuoden aikana ja teemavuosi jatkuu myös vuonna 2009.

Suomen Maaperätieteiden Seuralla on alkamassa 38. toimintavuosi. Jäseniä meillä on lähes 230, mikä on kansainvälisesti katsoen erittäin korkea lukema. Olemme IUSS:n jäsenseuroista 14. suurin, vaikka väestöpohjamme edellyttäisi aivan jotain muuta. Nämä päivät ovat seuramme tärkein aktiviteetti.

Päivien järjestäjinä toimivat Suomen Maaperätieteiden Seura ry. ja Helsingin yliopiston Soveltavan kemian ja mikrobiologian laitos. Järjestelytoimikuntana on toiminut seuran hallitus ja sessioiden ohjelman on koostanut erikseen nimetyt sessiotyöryhmät. Päivien esitelmien tiivistelmät on julkaistu tässä julkaisussa. Päivien tarkoitus on koota alan tutkijat ja muut kiinnostuneet tarkastelemaan uusimpia tutkimustuloksia. Toivottavasti noin 60 suullista esitystä ja posteria luovat edustavan läpileikkauksen uusimpiin tuloksiin.

Tervetuloa viidensille Maaperätieteiden päiville oppimaan uutta ja viihtymään.

Martti Esala
Suomen Maaperätieteiden Seura ry:n puheenjohtaja

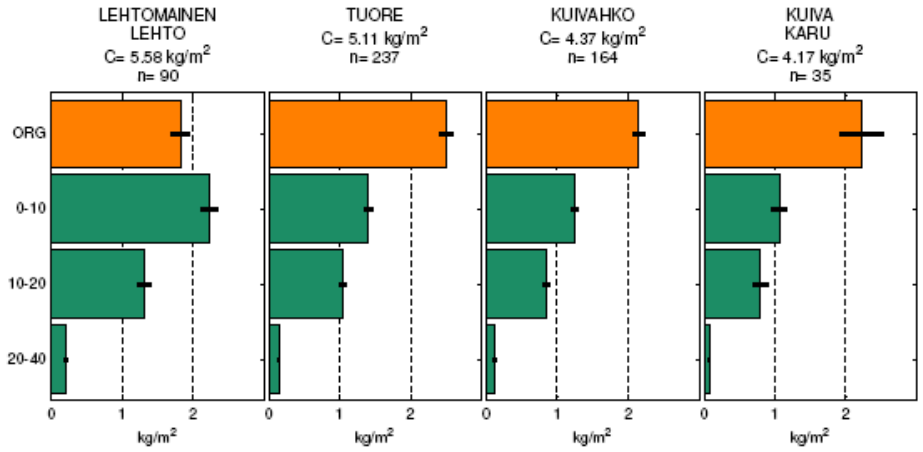
Valtakunnallinen hiilivaraston inventointi

National inventory of forest ecosystem carbon storages

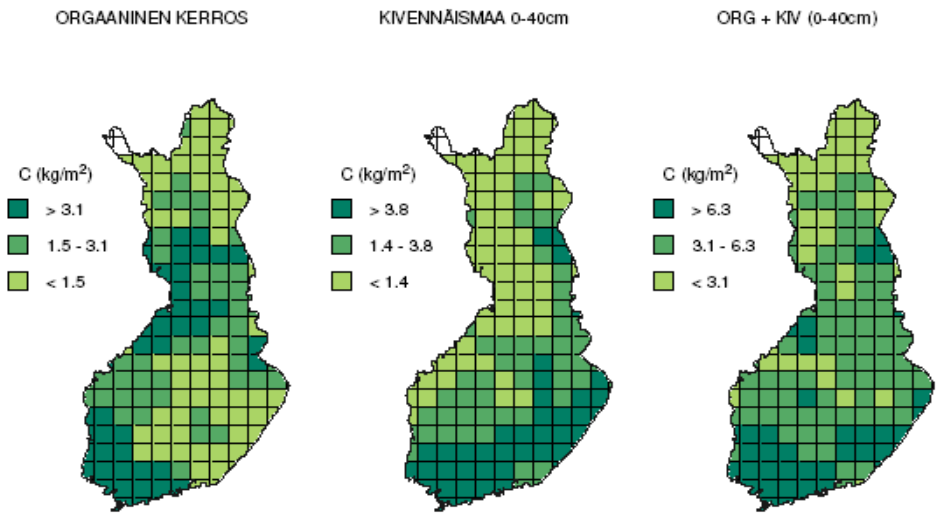
Hannu Ilvesniemi, Pekka Tamminen, Jaakko Heikkinen, Leila Korpela ja Tiina Tonteri

Metsäntutkimuslaitos, Vantaan yksikkö, PL 18, 01301 Vantaa

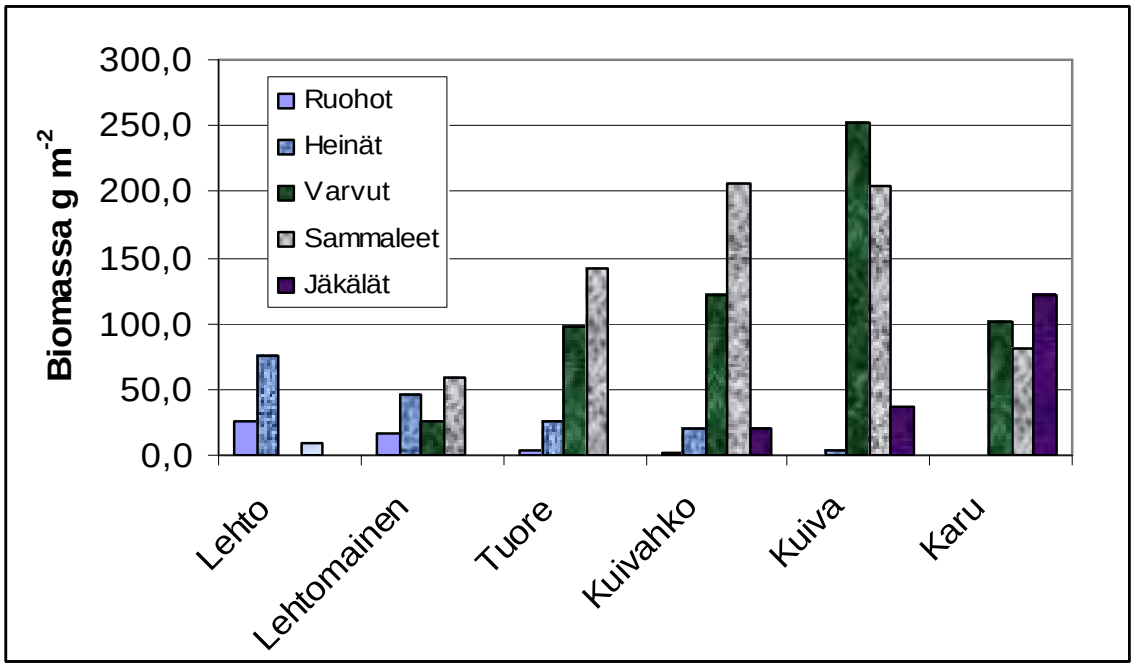
Koko Euroopan kattavassa BioSoil ohjelmassa keräsimme näytteitä maaperästä ja aluskasvillisuudesta sekä mittasimme puuston määrän yhteensä 636 koealalta. Tässä abstraktissa esitämme tulokset jotka perustuvat 526 kivennäismaan koealan maanäytteeseen sekä n. 400 koealan aluskasvillisuusnäytteisiin. Koealan (400 m^2) kivennäismaanäytteet muodostettiin viidestä, orgaaniset maanäytteet 10 tai 20 osanäytteestä ja aluskasvillisuusnäytteet viidestä 30 x 30 cm kokoisesta osanäytteestä. Maanäytteistä määritettiin hiilen määrä LECO hiilianalysaattorilla, aluskasvillisuus eroteltiin lajiryhmiin ja punnittiin. Punnitun biomassan hiilipitoisuuden oletettiin olevan 50 %.



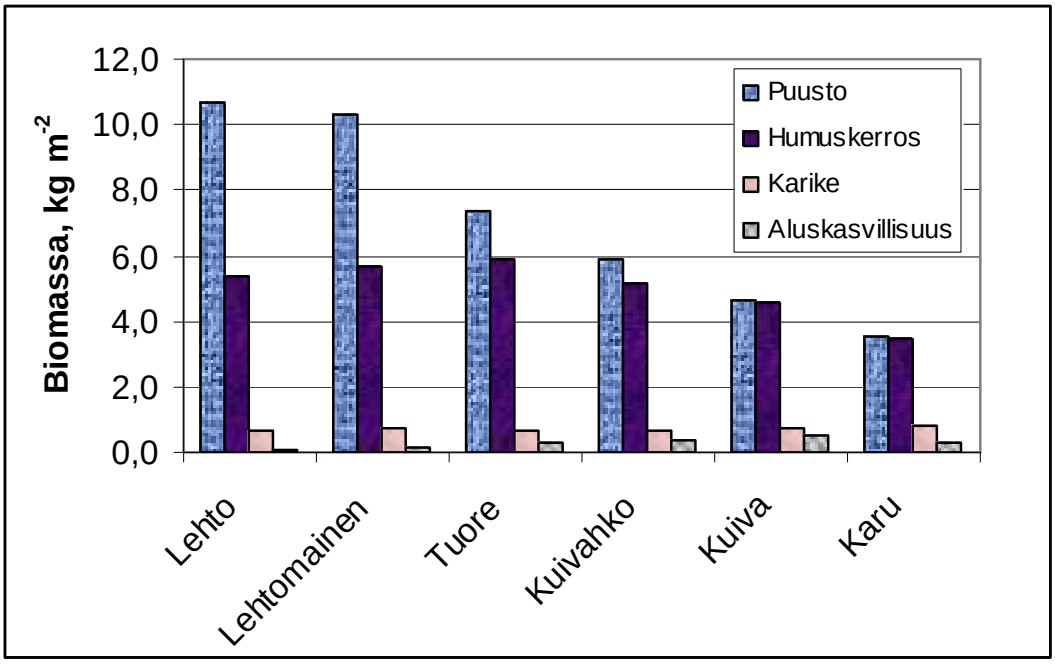
Kuva 1. Humuskerrokseen ja kivennäismaakerrokseen 0-40 cm varastoituneen hiilen määrä. Viljavammilla kasvupaikoilla hiiltä on maassa enemmän ja se on jakautunut tasaisemmin eri maakerroksiin. Kuivilla kankailla yli puolet maaperän hiilivarastosta on humuskerroksessa.



Kuva 2. Orgaanisen kerroksen hiilimäärä on suurin Suomen lounaisosassa ja Pohjanlahden perukan ympäristössä. Kivennäismaan hiilen varasto on suurin Etelä-Suomessa. Maan hiilimäärä pienenee keskimäärin etelästä pohjoiseen.



Kuva 3. Metsiemme aluskasvillisuuden määrä on suurin kuivilla ja kuivahkoilla kankailla, joissa varvut ja sammaleet muodostavat biomassan valtaosan. Lehdoissa ja lehtomaisilla kankailla ruohojen ja heinien osuus aluskasvillisuudesta on suuri, mutta niiden kokonaisbiomassa on pieni monivuotisiin varpuihin verrattuna. Tarkasteltaessa asiaa kariketuotannon ja vuotuisen hiilikierron kannalta tilanne on toinen, koska ruohovartiset kasvit lakastuvat joka syksy. Karuimmilla kasvupaikoilla jäkälien osuus kokonaisbiomassasta on merkittävä.



Kuva 4. Kasvillisuuteen sitoutuneen biomassa kasvaa siirryttäessä karuilta kasvupaikoilta lehtoihin. Suurin muutos tapahtuu puustoon sitoutuneen hiilen määrässä joka on lehdoissa keskimäärin yli kasinkertainen karuihin kankaisiin verrattuna. Suhteelliset muutokset ovat isoja myös aluskasvillisuudessa, mutta aluskasvillisuuden osuus kokonaisbiomassasta on aina pieni. Suurimmillaan tämä osuus on kuivilla kankailla. Puuston suuren osuuden takia vastaava trendi on myös kasvillisuuteen ja maan orgaaniseen kerrokseen sitoutuneen hiilen kokonaismäärässä, vaikka maan orgaanisen kerroksen hiilen määrän maksimi on tuoreilla kankailla. Puuston merkitys hiilivarastona on sitä suurempi, mitä viljavampi kasvupaikka on.

Maaperän erilaisten hiiliyhdisteiden hajoamisen lämpötilaherkkyys

Temperature sensitivity of decomposition of different soil organic matter fractions

Kristiina Karhu[1], Pekka Vanhala[1], Mikko Tuomi[1], Katarina Björklöf[1], Hannu Fritze[2], Peter Spetz[2], Kai Hämäläinen[3], Eloni Sonninen[3], Högne Jungner[3], Markku Oinonen[3] ja Jari Liski[1]

1) Suomen ympäristökeskus
2) Metla, Vantaa
3) Helsingin yliopisto, Ajoituslaboratorio

Johdanto

Muutokset maaperän hiilenkierrossa ja hiilivaraston koossa ilmastonmuutoksen seurauksena riippuvat hiilen syötteen muutosten lisäksi erilaisten orgaanisen aineksen fraktioiden hajoamisen lämpötilaherkkyydestä. Suuri osa maaperän hiilestä on kymmeniä tai satoja vuosia vanhaa. Tämän vanhemman orgaanisen aineksen herkkyys määrää mitä maaperän hiilivarastolle tapahtuu vuosikymmenten ja vuosisatojen aikaskaalassa. Nuoren orgaanisen aineksen hajoamisen lämpötilaherkkyys on helpompi määrittää erilaisten hajoamismittausten avulla, koska suurin osa CO_2-tuotosta tulee nopeasti hajoavista fraktioista, joita on vain pieni osuus maaperän hiilestä. Tällaisten mittausten avulla ei kuitenkaan saada tietoa hitaasti hajoavan, vanhemman orgaanisen aineksen lämpötilaherkkyydestä, joka onkin osin mittaamisen vaikeuden takia huonosti tunnettu. Uudemman ja vanhemman orgaanisen aineksen hajoamisen lämpötilaherkkyyttä voidaan kuitenkin tutkia hiilen isotooppien avulla. Olemme käyttäneet sekä ^{13}C, että ^{14}C isotooppeja erottamaan toisistaan uudempaa ja vanhempaa orgaanista ainesta, ja pystyneet näin mittaamaan vanhemman orgaanisen aineksen hajotuksen lämpötilaherkkyyttä.

Menetelmät

Tutkimuksessa käytettiin hyväksi luonnollista ^{13}C leimaa ottamalla maanäytteitä pellolta, jossa oli 5 vuotta aikaisemmin alettu kasvattaa maissia (C4-kasvi). C3 ja C4 kasvit sitovat fotosynteesissä eri suhteissa hiilen isotooppeja 13 ja 12, jolloin näiden kasvien karikkeessa ja siitä syntyneessä orgaanisessa aineksessa on myös erilainen $^{13}C/^{12}C$ suhde, jonka avulla nuorempi ja vanhempi orgaaninen aines pystyttiin tässä kokeessa erottamaan toisistaan. Maanäytteitä inkuboitiin laboratoriossa 24 h eri lämpötiloissa ja kerätyistä kaasunäytteistä mitattiin CO_2-pitoisuus kaasukromatografilla ja $^{13}C/^{12}C$ suhde massaspektrometrillä (isotope ratio mass spectrometer, IRMS). Hajotuksen lämpötilaherkkyyden määrittämiseksi sovitettiin CO_2-tuotto mittauksiin yhtälön $R(T) = R_0Q_{10}^{T/10}$, parametrit R_0 ja Q_{10}, joka kuvaa sitä kuinka moninkertaiseksi hengitys kasvaa, kun lämpötila nousee 10 ºC:lla. Uuden, maissista peräisin olevan orgaanisen aineksen ja vanhemman, C3 kasveista peräisin olevan aineksen hajotuksen osuus CO_2-tuotosta eri lämpötiloissa, ja siten näiden lämpötilaherkkyys, laskettiin massatasapainoyhtälöiden avulla.[1]

Eri ikäisellä orgaanisella aineksella on erilainen $^{14}C/^{12}C$ suhde ^{14}C isotoopin radioaktiivisen hajoamisen vuoksi, ja koska ^{14}C isotoopin pitoisuudet ilmakehässä ovat vaihdelleet 1950-luvulta lähtien ilmakehässä tehtyjen atomipommikokeiden takia. Mittaamalla maanäytteistä eri lämpötilassa tuotetun CO_2:n $^{14}C/^{12}C$ isotooppien suhdetta on mahdollista tutkia uuden orgaanisen aineksen, kymmeniä vuosia vanhan orgaanisen aineksen ja satoja vuosia vanhan orgaanisen aineksen lämpötilaherkkyyttä suhteessa toisiinsa. Näitä eroja lämpötilaherkkyydessä voidaan kuitenkin mitata tarpeeksi tarkasti vain, kun kaikkein helpoimmin hajoavan orgaanisen aineksen on ensin annettu suurelta osin hajota, jottei sen suuri CO_2-tuotto peitä alleen vanhemman orgaanisen aineksen hajotuksen signaalia. Maanäytteitä boreaalisen metsän eri kerroksista muhitettiin laboratoriossa optimaalisissa

hajotusolosuhteissa puolitoista vuotta ennen CO_2:n keräystä ^{14}C mittausta varten. Mittausta varten CO_2:a kerättiin ensin 8 ºC:ssa, sitten 25 ºC:ssa muutamasta päivästä kuukauteen maakerroksesta riippuen tarvittavan CO_2 määrän keräämiseksi. Tuotetun CO_2:n ^{14}C aktiivisuus mitattiin grafitoiduista näytteistä AMS-spektrometrillä (accelerator mass spectroscopy, AMS).[2] Nuoremman ja vanhemman orgaanisen aineksen osuus CO_2-tuotosta ja siten Q_{10} arvo, laskettiin massatasapainoyhtälöiden avulla vastaavanlaisesti kuin kokeessa, joka hyödynsi ^{13}C isotooppia. Eri ikäisten orgaanisen aineksen fraktioiden ^{14}C aktiivisuudet (yksikössä pmc, percent modern carbon) joko mitattiin tai mallinnettiin.

Tulokset ja tarkastelu

$^{13}C/^{12}C$ isotooppien suhdetta hyödyntävän tutkimuksen tulosten mukaan peltomaan 5 vuotta nuorempi orgaaninen aines oli vähemmän lämpötilaherkkää (Q_{10}=1.6-3.0) kuin 5 vuotta vanhempi orgaaninen aines (Q_{10}=3.6)[1]. Metsämaista saatujen tulosten mukaan kymmeniä vuosia vanha orgaaninen aines oli hyvin lämpötilaherkkää (Q_{10} = 4.2-6.9), mutta satoja vuosia vanha hiili (Q_{10} = 2.4-2.8) oli vähemmän herkkää[3]. Kaikkein uusimman orgaanisen aineen (alle 2 v. vanhaa) hajoaminen metsämaan orgaanisessa kerroksessa ei ollut juurikaan lämpötilaherkkää ($Q_{10} < 2$), mikä tukee aiempaa peltomailta saatua tulosta.

Tulosten perusteella vanhan maahiilen lämpötilaherkkyys poikkeaa merkittävästi nuoren hiilen herkkyydestä. Nykyiset maaperän hiilimallit ja siten myös globaalien ilmastomallien ennusteet perustuvat oletukseen, että kaikki maaperän hiili on yhtä herkkää lämpötilan nousulle. Tämä ei uusien tutkimustulosten valossa pidä paikkaansa, joten nykyiset arviot antavat virheellisen kuvan ilmaston lämpenemisen vaikutuksista maaperän hiilivarastoon.

Kirjallisuus

[1] Vanhala, P., Karhu, K., Tuomi, M., Sonninen, E., Jungner, H., Fritze, H. & Liski, J. 2007. Old soil carbon is more temperature sensitive than the young in an agricultural field. *Soil Biology and Biochemistry* 39: 2967-2970

[2] Hämäläinen, K., Fritze, H., Jungner, H., Karhu, K., Oinonen, M., Sonninen, E., Spetz, P., Tuomi, M., Vanhala, P. & Liski, J. Molecular sieve sampling of CO_2 from decomposition of soil organic matter for AMS radiocarbon measurements. Submitted manuscript.

[3] Karhu, K., Fritze, H., Hämäläinen, K., Vanhala, P., Jungner, H., Oinonen, M., Sonninen, E., Tuomi, M., Spetz, P. & Liski, J. Temperature sensitivity of soil carbon fractions in boreal forest soil. Submitted manuscript.

Ilmastonmuutoksen vaikutus karikkeen hajoamiseen maapallolla

Litter decomposition and global climate change

Jari Liski[1], Mikko Tuomi[1], Stefan Fronzek[1], Tea Thum[2], Kirsti Jylhä[2], Heikki Järvinen[2], Sanna Sevanto[3] ja Timo Vesala[3]

[1] Suomen ympäristökeskus, Tutkimusosasto, Globaalimuutoksen tutkimusohjelma, Helsinki, etunimi.sukunimi@ymparisto.fi
[2] Ilmatieteen laitos, Helsinki
[3] Helsingin yliopisto, Fysiikan laitos, Helsinki

Karikkeen hajoaminen on merkittävä toiminto maapallon hiilikierrossa. Orgaanisen aineen hajotessa maaperästä vapautuu ilmakehään vuosittain noin 60 miljardia tonnia hiiltä, ja suurin osa näistä päästöistä on peräisin karikkeen hajoamisesta. Määrä on 7-8 kertaa suurempi kuin fossiilisen hiilen päästöt. Karikkeen hajoaminen johtaa myös pysyvämpien hiiliyhdisteiden muodostumiseen. Nämä yhdisteet muodostavat suurimman osan maaperän hiilivarastosta, jossa on hiiltä kaiken kaikkiaan ainakin kaksi kertaa niin paljon kuin koko ilmakehässä.

Karikkeen hajoaminen riippuu lämpö- ja kosteusoloista. Tämän vuoksi se muuttuu ilmaston muuttuessa. Muutokset voivat vaikuttaa merkittävästi maaekosysteemien ja koko maapallon hiilikiertoon. Tämän tutkimuksen tavoitteina olivat 1) määrittää tärkeimmät karikkeen hajoamiseen vaikuttavat tekijät maapallon mittakaavassa ja 2) arvioida ilmastonmuutoksen vaikutukset karikkeen hajoamiseen tämän tiedon perusteella.

Karikkeen hajoamista säätelevien tekijöiden vaikutuksia tutkittiin karikepusseilla tehtyjen hajotuskokeiden avulla. Tämän tutkimuksen käyttöön saatu aineisto koostui eri puolilla Eurooppaa ja Pohjois- sekä Keski-Amerikkaa tehdyistä mittauksista [1-4, 6]. Tutkimusaloja oli 96 ja tutkittuja kariketyyppejä 40 (eri kasvilajien lehtiä ja hienojuuria). Karikkeen massahävikkiä seurattiin aikasarjoissa 3-10 v. ajan. Aineisto perustui yhteensä yli 70 000 karikepussista tehtyihin mittauksiin. Mittaukset kattoivat suurimman osan maapallon lämpö- ja kosteusoloista.

Karikkeen hajoamista säätelevien tekijöiden tutkimiseksi teimme Yasso-maahiilimallista entistä yleisemmän Yasso07-mallin (www.environment.fi/syke/yasso) [5, 7]. Mallin rakenne perustuu kolmeen oletukseen karikkeen hajoamisesta. Määritimme mallin parametriarvot ja niiden todennäköisyysjakaumat karikepussiaineiston avulla Markovin ketju Monte Carlo – laskentaa käyttäen.

Yasso07-mallin avulla laskimme maapallonlaajuiset arviot karikkeen hajoamisnopeudelle nykyisissä ja IPCC-skenaarioiden mukaan muuttuneissa ilmasto-oloissa. Todennäköisimpien hajotusarvojen lisäksi laskimme arvioiden todennäköisyysjakaumat, joissa huomioimme mallin parametriarvojen epävarmuuden ja 16 IPCC:n käyttämän ilmasto-mallin erot.

Eri kariketyyppien hajoaminen voitiin laskea tutkimusalan lämpö- ja kosteusolojen sekä karikkeen kemiallisen koostumuksen perustella kehitetyn Yasso07-mallin avulla. Tuloksissa ei havaittu systemaattista virhettä minkään tarkastellun suureen suhteen. Tämän perusteella teimme sen johtopäätöksen, että mallin avulla voidaan arvioida eri kariketyyppien hajoaminen maapallon eri osissa. Mallin parametriarvojen todennäköisyysjakaumien avulla mallin tuloksille voidaan laskea virhearviot.

Karikkeen hajoaminen kiihtyy suurimmassa osassa maapalloa ilmaston muuttuessa (IPCC:n A2-skenaario). Muutos kasvaa temperaattisen vyöhykkeen n. 10 %:sta arktisten alueiden yli 50 %:iin. Nämä muutokset ovat tilastollisesti merkittäviä arvioiden epävarmuuslähteet

huomioiden. Osissa trooppista vyöhykettä karikkeen hajoaminen voi hidastua lisääntyvän kuivuuden vuoksi, mutta arviot ovat epävarmoja tropiikin erityisen suurten virhelähteiden vuoksi.

Karikkeen hajoamisnopeuden muutosten kompensoimiseksi kasvillisuuden kariketuotannon olisi muututtava samalla tavalla, jotta karikkeen hajoamisesta ei aiheutuisi ilmastonmuutokseen vaikuttavaa takaisinkytkentää.

Kirjallisuus

[1] Berg, B., Booltink, H., Breymeyer, A., Ewertsson, A., Gallardo, A., Holm, B., Johansson, M.-B., Koivuoja, S., Meentemeyer, V., Nyman, P., Olofsson, J., Pettersson, A.-S., Reurslag, A., Staaf, H., Staaf, I. and Uba, L., 1991a. Data on needle litter decomposition and soil climate as well as site characteristics for some coniferous forest sites, Part I, Site characteristics. *Report 41, Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Ecology and Environmental Research, Uppsala.*

[2] Berg, B., Booltink, H., Breymeyer, A., Ewertsson, A., Gallardo, A., Holm, B., Johansson, M.-B., Koivuoja, S., Meentemeyer, V., Nyman, P., Olofsson, J., Pettersson, A.-S., Reurslag, A., Staaf, H., Staaf, I. and Uba, L., 1991b. Data on needle litter decomposition and soil climate as well as site characteristics for some coniferous forest sites, Part II, Decomposition data. *Report 42, Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Ecology and Environmental Research, Uppsala.*

[3] Berg, B., Berg, M. P., Bottner, P., Box, E., Breymeyer, A., De Anta, R. C., Couteaux, M., M¨alk¨onen, E., McClaugherty, C., Meentemeyer, V., Munoz, F., Piussi, P., Remacle, J. and De Santo, A. V., 1993. Litter mass loss in pine forests of Europe and Eastern United States: some relationships with climate and litter quality. *Biogeochemistry*, 20, 127-159.

[4] Gholz, H. L., Wedin, D. A., Smitherman, S. M., Harmon, M. E. and Parton, W. J., 2000. Long-term dynamics of pine and hardwood litter in contrasting environments: Toward a global model of decomposition. *Global Change Biology*, 6, 751-765.

[5] Liski, J., Palosuo, T., Peltoniemi, M. and Siev¨anen, R., 2005. Carbon and decomposition model Yasso for forest soils. *Ecological Modelling*, 189, 168-182.

[6] Trofymow, J. A. and the CIDET Working Group, 1998. The Canadian Intersite Decomposition ExperimenT (CIDET): Project and site establishment report. *Information report BC-X-378, Pacific Forestry Centre, Victoria, Canada.*

[7] Tuomi, M., Vanhala, P., Karhu, K., Fritze, H. and Liski, J., 2007. Heterotrophic soil respiration - Comparison of different models describing its temperature dependence. *Ecological Modelling*, 211, 182-190.

Männyn, kuusen ja koivun hiilitase muuttuvassa ilmastossa: lämpötilan ja mykorritsasienilajiston vaikutusten tarkastelua

The carbon balance of Scots pine, Norway spruce and silver birch in changing climate: the effect of temperature and ectomycorrhizal fungal communities

Jussi Heinonsalo[1], Jukka Pumpanen[2], Terhi Rasilo[2], Kaj-Roger Hurme[3], Julie Villemot[1], M. Bomberg[1], ja Hannu Ilvesniemi[4]

[1]Soveltavan kemian ja mikrobiologian laitos, Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta, PL56, 00014 Helsingin yliopisto, [2]Metsäekologian laitos, Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta, PL27, 00014 Helsingin yliopisto, [3]Laitekeskus, Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta, PL27, 00014 Helsingin yliopisto, [4]Metsäntutkimuslaitos, Jokiniemenkuja 1, 01370 Vantaa

Johdanto

Ilmaston lämpeneminen johtaa myös metsämaan lämpötilan nousuun, minkä seurauksena maaperän mikrobiologinen aktiivisuus ja mikrobilajisto saattavat muuttua. Mykorritsasienet ovat metsäpuidemme kasvun kannalta elintärkeitä symbionttisia mikrobeja. Kasvi luovuttaa osan yhteyttämästään hiilestä mykorritsasienille, jotka vastavuoroisesti keräävät rihmastonsa avulla ravinteita kasville. Mykorritsasienten avulla kasvit myös kestävät paremmin kuivuutta ja voivat suojautua haitallisia taudinaiheuttajamikrobeja vastaan. Mykorritsat siis kuluttavat kasvin yhteyttämää hiiltä ja mykorritsalajien välillä on eroja niiden hiilentarpeessa. Näin ollen ne vaikuttavat siihen kuinka paljon kasvi käyttää hiiltä juuri- ja versobiomassan kasvattamiseen sekä hengitykseen. Näillä tekijöillä voi olla vaikutusta metsän biomassatuotokseen. Myös mallinnuksen kannalta on tärkeää saada testattuja suhdelukuja yhteytetyn hiilen kulusta ja sijoittumisesta kasvi-mikrobi-maaperä –systeemissä.

Aineisto ja menetelmät

Teimme laboratorio-olosuhteissa kolme koetta, joissa tutkittiin kasvin hiilenvaihtoa (yhteyttäminen sekä hengitys verso- ja juuripuolella), hiilen allokaatiota $^{14}CO_2$ pulssileimauksella ja biomassan jakauman avulla, sekä mykorritsasieni- ja arkkiyhteisön rakennetta. Kokeet tehtiin niin, että samasta taimesta on saatavilla mittaustietoa hiilenvaihdosta, biomassajakaumasta ja mykorritsa- tai arkkilajistosta sekä pulssileimatun hiilen liikkeistä. Yhdistämällä monipuolinen mittausaineisto on mahdollista aikaansaada kattava kuva taimien hiilitaseesta ja -allokaatiosta.

Kaasunvaihtomittaukset tehtiin käyttäen hyväksi tarkoitusta varten suunniteltuja kasvatuskyvettejä, joissa verso- ja juuripuoli voitiin erottaa toisistaan ilmatiiviisti kaasuvoiden mittausta varten. Mittaus perustui CO_2 pitoisuuden muutoksiin kyvetin läpi virtaavassa ilmassa. Fotosynteesissä CO_2 pitoisuus laskee kun taas hengityksen yhteydessä pitoisuus kasvaa verrattuna rinnalla virtaavan kontrollikaasun pitoisuuteen. Järjestelmässä lämpötila, sisäänvirtaavan kaasun CO_2-pitoisuus, kosteus ja virtausnopeus ovat säädeltyjä. ^{14}C-leimaus suoritettiin siten, että suljettuun versokyvettiin vapautettiin leima, annettiin taimen yhteyttää syntynyttä $^{14}CO_2$:ta tunnin ajan, jonka jälkeen ilmatilaan sitomatta jäänyt leima kerättiin talteen. Tämän jälkeen juuripuolelta syntynyt $^{14}CO_2$ kerättiin talteen ja mitattiin, samoin kuin kokeen lopussa eri biomassajakeisiin sitoutunut leimahiili. Mykorritsasieni- ja arkkilajisto määritettiin PCR- ja DGGE-menetelmien avulla ja DGGE-menetelmässä syntyneet DNA-juovat tunnistettiin sekvensointimenetelmällä. Myös mykorritsojen määrä, mykorritsallisten juurenkärkien osuus sekä erilaiset morfotyypit määritettiin.

Kokeessa 1 tutkittiin männyn, kuusen ja koivun hiilitasetta hiilenvaihtomittauksin sekä $^{14}CO_2$ pulssileimauksella vakiolämpötilassa. Kokeen perusteella voidaan arvioida eri puulajien hiilitasetta ja ilmakehästä yhteytetyn hiilen kiertonopeutta takaisin ilmakehään (taulukko 1).
Kokeessa 2 tutkittiin männyllä mykorritsasienilajiston vaikutusta taimen hiilenvaihtoon, $^{14}CO_2$ pulssileiman allokaatioon ja biomassan jakautumiseen vakiolämpötilassa. Kokeen

perusteella voidaan arvioida eri sienilajien vaikutusta hiilenvaihtoon ja -allokaatioon (taulukko 2). Kokeessa 3 tutkittiin kolmessa eri maan lämpötilassa kasvaneiden männyn, kuusen ja koivun sieni- ja arkkilajistoa sekä hiilenvaihtoa. Kokeen perusteella voidaan arvioida miten muuttuva maan lämpötila vaikuttaa mykorritsasieni- ja arkkilajistoon ja taimen hiilenvaihtoon.

Tulokset

Taulukko 1. CO_2 kaasutaseet (µg CO_2 s^{-1}) mitattuna kolmen ja seitsemän kuukauden ikäisistä männyn, kuusen ja koivun taimista.

Puulaji	Verson fotosynteesi	*P*	Verson hengitys	*P*	Juurten, ritsosfäärin ja maan hengitys	*P*	Maan hengitys	*P*	Juurten ja ritsosfäärin hengitys	*P*	Netto CO_2 vaihto	*P*
Mänty 3 kk (n=5)	0.16	0.033	0.02	0.001	0.30	0.063	0.24	0.004	0.05	0.458	0.10	0.037
Mänty 7 kk (n=5)	0.28		0.07		0.22		0.14		0.08		0.20	
Kuusi 3 kk (n=5)	0.34	0.015	0.11	0.09	0.39	0.127	0.40	0.000	-0.01	0.003	0.35	0.156
Kuusi 7 kk (n=5)	0.62		0.19		0.52		0.08		0.43		0.19	
Koivu 3 kk (n=3)	1.2 (1.22 n=5)	0.24	0.33 (0.28 n=5)	0.02	0.81 (0.67 n=5)	0.652	0.22	0.004	0.59 (0.45 n=5)	0.914	0.63 (0.77 n=5)	0.160
Koivu 7 kk (n=3)	0.86		0.25		0.66		0.11		0.55		0.30	

Taulukko 2. Yhteenveto viiden eri ektomykorritsalajin vaikutuksista fotosynteesiin ja hengitykseen sekä ^{14}C-allokaatioon ja biomassan jakaumaan.

		Fotosynteesi/ hengitys	^{14}C-jakauma	Biomassa
T.terrestris	Verso	Ei eroja	Ei eroja	Ei eroja
	Juuret ja mykorritsa	Ei eroja	Ei eroja	Ei eroja
	Maa/maaneste	ND	Ei eroja	ND
C.geophilum	Verso	Ei eroja	Ei eroja	Ei eroja
	Juuret ja mykorritsa	Ei eroja	Ei eroja	Ei eroja
	Maa/maaneste	ND	Jos yleisyys 10-70%, enemmän leimaa maanesteessä (bulk soil) Jos yleisyys 10-35%, enemmän leimaa rihmastomaanesteessä Jos yleisyys 0%, enemmän leimaa juuriin (per g kuiva-ainetta)	ND
S.variegatus	Verso	Jos yleisyys 4-30%, verson hengitys suurempi	Ei eroja	Jos yleisyys 4-30%, enemmän neulas- ja maanpäällistä biomassaa
	Juuret ja mykorritsa	Jos yleisyys 30-60%, suurempi juuri- ja mykorritsahengitys (kokonais- ja per g kuiva-ainetta) ja koko maahengitys	Jos yleisyys 30-60%, vähemmän leimaa mykorritsoihin Jos yleisyys 4-30%, vähemmän leimaa juuriin ja mykorritsoihin (per g kuiva-ainetta	Ei eroja
	Maa/maaneste	ND	Jos yleisyys 4-60%, enemmän leimaa maassa (bulk soil)	ND
P.croceum	Verso	Ei eroja	Ei eroja	Ei eroja
	Juuret ja mykorritsa	Ei eroja	Ei eroja	Ei eroja
	Maa/maaneste	ND	Ei eroja	ND
Laccaria sp.	Verso	Jos yleisyys 14-63%, alhaisempi nettofotosynteeis per g neulaskuivapainoa	Ei eroja	Ei eroja
	Juuret ja mykorritsa	Ei eroja	Ei eroja	Jos yleisyys 14-63%, juuri-versosuhde pienempi
	Maa/maaneste	ND	Ei eroja	ND

Tulosten tarkastelu

Eri puulajeilla oli eroja mm. hiilen allokaatiossa, fotosynteesitehokkuudessa sekä siinä miten nopeasti yhteytetty hiili tulee juuriston ja maaperän kautta takaisin ilmakehään CO_2-muodossa. Erilaiset mykorritsasieniyhteisöt myös vaikuttavat puun yhteyttämän hiilen käyttöön ja allokaatioon sekä juuriston ja mykorritsojen hengityksen sekä maahengityksen suuruuteen. Maan lämpötilan nousu näytti vähentävän mykorritsojen määrää. Mykorritsabiomassan kasvu nopeutti yhteytetyn hiilen paluuta ilmakehään. *Crenarchaeota*-ryhmään kuuluvien arkkien monimuotoisuus laski lämpötilan noustessa kun taas *Euryarchaeaota*-ryhmään kuuluvien vastaavasti nousi. Metaania tuottavat arkit kuuluvat *Euryarchaeaota*-ryhmään.

Maatalousmaat ja ilmastonmuutos

Agricultural soils and climate change

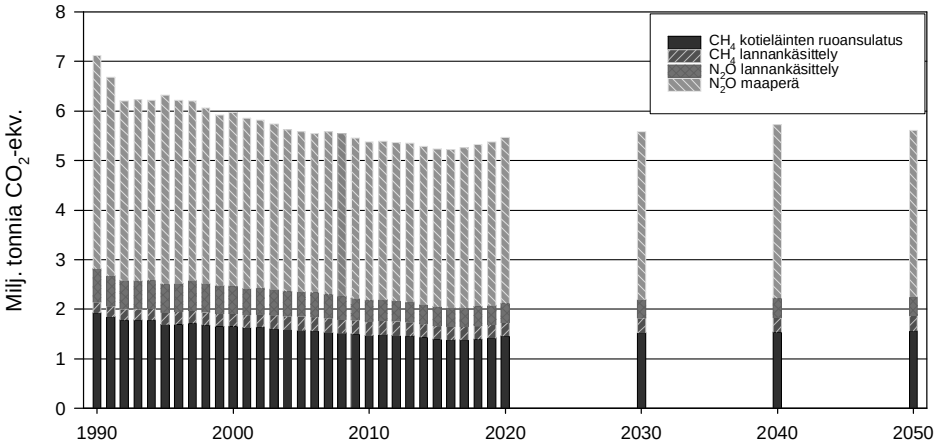
Martti Esala[1], Kristiina Regina[1] ja Heikki Lehtonen[2]

[1] Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, Maaperä ja kasvinravitsemus, E-talo, 31600 Jokioinen
[2] Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, Taloustutkimus, Luutnantintie 13, 00410 Helsinki

Maaperä on tärkeä tekijä toisaalta kasvihuonekaasujen päästölähteenä ja mahdollisten ilmastonmuutoksen hillintätoimien kohteena ja toisaalta ilmastonmuutokseen sopeutumisen kannalta.

Maatalous ja maaperä kasvihuonekaasujen lähteenä

Maatalouden osuus Suomen kasvihuonekaasupäästöistä oli vuonna 2006 n. 7 %, ns. maankäyttö- ja maankäytön muutossektori mukaan lukien 16 % [1]. Maatalouden energiankäytön osuus on 1,6 % päästöistä. Maatalouden metaani- ja dityppioksidipäästöt tulevat kotieläinten ruuansulatuksesta ja lannasta sekä peltojen lannoituksesta (Kuva 1). Maankäytön muutos, orgaanisten maiden mineralisaatio ja kalkitus aiheuttavat lisäksi hiilidioksidipäästöjä maaperästä. Maataloudesta tulee maassamme n. 40 % metaanin, 54 % dityppioksidin ja 3 % hiilidioksidin päästöistä. Maaperän osuus maatalouden päästöistä on noin 60 %. Suurimmat yksittäiset päästölähteet ovat kotieläinten ruuansulatus ja orgaanisten maiden viljely.



Kuva 1. Maatalouden metaani- ja dityppioksidipäästöjen kehitys päästölähteittäin vuodesta 1990 sekä arvio kehityksestä vuoteen 2050 nykyisen kaltaisen CAP -reformin mukaisen maatalouspolitiikan vallitessa.

Maatalouden kasvihuonekaasupäästöt ovat vähentyneet vuodesta 1990 noin 23 % [2]. Päästöjen on arveltu edelleen vähenevän vuoteen 2015 saakka, minkä jälkeen niiden arvellaan lisääntyvän jonkin verran vuoteen 2050 ulottuvissa arvioissa. Päästöjen vähentyminen on johtunut lähinnä kotieläinten määrän, typpilannoituksen ja viljelyssä olevien turvemaiden pinta-alan vähentymisen vuoksi. Sikojen ja nautakarjan määrän odotetaan edelleen hitaasti vähenevän joitakin vuosia maatalouspolitiikan muutosten vuoksi. Päästöjen lisääntymisen vuoden 2020 jälkeen arvellaan johtuvan viljelypinta-alan kasvusta ja tuotannon elpymisestä elintarvikkeiden kysynnän ja hintojen pysyessä suotuisina.

Myös maankäytön ja maankäytön muutosten (ns. LULUCF) aiheuttamat päästöt ovat vähentyneet vuodesta 1990, koska orgaanisten maiden pinta-ala on pienentynyt. Niiden ennustetaan kuitenkin lisääntyvän lievästi vuoden 2020 jälkeen. Ennustettu lisäys johtuu ennen muuta lisääntyvästä pellon raivauksesta elintarvikkeiden hintojen nousun sekä maatalouden tehokkuuden ja kannattavuuden paranemisen seurauksena. Raivaus, jota voi paikoin vauhdittaa myös maitokiintiöjärjestelmän päättyminen ja kotieläintalouden peltoalavaatimukset, lisää päästöjä varsinkin turvemailla.

Valtioneuvoston ilmasto- ja energiastrategiassa esitetään kaikille sektoreille päästövähennystavoitteita. Maatalouden päästövähennyksiä tavoitellaan ennen muuta pellonraivauksen välttämisellä varsinkin turvemailla. Myös kotieläinten ruokinnan tarkentamisella ja kulutustottumusten muutoksilla vähemmän eläintuotteiden sisältävää suuntaan haetaan pienempiä päästöjä.

Ilmastonmuutoksen vaikutus maaperään

Ilmastonmuutoksen vaikutuksista viljelymaiden maaperään on vähän tutkimustuloksia. Ne ovat enemmänkin perustiedon pohjalta tehtävien päätelmien varassa kuin tutkimuksista, joissa olisi tutkittu suoraan ilmastonmuutoksen vaikutuksia [2, 3]. Ilmaston lämpenemisen, sateisuuden lisääntymisen ja talvien leudontumisen on arveltu vaikuttavan maaperän eliötoimintoihin, mikä todennäköisesti lisää kaasumaisia päästöjä ja ravinnehuuhtoumia. Maa voi tiivistyä roudan vähentymisen ja sateisuuden lisääntymisen seurauksena. Myös maan murujen muodostuminen ja sitä kautta hyvän kylvöalustan valmistaminen saattavat vaikeutua. Ilmastonmuutos vaikuttanee myös maan hiilidynamiikkaan, orgaanisen aineksen muodostumiseen, eroosioon ja vesitalouteen. Ilmastonmuutoksen yhteydessä muuttuvat myös viljelykasvit ja –käytännöt, ja viljelytapoja on muutettava ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi ja siihen sopeutumiseksi.

Kirjallisuus

[1] Vuoden 2008 virallinen päästöinventaario ilmastosopimukselle http://www.tilastokeskus.fi/til/khki/2006/khki_2006_2008-04-18_tie_001_fi.html
[2] Regina, K., Lehtonen, H., Esala M. 2008. Arvio perusuran ja politiikkaskenaarion mukaisesta maatalouden kasvihuonekaasupäästöjen kehityksestä vuoteen 2050 mennessä. Selvitys maa- ja metsätalousministeriölle 13.2.2008. http://www.mmm.fi/attachments/5eWDKveQh/5zZorIsh1/Files/CurrentFile/Arvio_maatalouden_kasvihuonekaasupaastojen_kehityksesta_MTT_13_2_2008.pdf
[3] Lal, R. 2002. Soil processes and green house gas effect. Agricultural soils and greenhouse gasses in cool-temperate climate. NJF seminar no: 342.
[4] Dexter, A., Richard, G. and Czyz, E. 2008. Do soils change when climate changes? Eurosoil 2008. Book of Abstracts. p.18.

Low soil temperature as a result of snow removal increases emission and production of N_2O in boreal agricultural soils

Alhainen maan lämpötila lumen poiston seurauksena lisää dityppioksidin muodostumista ja päästöjä boreaalisilla maatalousmailla

Marja Maljanen[1], Perttu Virkajärvi[2], Jyrki Hytönen[3] and Pertti J Martikainen[1]

[1]University of Kuopio, Department of Environmental Science, P.O. Box 1627, FI-70211 Kuopio, Finland, Marja.Maljanen@uku.fi, Pertti.Martikainen@uku.fi
[2]MTT Agrifood Research Finland, Animal Production Research, Halolantie 31 A, FI-71750 Maaninka, Finland. Perttu.Virkajarvi@mtt.fi
[3] Finnish Forest Research Institute, Kannus Research Unit, P.O. Box 44, FI-69101 Kannus, Finland, Jyrki.Hytonen@metla.fi

Abstract

Nitrous oxide (N_2O) isproduced in soils mainly in microbial processes, nitrification and denitrification. N_2O is a greenhouse gas with heating potential 298 times that of CO_2 (100 year time horizon). Agricultural soils are the most potential global N_2O sources. According to recent studies N_2O emissions from boreal agricultural soils outside the growing season can contribute significantly to the annual emissions. Snow cover has an important role in the winter time dynamics of N_2O because it affects soil temperature and depth of the frost[1].

We have measured N_2O emissions and N_2O concentrations in soil during two years from three different boreal agricultural soils (mineral soil, mull soil and peat soil). During the first winter, six out from the 12 gas sampling plots at each site were kept free from snow and 6 plots were left under undisturbed snow cover. During the second winter we planned to simulate delayed snow accumulation by removing all snow until the end of December. However, the second winter was exeptionally warm, and the permanent snow cover didn't appear until the middle of January. Therefore manipulation period lasted that year only two weeks in November, when there was a thin snow cover.

During the first winter, snow removal caused deep and long soil frost at all study sites. N_2O emissions from the study plots without snow increased slightly during soil freezing in the first autumn. During soil thawing in spring N_2O emissions were very high and significantly higher from manipulated plots than those with undisturbed snow cover. During the second winter enhanced emissions were seen in mineral and mull soils during the cold period in November, thereafter N_2O emissions decreased until soils were thawing. During the second thawing period there were no differences in N_2O emission rates in mineral or mull soils between treatments. In peat soil N_2O emission rate was slightly higher from manipulated soil than from undisturbed plots after thawing. This study confirmed results from previous field[1] and laboratory microcosm experiments[2] showing that not only soil thawing but also freezing can spike N_2O emission from soil.

Concentrations of N_2O in soil in soil started to increase immediately after the top soil was frozen and surprisingly increased with increasing soil frost and decreasing soil temperature. During the first winter N_2O concentrations were significantly higher under plots without snow (lower soil temperature). This indicates higher production of N_2O and/or slower diffusion rate of N_2O in the frozen soil. It is possible that freezing of soil enhances decomposition of organic matter and associated oxygen consumption. Low O_2 concentration favours denitrification which is here the most likely source of N_2O. Furthermore, the reduction of N_2O to N_2 can be inhibited in frozen soil[3] in contrast to unfrozen soil. The results show that the

lower soil temperature as a result of decrease in snow cover, a possible trend with warming climate, may lead to higher N_2O emissions from soils in the boreal region.

References

[1] Maljanen, M., Kohonen, A.-R., Virkajärvi, P., Martikainen, P.J. 2007. Fluxes and production of N_2O, CO_2 and CH_4 in boreal agricultural soil during winter as affected by snow cover. *Tellus 59B:* 853-859.
[2] Koponen, H.T., Escudé Duran, C., Maljanen, M., Hytönen, J., Martikainen, P.J. 2006. Temperature responses of NO and N_2O emissions from boreal organic agricultural soil. *Soil Biology and Biochemistry* 38: 1779-1787.
[3] Wagner-Riddle, C., Hu, Q.C., van Bochove, E., Jayasundara, S. 2008. Linking nitrous oxide flux during spring thaw to nitrate denitrification in the soil profile. *Soil Science Society of America Journal* 72: 908-916.

Suoekosysteemin hiilen kierron osatekijöiden vasteet vedenpinnan tason alenemiseen

Responses of boreal peatland carbon cycle to water-level drawdown along a fen-bog gradient

Raija Laiho[1], Jani Anttila[1], Chris Freeman[2], Hannu Fritze[3], Jukka Laine[4], Maarit Niemi[5], Krista Peltoniemi[3], Timo Penttilä[3] ja Petra Vávřová[1]

[1] Helsingin yliopisto, Metsäekologian laitos. s-posti raija.laiho@helsinki.fi
[2] School of Biological Sciences, University of Wales, Bangor, UK
[3] Metsäntutkimuslaitos, Vantaan toimintayksikkö
[4] Metsäntutkimuslaitos, Parkanon toimintayksikkö
[5] Suomen Ympäristökeskus

Turvemaat muodostavat huomattavan hiilivaraston. On arvioitu, että Suomen suot sisältävät noin 5.6 Pg hiiltä [7], noin 80% maaperämme hiilivaraston kokonaismäärästä. Soiden hiilivirtoja ja -tasetta on tutkittu lähinnä kaasunvaihtomittauksin. Ne antavat arvokasta tietoa kokonaishiili- virroista, mutta tulosten perusteella ei ole helppoa ennustaa hiilitasetta muuttuvissa olosuhteissa. Ennusteita varten tulee tietää tarkemmin, mistä hiilivirrat koostuvat ja miten niiden eri osatekijät muuttuvat erilaisissa olosuhteissa. Muutoksia arvioitaessa on otettava huomioon myös lähtö-tilanne sekä tarkasteltavan ajanjakson pituus. Esimerkiksi lyhytkestoisen kuivumisen vaikutukset voivat olla huomattavan erilaiset kuin pitkäkestoisen, koska muuttuneet olosuhteet muokkaavat paitsi ekosysteemin fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia, myös sekä kasvillisuutta että mikrobistoa [4]. Muutokset voivat myös olla hyvin erilaisia erityyppisillä soilla.

Tavoitteenamme on "purkaa" soiden hiilivirrat osatekijöihinsä, ja tarkastella kunkin osatekijän vastetta kuivumiseen. Näihin osatekijöihin kuuluvat karikesyöte (määrä ja laatu), aerobisen mikrobiyhteisön rakenne ja toiminta (mitattiin hengityksenä ja tiettyjen solunulkoisten entsyy-mien aktiivisuutena), sekä karikesyötteen muodostavien eri karikelajien hajoamisnopeudet. Tarkastelumme kohteena on suon eriasteisesti hapekas pintakerros, jossa suurin osa hiilivirroista tapahtuu.

Aineistomme on kerätty 1) luonnontilaisten ja eri aikoina metsäojitettujen sararämeiden ikä-sarjasta Pirkka-Hämeessä [5], 2) Oriveden Lakkasuolta koejärjestelystä [6], joka käsittää kolme suotyyppiä luonnontilassa sekä niiden lyhyt- ja pitkäkestoiselle vedenpinnan alenemiselle altistu-neet vastinkoealat [1, 2], sekä 3) Rovaniemen Suonukkasuolta, missä pohjavesilaitos on aiheutta-nut kuivumisgradientin [3].

Karikesyötteen määrässä tapahtui kuivumisen myötä merkittäviä muutoksia niin määrällisesti kuin laadullisestikin. Vaikka ikäsarja-aineisto ei osoittanut suuria muutoksia maanpäällisten karikkeiden kokonaismäärissä kuivumisen jälkeen [5], Lakkasuolla tehdyt mittaukset osoittivat selvää lisäystä kuivumisen myötä [1]. Ruoho- ja heinämäisten kasvien (lähinnä sarat, tupasvilla) karikkeet korvautuivat suuremmilla määrillä varpujen ja puiden karikkeita, ja rahkasammalkarike korvautui metsäsammalkarikkeella. Erityisesti rämekohteella rahkasammalet muodostivat kuiten-kin huomattavan määrän kariketta myös pitkäkestoisen kuivumisen jälkeen. Ikäsarja-aineiston mukaan ohutjuurikarikkeen muodostuminen vähenisi jonkin verran kuivumisen myötä, ja ruoho-jen ja heinämäisten kasvien juuret korvautuisivat varpujen ja puiden juurilla.

Muutokset eri karikelajien hajoamisnopeuksissa olivat vähäisempiä. Yleisesti ottaen hajotus-nopeudet kasvoivat lyhytkestoisen kuivumisen myötä. Esimerkiksi pullosaran (*Carex lasiocarpa*) lehtikarikkeen massahäviö oli luonnontilaisella nevalla 1. vuonna 21% ja 2.vuonna 39% (vähem-män kuin muilla lehtikarikkeilla), lyhytkestoisen kuivumisen jälkeen

vastaavat arvot olivat 37% ja 48% (samaa suuruusluokkaa kuin muilla lehtikarikkeilla). Rämekoealalla muutokset olivat vähäisiä. Myös pitkäkestoisen kuivumisen seurauksena hajotus oli yleensä nopeampaa kuin luonnontilassa; joissakin tapauksissa kuitenkin hitaampaa kuin lyhytkestoisen kuivumisen jälkeen.

Mikrobiyhteisöjen koostumuksessa havaittiin myös selvä vaste vedenpinnan alenemiseen [2, 3]. Mikrobiston vasteet näyttivät seurailevan muutoksia kasvillisuuden koostumuksessa, ja siten myös karikkeiden eli hajotettavan aineksen laadussa, eivätkä siis riippuneet vain vedenpinnan muutoksesta sinänsä. Hajotettava karikelaji vaikutti selvästi sekä aktiivisen sieni- ja aktino-bakteeriyhteisön koostumukseen että mikrobiyhteisöjen toimintaan. Vaikuttaa kuitenkin siltä, että useat koostumukseltaan erilaiset mikrobiyhteisöt pystyvät tehokkaaseen orgaanisen aineen hajotukseen, vaikkakin on olemassa yksittäisiä erityisen tehokkaita lajeja.

Saatuamme pidemmän ajanjakson hajoamistuloksia voimme arvioida karikesyötteen määrän ja laadun muutosten vaikutusta hiilitaseeseen. Saamme lähitulevaisuudessa aineistoa myös juurten tuotoksesta ja hajoamisesta, ja pystymme ottamaan huomioon tämän tärkeän osatekijän. Tähän-astiset tuloksemme osoittavat kuitenkin jo selvästi, että kasvillisuuden koostumuksen muutoksilla on erittäin merkittävä vaikutus soiden hiilivirtoihin muuttuvissa olosuhteissa. Voidaksemme en-nustaa muutokset soiden hiilen kierrossa ja hiilitaseessa, meidän on pystyttävä ennustamaan muutokset kasvillisuuden koostumuksessa. Näissä ennusteissa on otettava huomioon aikatekijä: vasteet lyhyellä (vuosia) ja pitkällä (vuosikymmeniä) aikavälillä voivat olla huomattavan eri-laiset.

Kirjallisuus

[1] Anttila, J. 2008. *Lyhyt- ja pitkäaikaisen kuivatuksen aiheuttamat muutokset soiden maanpäällisen karikkeen tuotossa*. Pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto, metsäekologian laitos.
[2] Jaatinen, K., Fritze, H., Laine, J. & Laiho, R. 2007. Effects of short- and long-term water-level drawdown on the populations and activity of aerobic decomposers in a boreal peatland. *Global Change Biology* 13: 491-510.
[3] Jaatinen, K., Laiho, R., Vuorenmaa, A., del Castillo, U., Minkkinen, K., Pennanen, T., Penttilä, T. & Fritze, H. 2008. Responses of aerobic microbial communities and soil respiration to water level drawdown in a northern boreal fen. *Environmental Microbiology* 10: 339-353.
[4] Laiho, R. 2006**.** Decomposition in peatlands: Reconciling seemingly contrasting results on the impacts of lowered water levels. *Soil Biology & Biochemistry* 38: 2011-2024.
[5] Laiho, R., Vasander, H., Penttilä, T. & Laine, J. 2003. Dynamics of plant-mediated organic matter and nutrient cycling following water-level drawdown in boreal peatlands. *Global Biogeo-chemical Cycles* 17(2), 1053, doi: 10.1029/2002GB002015
[6] Laine, J., Komulainen, V.-M., Laiho, R., Minkkinen, K., Rasinmäki, A., Sallantaus, T., Sark-kola, S., Silvan, N., Tolonen, K., Tuittila, E.-S., Vasander, H. & Päivänen, J. 2004. Lakkasuo – a guide to mire ecosystem. *University of Helsinki Department of Forest Ecology Publications* 31.
[7] Minkkinen, K., Korhonen, R., Savolainen, I., and Laine, J. 2002. Carbon balance and radia-tive forcing of Finnish peatlands 1900-2100 - the impact of forestry drainage. *Global Change Biology* 8: 785-799.

Metaanin tuoton vuodenaikaisuus sarasuolla – mikrobit ja kaasuvuo

Seasonality of methanogenesis in a boreal fen – microbes, production and emission

Heli Juottonen[1], Eeva-Stiina Tuittila[2], Sari Juutinen[2], Janne Rinne[3], Timo Vesala[3], Hannu Fritze[4] ja Kim Yrjälä[1]

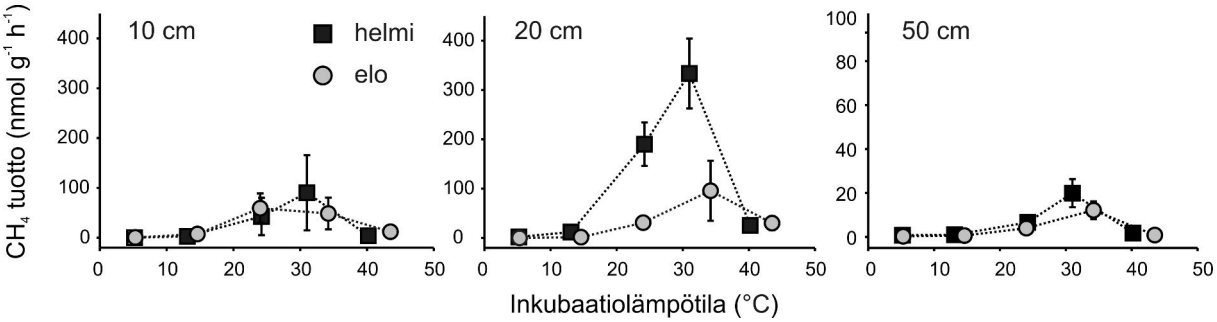
[1] Bio- ja ympäristötieteiden laitos, Yleinen mikrobiologia, Helsingin yliopisto
heli.juottonen@helsinki.fi
[2] Metsäekologian laitos, Helsingin yliopisto
[3] Fysiikan laitos, Helsingin yliopisto
[4] Metsäntutkimuslaitos, Vantaan toimintayksikkö

Johdanto

Suot ovat yksi suurimmista kasvihuonekaasu metaanin (CH_4) lähteistä luonnossa. Metaani syntyy mikrobien hajottaessa orgaanista ainesta hapettomissa oloissa. Monivaiheisen hajotusketjun päätteeksi arkkeihin kuuluvat metanogeenit tuottavat metaania. Boreaalisten soiden metaanivuo vaihtelee huomattavasti vuodenajan mukaan, ja myös talvella vapautuu pieniä määriä metaania [1]. Tavoitteenamme oli selventää vuodenaikaisen vaihtelun mikrobiologista taustaa yhdistämällä metanogeenien yhteisörakenne, laboratoriossa mitattu metaanintuotto sekä kentällä mitattu metaanivuo.

Aineisto ja menetelmät

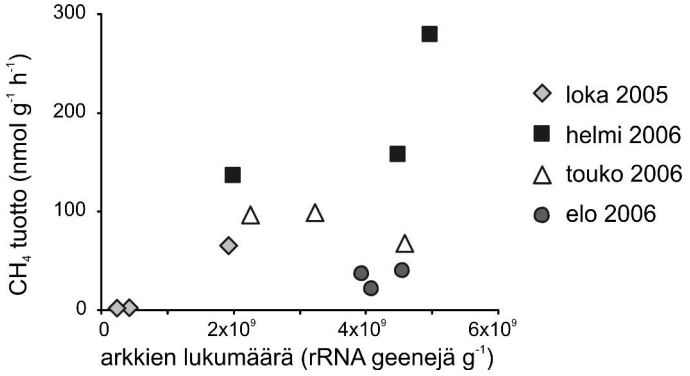
Tutkimusalue sijaitsee Siikanevalla (Ruovesi/Orivesi). Suotyypiltään alue edustaa lyhytkorsikalvakkanevaa ja saranevaa [2,3]. Turveprofiilit kairattiin neljänä ajankohtana vuoden aikana: lokakuussa ennen lumen tuloa, helmikuussa suon pinnan ollessa jäässä, lumen sulettua toukokuussa sekä elokuussa. Eri syvyyksien (10, 20, 50, 150, 280 cm) metaanintuottopotentiaali mitattiin anaerobisissa laboratorioinkubaatioissa 4-43 °C:n lämpötiloissa. Turvenäytteistä eristettiin kokonais-DNA ja -RNA, joista PCR-monistettiin arkkien ribosomaalista 16S RNA-geeniä. Arkkien lukumäärää eri vuodenaikoina verrattiin kvantitatiivisella PCR-menetelmällä. Yhteisön koostumusta tutkittiin T-RFLP-sormenjälkimenetelmällä (terminal restriction fragment length polymorphism) sekä sekvensoimalla kloonattuja geenifragmentteja [4].



Kuva 1. Potentiaalisen metaanintuoton lämpötilavaste suon eri syvyyksillä helmi- ja elokuussa. Keskiarvo ± keskihajonta, n=3. Huomaa y-akselin poikkeava mittakaava 50 cm:n kuvassa.

Tulokset ja tarkastelu

Metaanintuottopotentiaali oli suurin 20 cm:n syvyydellä, missä havaittiin myös suurin lämpötilavaste ja vuodenaikainen vaihtelu (Kuva 1). Tuottopotentiaali oli yllättävän suuri talvella, kun taas näytteenottoa edeltänyt kuiva jakso luultavasti pienensi potentiaalia elokuussa. Lämpötilaoptimi havaittiin n. 30 °C:ssa. Optimi ei muuttunut syvyyden tai vuodenajan mukaan. Arkkiyhteisön koostumuksessa havaittiin vain pieniä vuodenaikaisia muutoksia, ja samat metanogeeniryhmät esiintyivät ympäri vuoden [4]. Aktiivisia metanogeeneja havaittiin myös talvella. Arkkiyhteisön koko ei juuri vaihdellut vuodenajan mukana eikä yhteisö huomattavasti pienentynyt elokuussa kuivan jakson jälkeen (Kuva 2). Tulokset viittaavat siihen, että metanogeeniyhteisön koostumuksen tai koon vaihtelun sijaan ensisijaisesti yhteisön aktiivisuus sääteli metaanintuottoa.



Kuva 2. Metaanintuottopotentiaali verrattuna arkkiyhteisön kokoon eri vuodenaikoina (kolme rinnakkaista turvenäytettä 20 cm:n syvyydeltä). Tuottopotentiaali mitattiin 25 °C:ssa. Arkkien lukumäärä perustuu ribosomaalisen RNA-geenin kopiomäärään.

Tarkastelua laajennetaan koko vuoden ajalle rakentamalla malli eri syvyyksien metaanintuoton lämpötilavasteen pohjalta. Mallin avulla tutkittavalta ajanjaksolta kerätystä lämpötila-aineistosta lasketaan arvio metaanintuotolle vuoden aikana koko turveprofiilissa. Tätä arviota ja sen ajallista vaihtelua verrataan samana ajanjaksona mikrometeorologisella eddy kovarianssi-menetelmällä mitattuun metaanivuohon [1].

Kirjallisuus

[1] Rinne, J., Riutta, T., Pihlatie, M., Haapanala, S., Tuovinen, J.P., Tuittila, E.-S. & Vesala, T. 2007. Annual cycle of methane emission from a boreal fen measured by the eddy covariance technique. *Tellus* 59B: 449-457.

[2] Silvan, N., Saarinen, M., Sarkkola, S., Päivänen, J. & Vasander, H. 2008. Siikaneva – Pirkanmaan laajin suoerämaa. *Helsingin yliopiston Metsäekologian laitoksen julkaisuja* 37: 1-88.

[3] Riutta, T., Laine, J., Aurela, M., Rinne, J., Vesala, T., Laurila, T., Haapanala, S., Pihlatie, M. & Tuittila, E.-S. 2007. Spatial variation in plant community functions regulates carbon gas dynamics in a boreal fen ecosystem. *Tellus* 59B: 838-852.

[4] Juottonen, H., Tuittila, E.-S., Juutinen, S., Fritze, H. & Yrjälä, K. 2008. Seasonality of rDNA- and rRNA-derived archaeal communities and methanogenic potential in a boreal mire. *The ISME Journal* 2: 1157-1168.

Charles Darwin (1809-1882) - 200 vuotta maaperätutkijan syntymästä

Charles Darwin (1809-1882) - 200 years from the birth of a soil scientist

Visa Nuutinen

Maa-ja elintarviketalouden tutkimuskeskus MTT, 31600 Jokioinen, puh. 03-4188 2414; e-mail: visa.nuutinen@mtt.fi

Helmikuun 12. päivänä 2009 on kulunut kaksisataa vuotta Charles Darwinin, historian yhden merkittävimmän tiedemiehen syntymästä. Darwinin tuotanto oli hyvin monipuolinen ja useiden tieteenalojen voi odottaa juhlavuoden kuluessa arvioivan hänen elämäntyönsä merkitystä. Maaperätieteissä siihen on oma erityinen syynsä.

Lokakuussa 1881, 72 vuotiaana ja vain vajaat puoli vuotta ennen kuolemaansa, Darwin julkaisi viimeisen teoksensa, *The Formation of Vegetable Mould, through the Action of Worms, with Observations on Their Habits* [1]. Se kokosi yhteen tulokset yli neljänkymmenen vuoden ajan kestäneestä, loppuvaiheessaan intensiivisestä tutkimuksesta lierojen biologiasta ja merkityksestä maaperässä [2]. Darwin lähestyi aihetta monista näkökulmista käsitellen maaperätiedettä (humuksen muodostuminen, maahorisonttien synty), geologiaa (eroosio-sedimentaatio -sykli, geomorfologia), agronomiaa (maan viljavuus), arkeologiaa (esineiden ja rakennusten hautautuminen) sekä maaperän ekologiaa ja myös käyttäytymistieteitä [3].

Darwin ei itse halunnut korostaa teoksensa merkitystä [2,4], mutta kirjaa voi lukea jopa eräänlaisena yhteenvetona hänen metodistaan. Samoin kuin esimerkiksi koralliriuttojen ja biologisten lajien syntymekanismeja selvittäessään, Darwinin lähtökohtana oli näkemys, jonka mukaan merkityksettömiltä vaikuttavat tekijät voivat aiheuttaa merkittäviä vaikutuksia summautuessaan pitkien ajanjaksojen kuluessa [5]. Teoksessaan Darwin esitti mittauksiin ja laskelmiin perustuvia arvioita esimerkiksi lierojen vaikutuksesta maahorisonttien muodostumiseen ja maan pinnanmuotojen kehittymiseen. Arviot olivat hätkähdyttäviä suuruusluokaltaan ja herättivät heti kirjan ilmestyttyä paljon huomiota [2,6]. Brittein saarilla Darwinin teos oli oman aikansa bestseller ja se käännettiin pian monille eurooppalaisille kielille. Venäjän keisarikunnan osana Suomikin sai jo vuonna 1882 peräti kaksi eri käännöstä teoksesta [6], tosin kumpikin niistä oli venäjänkielisiä.

1800-luvun lopun maaperätieteen vahvasti soveltavassa ohjelmassa painopiste oli maan kemiallisissa kasvuominaisuuksissa ja siinä kehyksessä Darwinin teoksen vaikutus ei ollut suuri [6,7]. Maataloudellisessa maaperätutkimuksessa Darwinin johtopäätelmiä myös kritisoitiin, joskin esim. vaikutusvaltainen saksalainen E. Wollny myöhemmin lievensi arvosteluaan omien koetulostensa perusteella [6]. Maaperätieteilijöiden rajoitettuun mielenkiintoon Darwinin tuloksia kohtaan vaikutti epäilemättä V.V. Dokuchaevin käsitys, jonka mukaan Darwinin havainnoilla oli vain vähäinen, maantieteellisesti rajoittunut merkitys [7,8]. Myöhemmin sama näkemys tavallaan toistui H. Jennyn ”perustavassa maaperäyhtälössä”, jossa Jenny tietoisesti jätti maaperäeläinten merkityksen huomiotta perustellen sitä aiheen riittämättömällä tuntemuksella [9]. On arveltu, että Darwinin havaintojen merkityksen tunnistamista maaperätieteissä olisi voinut edesauttaa jos Darwin olisi perusteellisemmin osoittanut niiden yhteydet oman aikansa ajankohtaiseen maaperätutkimukseen, varsinkin P.E. Müllerin metsämaannosten syntyä koskeviin yleistyksiin [6].

Kuitenkin jo 1900-luvun alkupuolella monet merkittävät maaperätutkijat ja maaperätieteen historioitsijat toivat esille Darwinin merkityksen maaperätieteiden kehityksessä [8]. Esimerkiksi E.J. Russell piti Darwinin kirjaa ”yhtenä kiinnostavimmista maaperästä koskaan kirjoitetuista kirjoista” [10]. Lienee oikein väittää, että tänään Darwinin teos on yksi maaperätieteen klassikoista, joskin teoksen lukeneiden maaperätutkijoiden joukko ei

välttämättä ole suuri. Tuoreimmissa maaperätieteen historian katsauksissa Darwin nähdään paitsi maaperäekologian edelläkävijänä myös maaprofiilien kuvaamisen pioneerina sekä kekseliäänä tutkimusmenetelmien kehittäjänä; Darwinin teoksesta on esimerkiksi peräisin ensimmäinen kirjaus sadesimuloinnista eroosiotutkimuksen apuna [11].

Darwinia pidetään myös parhaillaan ajankohtaisen *bioturbaatio*-tutkimuksen isänä [12]. Bioturbaatiolla viitataan siihen fysikaalis-kemialliseen työstämiseen, jota erityisesti kaivautuvat eliöt kohdistavat elinympäristöönsä. Käsite on hedelmällisellä tavalla luonut yhteyksiä sedimenttien (*subaqueous soils*) ja maaperän (*subaerial soils*) tutkimuksen välille [7]. Käsitykset lierojen merkityksestä maaperässä ovat täsmentyneet sitten Darwinin päivien, mutta ne tukevat näkemystä lierojen avainlajiroolista monissa maaekosysteemeissä. Tuoreet tulokaslajitutkimukset Pohjois-Amerikasta olisivat saattaneet yllättää Darwininkin osoittaessaan lierobioturbaation monitahoiset, kasviyhteisöjen lajikoostumukseen ulottuvat vaikutukset [13]. Kirjassaan Darwin kertoo myös havainnoistaan sään merkityksestä lierojen aktiiviisuuden vaihtelulle. Yksi boreaalisella vyöhykkeellä työskentelevien maaperätutkijoiden ajankohtaisia haasteita on arvioida, missä mitassa talvien leudontuminen tulee kiihdyttämään bioturbaatiota ja mitkä ovat sen seurannaisvaikutukset maa- ja vesiekosysteemeissä sekä ilmakehälle.

Kirjallisuus

(Charles Darwinin koko tuotanto on luettavissa osoitteessa: http://darwin-online.org.uk/)

[1] Darwin, C. 1881. *The Formation of Vegetable Mould through the Action of Worms, with Observations on Their Habits*. John Murray, London. 326 s.
[2] Desmond, A. & Moore J. 1991. *Darwin. The Life of a Tormented Evolutionist*. Norton, New York – London. 808 pp.
[3] Feller, C. ym. 2003. Charles Darwin, earthworms and the natural sciences: various lessons from past to future. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 99: 29-49.
[4] Darwin, C. 1987. *Elämäni.* [suom. Anto Leikola]. Pohjoinen, Jyväskylä. 144 s.
[5] Gould, S.J. 1985. Foreword. Sivut v-xxi teoksessa: Darwin, C. *The Formation of Vegetable Mould through the Action of Worms, with Observations on Their Habits*. University of Chicago Press facsimile edition. Chicago & London.
[6] Graff, O. 1983. Darwin on earthworms – the contemporary background and what the critics thought. Sivut 5-18 teoksessa: Satchell, J.E. (toim.). *Earthworm Ecology. From Darwin to Vermiculture*. Chapman and Hall, London – New York.
[7] Johnson, D.L. ym. 2005. Reflections on the nature of soil and its biomantle. *Annals of Association of American Geographers* 95: 11-31.
[8] Ghilarov, M.S. 1983. Darwin's *Formation of Vegetable Mould* – its philosophical basis. Sivut 1-4 teoksessa: Satchell, J.E. (toim.). *Earthworm Ecology. From Darwin to Vermiculture.* Chapman and Hall, London – New York.
[9] Jenny, H. 1941. *Factors of Soil Formation. A System of Quantitative Pedology*. McGraw-Hill, New York and London. 281 s.
[10] Russell, E.J. 1927. Soil Conditions and Plant Growth. Longmans, London.
[11] Warkentin, B.P. (toim.) 2006. *Footprints in the Soil. People and Ideas in Soil History*. Elsevier, Amsterdam. 548 pp.
[12] Meysman, F.J.R ym. 2006. Bioturbation: a fresh look at Darwin's last idea. *Trends in Ecology and Evolution* 21: 688-695.
[13] Frelich, L.E. ym. 2006. Earthworm invasion into previously earthworm-free temperate and boreal forests. *Biological Invasions* 8: 1235-1245.

Suomen turve-energiatase

The balance of Finnish peat energy resources

Pekka Hänninen[1] ja Kimmo Virtanen[2]

[1] Geologian tutkimuskeskus, pekka.hanninen@gtk.fi
[2] Geologian tutkimuskeskus, kimmo.virtanen@gtk.fi

Fossiilisten polttoaineiden jatkuva hinnannousu, ilmastopoliittisten tavoitteiden korostuminen ja tarve taata huoltovarmuus kotimaisen energian käytöllä, ovat luoneet tarvetta suunnitella energiavarojen kotimaista käyttöä ja tehdä ennusteita kotimaisen energia saatavuudesta tulevina vuosikymmeninä. Suomessa on 8,9 milj.ha suota tai soistumaa. Tästä suoalasta pinta-alaltaan yli 20 ha:n suuruisten yli 0.3 m syvien geologisten soiden osuus on noin 5,1 milj.ha GTK:ssa selvitettiin Suomen suo- ja turverekisterin tietojen käytettävyyttä turvetuotannon ja turpeen kasvun valtakunnallisen ja alueellisen tasapainotilan määrittämiseksi.

Tässä selvityksessä tutkimusalueeksi valittiin Luoteis-Pirkanmaa – Pohjois-Satakunta kunnat : Merikarvia, Siikainen, Honkajoki, Kankaanpää, Lavia, Kiikoinen, Karvia, Parkano, Jämijärvi, Kihniö, Ikaalinen, Hämeenkyrö ja Viljakkala. Alueen suopinta-ala on lähes 90 000 ha ja tutkimustilanne noin 60%. Turvetuotannon katsottiin olevan tasapainossa, kun tuotannon ulkopuolella olevan suoalan biomassan tuotto (turpeen kasvun tilavuus) on yhtä suurta kuin tuotannossa suosta nostettava turvetilavuus. Jos turpeen kuiva-ainespitoisuus tunnetaan, tilavuustarkastelu on helppo muuttaa massatarkasteluksi.

Tiedonkäsittelyn vaiheet :

1. Suo- ja turverekistereistä etsittiin kaikki tutkimusalueen suot sekä turverekisterin tutkimuspisteet. Rekisterien suon painopisteen koordinaatteja ja sekä tuvretutkimuspisteitä verrattiin suojelualuerajauksiin. Jos jokin em. tiedoista kuului suojelualueelle, suo katsottiin suojelluksi. Vähentämällä kunnan suoalasta suojeltu suoala, saatiin tuotantoon mahdollisesti käyttökelpoinen suoala (potentiaalinen tuotantoala).

2. Kunnan tutkittujen soiden perusteella laskettiin tuotantoalakerroin siten, että kunnan teknisesti käyttökelpoisten suopinta-alojen summa jaettiin kunnan tutkitulla suoalalla. Alueen tuotantoalakertoimet vaihtelivat 0,22 -0,62.

3. Kunnan suurin mahdollinen rauhanajan turvetuotantoon soveltuva pinta-ala saatiin kertomalla tuotantoalakertoimella kunnan potentiaalinen tuotantoala. Vähentämällä tämä suoalasta saatiin tuotannon ulkopuolelle jäävä vapaa suoala, jolla turvekasvu tapahtuu. Koko alueen suurin mahdollinen tuotantoala oli noin 1/3 alueen suoalasta.

4. Turvetuotannon vuosisaannoksi oletettiin 450 m^3 turvetta/ tuotanto_ha (poiskuljetettuna), jonka energiasisältötarkastelun perusteella vastaa 10 cm=1000 m^3/tuotanto_ha kulumaa. Suon alle 300 vuotta vanhan turpeen keskimääräinen paksuuskasvu vaihtelee 0,7 - 2,4 mm/a [1], minkä perusteella kasvunopeudeksi valittiin 1,6 mm/a. Kun tuotantosuon kuluma on noin 60-kertainen turpeen kasvuun nähden, yhtä tuotannossa olevaa suohehtaaria kohden on oltava 60 ha turvetta kasvavaa suopinta-alaa. Tasapainotuotantoalalla turpeen tuotantoaika on 20*(max tuotantoala / tasapainotuotantoalalla) vuotta ilman, että suoala muuttuu. Alueen tasapainotuotantoalaksi saatiin 1600 ha.

Vaikka tässä tutkimuksessa on laskettu turpeen tilavuuden tasapaino, ei tuloksen jatkojalostus hiilitaseeksi ole laskennallisesti suuri muutos. GTK:n turverekisterin perusteella voidaan arvioida esim. maakunnittain, mikä on energiaturpeen ja pintaturpeen kuiva-ainepitoisuus. Kasvava uusi turve on heikosti maatunutta pintaturvetta vastaavaa ja energiaksi tuotettu turve pääasiassa rekisterin pohjaturvetta. Turverekisterissä ei juurikaan ole turpeen kuiva-ainetietoja 0 – 20 cm syvyydeltä, mutta alle 40 cm syvyydeltä niitä on lähes 4000 kpl.

Suomen turvevarat 2000 raportin [2] perusteella koko maassa on keskiarvoisesti pintaturpeen kuiva-ainemäärä (68kg/m^3) on 74% pohjaturpeen kuiva-ainemäärästä. Alakankaan [3] ilmoittama turvetuotantoalueelta poistuvan turpeen kuivatilavuuspaino 175 kg/m^3 sopii hyvin kahdesta suokuutiosta muodostuvaksi tuotantokuutioksi. Sen sijaan Tolosen ja Turusen [4] esittämä heikosti maatuneen pintaturpeen kuiva-ainemäärä on vain alle puolet GTK:n turverekisterin perusteella lasketusta heikosti maatuneen pintaturpeen määrästä, johtuen siitä, että tämä aineisto on suon pinta-aineistoa.

Laskenta on herkkä turvetta kasvavalle suoalalle, turpeen kasvunopeudelle ja nuoren turpeen (alle 300v) kuiva-ainepitoisuudelle. Suomen metsätieteellinen suoala on 75% suurempi kuin määritelmän mukainen Suomen geologinen suoala. Turpeen kasvunopeus vaihtelee mm. suotyypin, ilmasto-olosuhteiden ja turvealueen suunnitellun käytön perusteella. Alle sadan vuoden ikäisten turpeiden kuiva-ainepitoisuudesta on turverekisterissä riittämättömästi tietoa.

Jos laskentaperusteeksi otetaan koko metsätieteellinen 8,9 milj. ha:n suoala, vuotuiseksi kasvuksi 1,6 mm ja heikosti maatuneen pintaturpeen keskimääräiseksi kuiva-ainepitoisuudeksi, Suomen turvemassa ei muutu 110 000 ha:n tuotannolla. Nuoren turpeen kuiva-ainemäärällä 33 kg/m^3 turvetuotannon massan tasapainotila olisi 55 000 ha, mikä vastaa likimain Suomen tämän hetken turvetuotantoalaa, joka noin vain 0,6 % Suomen metsätieteellisestä suoalasta. Paikallisesti, esimerkiksi ko. tutkimusalueella, turpeen käyttö voi olla selvästi suurempaa kuin uuden turpeen kasvu. Tämän pilottihankkeen tutkimusalueen käyttökelpoiset turvevarat loppunevat nykyisellä käytöllä noin 60 vuoden kuluttua.

Turvetuotannon loputtua alue voidaan uudelleen soistaa, se voidaan metsittää tai ottaa energiakasviviljelyyn. Yksinään GTK:n aineisto ei riitä luotettaviin ja kestävän kehityksen mukaisiin bioenergialaskelmiin. Aineistoa olisi hyödynnettävä yhdessä mm. Metlan ja MTT:n tietojen kanssa valtakunnallisen bioenergiavarojen kartoittamiseen ja niiden käytön pitkäjänteiseen suunnitteluun.

Lähteet

[1] Markku Mäkilä suullisia tietoja
[2] Virtanen K., Hänninen P., Kallinen R-L., Herranen T. & Jokisaari R. 2003. Suomen turvevarat 2000. Geologian tutkimuskeskus, Espoo.

[3] Alakangas 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Tiedotteita 2045, VTT Energia, VTT, Espoo.

[4] Tolonen & Turunen 1996 Accumulation rates of carbon in mires in Finland and implications for climate change. The Holocene 6,2 pp. 171-178.

Heterotrofinen nitrifikaatio – todellisuutta vai mallien harhaa?

Heterotrophic nitrification – real process or modeling illusion?

Rauni Strömmer

Helsingin yliopisto, Ympäristöekologian laitos, Niemenkatu 73
15100 Lahti

Johdanto

Terrestrisiä ekosysteemejä pidetään typpirajoitteisina, vaikkakin viime vuosikymmenien typpikuormitus ihmisen toimesta on vähintään kaksinkertaistunut aikaisempaan verrattuna [4, 11]. Typpikuormitus on lisännyt maaperän hiilensitomiskapasiteettia mutta toisaalta aiheuttanut happamoitumista ja emäskationien huuhtoutumista maaperästä pinta- ja pohjavesiin sekä kasvihuonekaasupäästöjen kasvua [11]. Ilmaston lämmetessä typenkierron prosessien muuttuminen ja siihen liittyen typen päästöt ilmakehään ja vesistöihin ovat kasvava huolenaihe. Erityistä huomiota on tässä mielessä kiinnitettävä nitrifikaatioon maaperässä.

Perinteisesti nitrifikaatiota pidetään suhteellisen harvojen bakteerien toiminnan tuloksena. Näitä bakteereita pidetään vieläpä hyvin tarkkoina ympäristövaatimuksiltaan ja huonoina kilpailijoina maaperän eliöyhteisössä [9]. Senvuoksi esim. happamilla metsämailla nitrifikaatiota ei pidetä merkittävänä kasvien typensaannin kannalta eikä luonnontilaisilta metsämailta nitraattia juurikaan huuhtoudu vesistöihin. Viimeaikaiset tutkimukset ovat muuttanet vanhoja käsityksiä. Nitrifioivien bakteereiden on havaittu sopeutuvan happamaan ympäristöön [5]. Autotrofisten nitrifikaatiobakteereiden ohella monet heterotrofiset sienet ja bakteerit hapettavat ammoniumia ja orgaanisia typpiyhdisteitä nitriitiksi ja nitraatiksi. Sienten on äskettäin osoitettu olevan pääasiallisia nitrifioijia ruohostomaalla [6] ja orgaaninen reitti saattaa olla monilla maatyypeillä autotrofista reittiä hallitsevampi [2, 3].

Nitrifikaation mittaamisen haasteet

Typenkierrossa monet vastakkaiset prosessit toimivat samanaikaisesti ja erilaisten prosessien määrä tekee kokonaisuudesta monimutkaisen. Maanäytteen inkubointi luonnonoloissa tai laboratoriossa antaa tulokseksi nettonitrifikaationopeuden. Kasvien nitraatin immobilisaatio voidaan eliminoida analyysistä, mutta ei mikrobien. Spesifisten inhibiittorien avulla voidaan eritellä bakteerien ja sienten nitraatinmuodostus, mutta edelleen tulokseksi saadaan prosessin nettonopeus. Jos nitraatin muodostumisen todellisia prosessinopeuksia (bruttonitrifikaatio) halutaan tutkia, ainoa vaihtoehto on käyttää ^{15}N-leimatuja typpiyhdisteitä. Täten voidaan ammonium- ja nitraattityppikonsentraatioiden sekä leimatun typen määrän muutoksista ajan suhteen laskea arvioita todellisista prosessinopeuksista käyttämällä apuna erilaisia matemaattisia malleja. Ensimmäinen julkaistu malli [1] kykenee täten erottelemaan nitrifikaation kaksi reittiä, autotrofisen ja heterotrofisen. Kehittyneemmillä malleilla voidaan kuvata useampia typenkierron prosesseja samanaikaisesti [7, 8, 10]. Kysymykseksi jää, kuinka hyvin tällaiset laskelmat vastaavat todellisuutta.

Tuloksia tuhka- ja typpilannoituksen vaikutuksesta nitrifikaatioon

Mittasin typen mineralisaatiota laboratoriossa inkuboimalla kuusi vuotta aiemmin kentällä lannoitetusta (tuhka- ja typpilannoitus) kokeesta haettua metsähumusta. Homogenisoidut humusnäytteet lannoitettiin ammoniumnitraatilla (ammoniumtypen määrä suunnilleen kaksinkertaistui), jossa joko ammonium tai nitraatti oli leimattu (^{15}N). Humuksia inkuboitiin huoneenlämmössä ja niiden ammonium- ja nitraattityppipitoisuudet sekä ^{15}N-leiman määrä

mitattiin 0-hetkellä sekä 3, 7, 14 ja 21 vuorokauden kuluttua. Tuloksista laskettiin mallin [7] avulla kymmenen erillistä prosessinopeutta, joista kuutta voidaan pitää luotettavina: ammonifikaatio, ammoniumin immobilisaatio, autotrofinen ja heterotrofinen nitrifikaatio, nitraatin immobilisaatio ja denitrifikaatio.

Sekä tuhka- että typpilannoitus (erikseen tai yhdessä) stimuloivat orgaanisen aineen mineralisaatiota ammoniumtypeksi mutta ainoastaan tuhkalannoitus lisäsi ammoniumin immobilisaatiota mikrobibiomassaan. Tuhkalannoitus yksinään myös stimuloi heterotrofista nitrifikaatiota, eli kaiken kaikkiaan tuhkalannoitus näytti stimuloivan hetrotrofisia typenkierron prosesseja ja mahdollisesti kasvatti mikrobien, ehkä nimenomaan sienten biomassaa. Tuhka- ja typpilannoitus yhdessä stimuloivat autotrofista nitrifikaatiota ja denitrifikaatiota, ja voidaan olettaa, että autotrofiset nitrifikaatiobakteerit tässä tapauksessa hyötyivät kahdesta seikasta, kohonneesta pH:sta ja ylimääräisestä ammoniumtypestä.

Kirjallisuus

[1] Barraclough, D., Puri, G. 1995. The use of ^{15}N pool dilution and enrichment to separate the heterotrophic and autotrophic pathways of nitrification. *Soil Biology & Biochemistry* 27: 17-22.

[2] Bradley, R.L., Parsons, W.F.J. 2007. Net and gross mineral N production rates at three levels of forest canopy retention: evidene that NH4+ and NO3- dynamics are uncoupled. *Biology and Fertility of Soils* 43: 599-602.

[3] Cookson, W.R., Müller, C., O'Brien, P.A., Murphy, D.V., Grierson, P.F. 2006. Nitrogen dynamics in an Australian semiarid grassland soil. *Ecology* 87: 2047-2057.

[4] Galloway, J.N., Aber J.D., Erisman J.W., Seitzinger S.P., Howarth R.W., Cowling E.B., Cosby, B.J. 2003. The nitrogen cascade. *BioScience* 53: 341-356.

[5] Gieseke, A., Tarre, S., Green, M., deBeer, D. 2006. Nitrification in a biofilm at low pH values: Role of in situ microenvironments and acid tolerance. *Applied and Environmental Microbiology* 72: 4283-4292.

[6] Laughlin, R.J., Stevens, R.J., Müller, C., Watson, C.J. 2008. Evidence that fungi can oxidize NH_4^+ to NO_3^- in a grassland soil. *European Journal of Soil Science* 59: 285-291.

[7] Müller, C., Stevens, R.J., Laughlin, R.J. 2004. A ^{15}N tracing model to analyse N transformations in old grassland soil. *Soil Biology & Biochemistry* 36: 619-632.

[8] Müller, C., Rütting, A., Kattge, J., Laughlin, R.J., Stevens, R.J. 2007. Estimation of parameters in complex ^{15}N tracing models by Monte Carlo sampling. *Soil Biology & Biochemistry* 39: 715-756.

[9] Myrold, D.D. 2005. Tramsformations of nitrogen. Pp. 333-372 Kirjassa: Sylvia, D.M., Fuhrman, J.J., Hartel, P.G., Zuberer, D.A. (toim.). *Principles and applications of soil microbiology*. 2nd ed. Pearson Prentice Hall, New Jersey.

[10] Rütting, T., Müller, C. 2007. ^{15}N tracing models with a Monte Carlo optimization procedure provide new insights on gross N transformations in soils. *Soil Biology & Biochemistry* 39: 2351-2361.

[11] Vitousek, P.M., Aber, J.D., Howarth, R.W., Likens, G.E., Matson, P.A., Schindler, D.W., Schlesinger, W.H., Tilman, D.G. 1997. Human alteration of the global nitrogen cycle: Sources and consequences. *Ecological Applications* 7: 737-750.

Ectomycorrhizal root tips in relation to site and stand characteristics in Norway spruce and Scots pine stands

Ektomykoritsalliset lyhytjuuret ja kasvupaikan sekä puuston ominaisuudet kuusikoissa ja männiköissä

Heljä-Sisko Helmisaari[1], Ivika Ostonen[2], Krista Lõhmus[2], John Derome[3], Antti-Jussi Lindroos[1], Päivi Merilä[4] ja Pekka Nöjd[1]

[1] Finnish Forest Research Institute, Vantaa Unit, P.O.Box 18, FI-01301 Vantaa,
[2] Tartu University, Institute of Ecology and Earth Sciences, Vanemuise 46, EE-51014 Tartu,
[3] Finnish Forest Research Institute, Rovaniemi Unit, P.O.Box 16, FI-96301 Rovaniemi
[4] Finnish Forest Research Institute, Parkano Unit, Kaironiementie 54, FI-39700 Parkano

Introduction and methods

Quantification of the role of fine roots and their mycorrhizas as carbon stores and sources of the soil litter input requires estimating root biomasses, turnover rates, and C concentrations. Such knowledge is needed for increasing the accuracy of estimations of the role of soils in the global carbon budget, for a better understanding of plant productivity under changing water and nitrogen regimes, and for sustainable ecosystem management.

Recently, empirical data has been successfully used for developing models for quantifying fine root biomasses [1], whereas there have been few attempts to relate ectomycorrhiza (EcM) quantities (e.g. number or biomasses of EcM root tips) to species or site fertility. In addition, only a few attempts have been made to relate EcM root tips to needles or leaves, even though these two components are the most important functional units in boreal tree physiology: foliage for C transfer from the atmosphere to tree growth and other metabolic functions through photosynthesis, and ectomycorrhizas and their external mycelia for nutrient uptake and transfer from the soil to tree growth and metabolism.

We quantified the EcM root tip frequencies and biomasses in 8 Norway spruce and 8 Scots pine stands throughout Finland, and determined the relationships with latitude, organic layer C/N ratio, temperature sum, and foliage biomass [2]. The stands belong to the intensive monitoring network of the EU/Forest Focus and UN-ECE/ICP Forests Level II monitoring programmes. The latitude gradient is also a site fertility and climatic gradient, with temperature, precipitation and growing season length all decreasing toward the north [3].

Results and discussion

The largest part, 88 ± 7 % of the spruce and 80 ± 7 % of the pine EcM tips were in the organic layer and the upper 0-10 cm mineral soil layer. Norway spruce had more EcM root tips in the organic layer (63 ± 16%) than in the upper 0–10 cm mineral soil (25 ± 10%), whereas Scots pine had more EcM tips in the upper mineral soil (44 ± 10%) than in the organic layer (36 ± 11%). [2]

The unit biomass, frequency and specific root length of EcM tips did not significantly vary between tree species or northern and southern sites. The mean proportion of Norway spruce and Scots pine EcM root tip biomass of the total fine root (diameter < 1 mm) biomass in the organic layer plus 0–30 cm mineral soil was 50 ± 7%, with no differences between species or between the northern and southern stands. However, as the mean fine root biomass was higher ($P < 0.05$) in the northern stands (190 ± 57 g m^{-2}, $n = 6$) than in the southern ones (105 ± 14 g m^{-2}, $n = 10$), also the EcM root tip number per m^2 in the organic layer + 0-30 cm mineral soil was higher in the northern stands than in the southern ones, and varied between 0.7 and 2.9 million m^{-2} for both tree species. [2]

Because the number of trees varied per stand, we also compared the parameters between stands based on foliage mass and the number of EcM root tips per average tree in each stand. An individual tree in northern Finland (to the north of 64º N) had twice the amount of EcM root tips in relation to unit mass foliage than a tree in southern Finland. Furthermore, an individual pine tree had more than three times more EcM root tips in relation to unit mass foliage than a spruce in the same climatic region. Moreover, the EcM root tip:foliage biomass ratio of spruce was positively related to the C/N ratio in the organic layer, and that of pine negatively related to the temperature sum. [2]

Our results indicate that, in a colder climate with a shorter growing season, trees may have to maintain more short roots active in nutrient uptake per unit biomass of foliage. As the frequency of EcM root tips is relatively constant, only through producing more fine roots can the trees increase the total number of EcM tips and, further, the area of soil occupied by the mycelia. Minirhizotron studies at the Kivalo site showed that EcM short root tips are formed on young, unsuberized, elongating fine roots (Helmisaari et al., unpublished data). We did not investigate EcM mycelia in this study but, similar to our results on EcM tips, several studies [4, 5] suggest that EcM mycelia biomass and production are strongly coupled to tree fine root biomass, and that the seasonal maximal growth of EcM mycelia coincides with that of fine roots [4].

Consistent with the model presented by Mäkelä et al. [6], low N availability caused by site infertility and/or a short growing season seems to enhance allocation to belowground biomass as an optimization measure. Because mineral N availability is especially low in the north, the uptake of organic N may impose less demands for C use in N assimilation [7] but requires a larger root and mycelial network, and subsequently C allocation to the production and maintenance of the network. We conclude that both tree species respond to N deficiency due to low fertility and/or a short growing season by maintaining more EcM tips per foliage unit, and this may be related to a higher proportion of N uptake in an organic form. [2]

References

[1] Helmisaari, H-S., Derome, J., Nöjd, P. and Kukkola, M. 2007. Fine root biomass in relation to site and stand characteristics in Norway spruce and Scots pine stands. *Tree Physiology* 27: 1493-1504.
[2] Helmisaari, H-S, Ostonen, I., Lõhmus, K., Derome, J., Lindroos, A-J., Merilä, P. and Nöjd, P. 2009. Norway spruce and Scots pine ectomycorrhizas in relation to site and stand characteristics in boreal forests. *Tree Physiology* (in print).
[3] Lindroos, A-J., Derome, J., Mustajärvi, K., Nöjd, P., Beuker, E. and Helmisaari, H-S. 2008. Fluxes of dissolved organic carbon in stand throughfall and percolation water in 12 boreal coniferous stands on mineral soils in Finland. *Boreal Environmental Research* 13 (suppl. B): 22–34.
[4] Wallander, H., Nilsson, L.O., Hagerberg, D. and Bååth, E. 2001. Estimation of the biomass and seasonal growth of external mycelium of ectomycorrhizal fungi in the field. *New Phytologist* 151: 753–760.
[5] Nilsson, L.O., Giesler, R., Bååth, E. and Wallander, H. 2005. Growth and biomass of mycorrhizal mycelia in coniferous forests along short natural nutrient gradients. *New Phytologist* 165: 613–622.
[6] Mäkelä, A., Valentine, H.T. and Helmisaari, H-S. 2008. Optimal co-allocation of carbon and nitrogen in a closed forest stand at steady state. *New Phytologist* 180: 114–123.
[7] Wallander, H. 1995. A new hypothesis to explain allocation of dry matter between mycorrhizal fungi and pine seedlings in relation to nutrient supply. *Plant and Soil* 168/169: 243–248.

Evaluating the role of shiro formation of *Tricholoma matsutake* in situ - I. Identification of Matsutake shiro and its fungal community

Tricholoma matsutake sienen shiron muodostuksen merkitys luonnossa
- I. Matsutake-shiron sekä siinä elävän sieniyhteisön tunnistaminen -

Lu-Min Vaario[1], Jussi Heinonsalo[2], Eira-Maija Savonen[3], Tytti Sarjala[3] ja Taina Pannenen[1]

[1]Finnish Forest Research Institute, Vantaa Research Unit, PL 18, FI-01301 Vantaa;
[2]Department of Applied Chemistry and Microbiology, Division of Microbiology, Faculty of Agriculture and Forestry, Helsinki University, Helsinki;
[3]Forest Research Institute, Parkano Research Unit, Kaironiementie 54, 39700 Parkano

The target species, *Tricholoma matsutake* (S. Ito et Imai), is an ectomycorrhizal fungus, which produces commercially valuable mushrooms. More than 2000 tons of *T. matsutake* or closely related species are exported to Japan annually having a total annual monetary value of more than 120 million euro due to *T. matsutake* resources are endangered in Japan. This mushroom has been selected as the mushroom of 2007 in Finland. Despite many attempts since the beginning of last century with *Pinus densiflora*, the information about shiro in field is still rare ('shiro' refers to the dense mat of fungal filaments that Matsutake forms in soil in association with pine roots and soil particles). The main aim of the project is to provide information on dynamics of shiro formation and development in natural forest by analyzing soil microbial community structure of mycorrhizal root tips, soil aggression and substrates colonized by Matsutake hyphae in shiro area.

Materials and Methods

This study was conducted at two research sites in western Finland (Kourajärvi and Alkkia), one site in southern Finland (Nuuksio). Soil samples were collected from 12 spots in west sites, 10 spots in south site during April to November, 2008. In west sites, sampling was carried out at 50 days intervals from Matsutake DNA positive spots. The south site was visited once to twice weekly during fruiting period to ensure comprehensive mapping of shiro area.

Crude genomic DNA was extracted from soil, root tip, Matsutake hyphae and various substrates (such as, stone and bark) colonized by hyphae. The internal transcribed spacer (ITS) region of the rDNA was amplified using primers ITS1F and ITS2. A GC-clamped ITS1F primer together with ITS2 was used to optimize separation of the amplification products in denaturing gradient gel electrophoresis (DGGE) analysis. A DGGE marker was constructed based on the fingerprints obtained in this study. The ITS PCR products of different DGGE types were directly sequenced.

Results

Identification of T. matsutake from site samples

Five *T. matsutake* DNA positive spots have been identified by Matsutake ITS specific primers and 17 locations of sporocarp have been recorded this year.

Morphological observation of T. matsutake mycorrhizae

The root tips of *T. matsutake* mycorrhizas were observed under a stereoscopic microscope from each sample. The roots colonized by *T. matsutake* were alive and white in color in the spring season. However, the mycorrhizas from the samples of summer and autumn were getting brown and dead even they were still fully colonized by *T. matsutake* hyphae.

Fungal communities in T. matsutake shiros

The results did show that ECM diversity in many shiros was low and *T. matsutake* is the dominant species (Fig.1). *Russula* was one of most frequent ECM species existing in shiro area, a finding that supports the earlier Matsutake field study in Japan (Lian et al. 2006). Lian et al. reported four species of ECM fungi were identified beneath the Matsuatke fairy rings, which including *Russula* sp. with very low relative abundances (<0.5%). There was significant difference in fungal diversity between shiro sites and Matsutake negative sites.

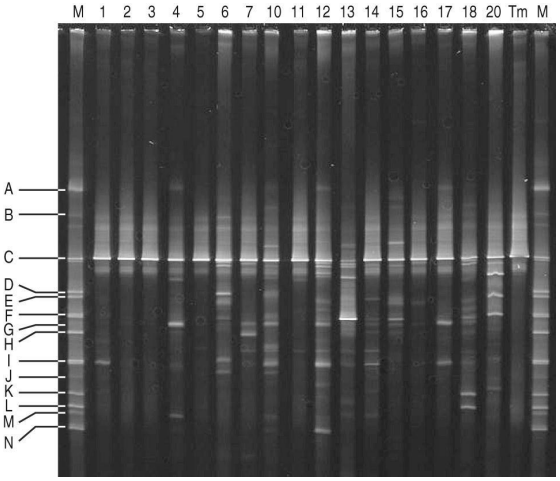


Fig. 1 DGGE fingerings of ITS1 rDNA fragments from 17 shiros in Nuuksio.
M, maker; Tm, pure culture of *T. matsutake;* Lane 1-20, shiros; A, *Mortierella sp*; B, *Piloderma sp*; **C, *T. matsutake***; D, *Russula decolorans*; E, *Hydnellum cf*; F, unknown; G, unknown; H, *Russula vinosa*; I, *Trichoderma sp*; J, *Phellodon niger*; K, *Russula sp*; L, *Russula sp*; M, *Trichocomaceae*; N, *Talaromyces ocotl*

This morphological phenomenon raises a question to us: whether *T. matsutake* may have multiple trophic statuses and gravitates towards one or another depending on the time of year. Investigation of microbial diversity of organic layer and mineral layer soil from shiro during different seasons could help to understand whether *T. matsutake* has functional diversity during shiro formation, whether the neighbors of Matsutake could related with formation of development of shiro.

Acknowledgments

This study is supported by Suomen Luonnonvarain Tutkimussäätiö.

Reference

Kikuchi K. *et al.* (2000) Detection of Tricholoma matsutake by specific ITS primers. Mycol. Res. 104: 1427-1430.

Lian C. *et al.* (2006) *Tricholoma matsutake* in a natural *Pinus densiflora* forest: correspondence between above- and below-ground genets, association with multiple host trees and alteration of existing ectomycorrhizal communities. New Phytol. 171: 825-836.

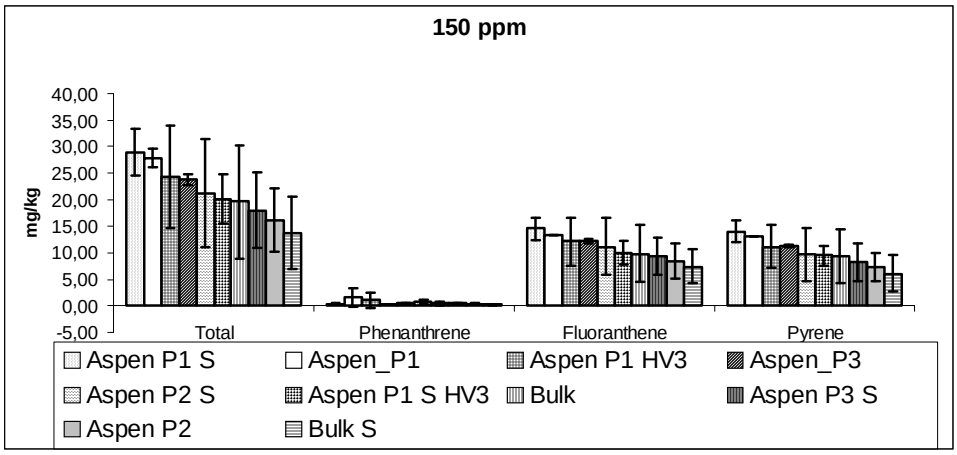
Haapa saastuneiden maiden kunnostamisessa: haavan endofyyttiset bakteerit ja ritsosfäärin bakteeriyhteisö saastuneessa maassa

Aspen for remediation of polluted soils: endophytic bacteria and rhizospheric bacterial community structure in response to pollution

Kim Yrjälä[1], Timo Sipilä[1], Carola Fortelius[2], Marja-Leena Åkerman[2], Joonas Hautala[2] Lu-Min Vaario[3] ja Pertti Pulkkinen[3]
[1]Bio- ja ympäristötieteiden laitos, PL 56 (Biokeskus 1C), 00014 Helsingin Yliopisto,
[2]METROPOLIA Ammattikorkeakoulu, Leiritie 1, 01 600 Vantaa, Finland
[3]Haapastensyrjän jalostusasema, Vantaan tutkimusyksikkö , Metsäntutkimuslaitos, 12600 Läyliäinen, Finland

Johdanto

Maankäytön tehostaminen on lisännyt paineita kunnostaa pilaantuneita maita, sekä viime aikoina myös tuottaa biomassa energiatarkoituksiin kestävän kehityksen mukaisesti. Fytoteknologiat edustavat kestävän kehityksen mukaista tapaa kunnostaa pilaantuneita maita [1]. Kasvin ritsosfääri tunnetaan sen lukuisista vaikutuksista maan mikrobeihin ja sillä on keskeinen rooli fytoteknologiassa [2]. Öljyllä saastuneissa kohteissa juuret stabiloivat sekä muokkaavat maaperää, ja keräävät bakteereita, joilla on kykyä hajottaa ympäristömyrkkyjä. Tämän lisäksi kasvin endofyyttiset bakteerit ovat hiljattain osoittautuneet tärkeiksi hajotuksessa, koska ne hajottavat haitallisisa aromaattisia yhdisteitä [3]. Vaikka bakteereiden toimintaa biohajotuksessa on paljon tutkittu, endofyyttisten bakteerien vaikutus öljyisillä jätteillä saastuneessa maassa on huonosti tunnettu. Haavan ja koivun sopivuutta maaperän kunnostamiseen on tutkittu MYM-tutkimusryhmässä Viikin Biokeskuksessa [4, 5, 6].



Kuva 1. Kokonais- sekä yksittäisten PAH-yhdisteiden 150 ppm PAH seoksen hajotus mikrokosmokses sa. P1, P2, and P3 ovat kokeessa käytetyt haapakloonit.

Haapa (*Populus*) fytoteknologiassa.

Euroopan haapa, *Populus tremula*, on yksi maailman eniten levinneitä puulajeja, kasvaen koko Euroopassa Koillis-Aasiaan ja Pohjois-Afrikkaan asti. Se on pioneerilaji, joka kestää mitä erialaisimpia ilmaston ja maaperän olosuhteita [7]. *Populus* suvun puulajit ovat saaneet huomiota energiapuina lyhytkiertoviljelyssä [8] ja niiden suuresta kyvystä sitoa hiiltä [9].

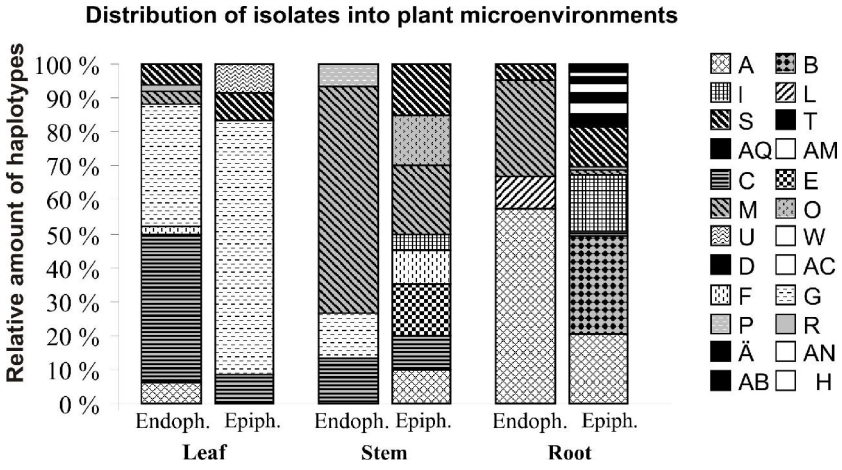
Haavan endofyyttiset bakteerit puhtaassa ja saastuneessa maassa.

Endofyyttiset bakteerit voivat vaikuttaa kasvin hyvinvointiin toimimalla kasvun edistäjinä syntetisoimalla fytohormooneja ja entsyymejä [10]. Ne voivat suojata kasvia sienien tuohoilta antagonistisillä vaikutuksillaan [11].

Materiaali ja menetelmät

Taimet kasvatettiin juuripistokkaista Haapastensyrjän jalostusasemalla. Kasvihuonekoe tehtiin EVTEK:ssä (nykyinen METROPOLIA amk) , missä haavat kasvatettiin polyaromaattisilla hiilivedyillä saastuneessa maassa 3 kk. Maaperän PAH pitoisuuksia (fenantreeni, fluoranteeni, pyreeni) märitettiin massaselektiivisellä (Hewlett Packard HP 5973 Mass Selective Detector) kaasukromatografialla (Hewlett Packard HP 6890 Series GC

System). PAH yhdisteet uutettiin maasta tolueenilla ja natriumpyrofosfaatilla. Ritsosfäärin ja maaperän rakenteellinen bakteeridiversiteetti analysoitiin PCR-monistamalla 16S rRNA markkerigeeni ja sekvensointianalyysillä. Toiminallinen diversiteetti analysoitiin PCR-monistamalla aromaattisen renkaanhajotusgeeniä ja tekemällä sormenjälkianalyysi RFLP menetelmällä.



Kuva 2. Endo- ja epifyyttiset bakteerit haavan eri mikro-ympäristöissä: lehdissä, varsissa sekä juurissa.

Tulokset ja johtopäätökset

- Haapakloonien kasvussa sekä hajotuspotentiaalissa havaittiin vaihtelua. Paras PAH-hajotus kloonilla P1.
- PAH hajotuksen vaihtelu oli suurempaa kasvittomassa maassa kuin istutetussa massa. Fenantreeni hajosi parhaiten kun taas fluoranteeni ja pyreeni hajosivat heikommin.
- PAH yhdisteiden lisäys muutti maaperän ja ritsosfäärin bakteeriyhteisöjä. Muutoksia havaittiin myöskin endofyyttisissä bakteereissa.
- Juuresta, varresta ja lehdestä eristettiin niille tyypillisiä bakteereita, mutta osa bakteereista kolonisoi useampia kasvinosia.
- *Burkholderia* suvun bakteerit olivat merkittäviä saastuneessa maassa ja siinä kasvaneessa haavassa.
- Osa eristetyistä haavan endofyyttisistä bakteereista olivat bioteknisesti kiinnostavia, ja niiden tarkempaa karakaterisointia jatketaan.
- Haapa näyttää lupaavalta PAH-bioremediaatiossa.

Kirjallisuus

[1] Golan-Goldhirsh A., Barazani O., Nepovim A., Soudek P., Smrcek S., Dufkova L., Krenkova S., Yrjala K., Schroeder P. & Vanek T. 2004. *Journal of Soils and Sediments* 4: 133-140.
[2] Kuiper I., Lagendijk E.L., Bloemberg G.V. & Lugtenberg B.J. 2004. *Molecular Plant Microbe Interactions* 17: 6-15.
[3] Barac T., Taghavi S., Borremans B., Provoost A., Oeyen L., Colpaert J.V., Vangronsveld J. & van der Lelie D. 2004. *Nature Biotechnol*ogy 22: 583-588.
[4]Yrjälä, K. 2002. *Inter-COST action 831WG1 and 837WG1+4. Grainau, Garmisch-Partenkirchen, Germany*.
[5] Sipilä, T., Keskinen, A-K, Åkerman, M-L, Fortelius, C. & Yrjälä, K. 2006. *COST Action 869 Saint-Etienne, France, workshop*.
[6] Sipilä T.P., Keskinen A., Akerman M., Fortelius C., Haahtela K. & Yrjälä K. 2008. *The ISME Journal* 2: 968-981.
[7] Worrell R. 1995. *Forestry: the journal of the Society of Foresters of Great Britain* 68: 231-243.
[8] Dickmann D.I. 2006. *Biomass and Bioenergy* 30: 696-705.
[9] Lemus R., Lal R. 2005. *Critical Reviews in Plant Sciences* 24: 1-21.
[10] Compant S., Reiter B., Sessitsch A., Nowak J., Clement C. & Ait Barka E. 2005. *Applied and Environmental Microbiol*ogy 71: 1685-1693.
[11] Lambert B., Joos H. 1989. *Trends in Biotechnology* 7: 215-219.

Viljelyn vaikutus savimaan fysikaalisiin ja kemiallisiin ominaisuuksiin

Physical and chemical changes induced by agricultural use of boreal clay soils

Markku Yli-Halla[1], Mari Räty[1], Delbert L. Mokma[2], Risto Uusitalo[3], Larry P. Wilding[4], Richard Drees[4] ja Laura Alakukku[3, 5]

[1] Soveltavan kemian ja mikrobiologian laitos, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto
[2] Dep. of Crop and Soil Sciences, Michigan State University, East Lansing, MI 48824, USA
[3] MTT, Kasvintuotannon tutkimus, Maaperä ja kasvinravitsemus, 31600 Jokioinen
[4] Dep. of Soil and Crop Science, Texas A&M University, College Station, TX 77843, USA
[5] Agroteknologian laitos, PL 28, 00014 Helsingin yliopisto

Johdanto

Kuivatus muuttaa maan ominaisuuksia monin tavoin. Savisedimentin kuivuminen saa aikaan kutistumista ja rakenteen muodostumista. Rakenteellisen kutistumisen seurauksena syntyvät makrohuokoset toimivat ilman ja veden sekä siihen liuenneiden ja suspendoituneiden aineiden kulkureitteinä. Viljely aiheuttaa myös kemiallisia muutoksia, kun lannoitevalmisteiden sisältämät aineet liikkuvat maassa alaspäin. Suomen ilmasto-oloissa kuivatus vaikuttaakin merkittävällä tavalla viljelymaiden pedogeneesiin.

Aineisto ja menetelmät

Viljelyn vaikutuksia kahden Jokioisilla sijaitsevan (Ojainen, Yöni) savimaan ominaisuuksiin tutkittiin vertailemalla niitä läheiseen metsää kasvavaan lajitekoostumukseltaan samanlaiseen maahan (savespitoisuus pohjamaassa 83 - 90 %). Ojaisten peltoa on viljelty 1700-luvulta lähtien ja se on salaojitettu 1930-luvulla. Yönin peltoa on viljelty yli 100 vuotta, ja se on salaojitettu 1989. Maaprofiilit tutkittiin horisonteittain 150 cm:n syvyyteen saakka ja maanäytteistä tehtiin kemiallisia ja fysikaalisia määrityksiä. Tilavuuspainon määritystä [1] varten maakokkareet tasapainotettiin vakiokosteuteen ylipainemenetelmällä (33 kPa). Kutistumiskerroin (Coefficient of Linear Extensibility, COLE) laskettiin kosteiden ja kuivien (105 °C) maakokkareiden tilavuudenmuutoksen perusteella [2]. Ojaisten maasta tehtiin myös ohutleikkeitä (30 µm) ja pedogeenisistä prosesseista tehtiin havaintoja polarisoivalla mikroskoopilla. Ojaisten pellolla oli myös mitattu pohjaveden pinnan korkeutta yhdeksän vuoden ajan. Alueen maaprofiilien morfologia on dokumentoitu aiemmin [3].

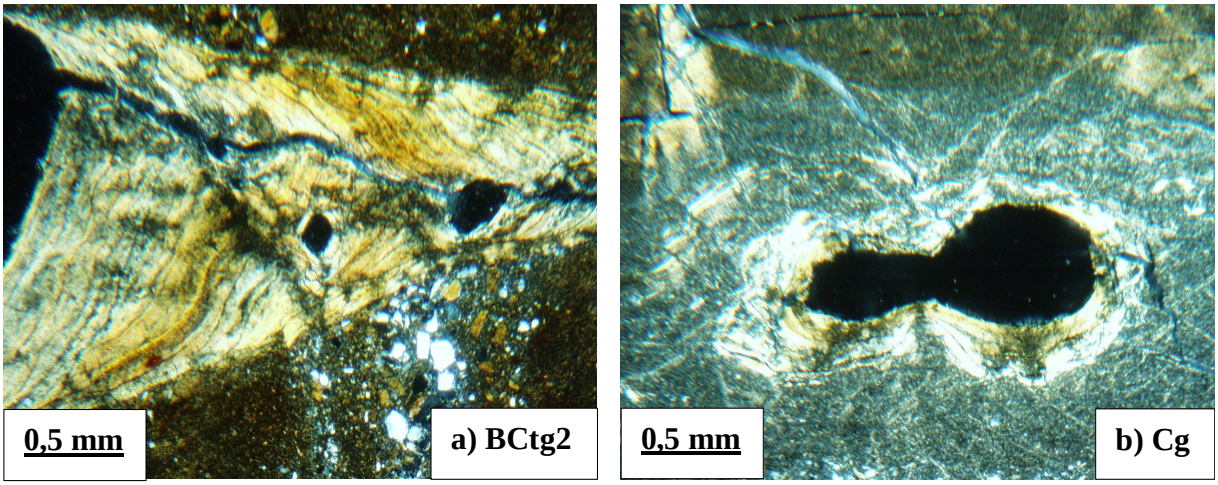
Tulokset ja tarkastelu

Yönin pellon pintamaan pH(H_2O) oli korkeampi kuin metsämaan (5,9 vs. 5,0). Vastaava ero (0,3 - 0,7 pH-yksikköä) oli havaittavissa myös syvemmällä, jossa vaihtuvan Ca:n pitoisuus oli keskimäärin 28 % korkeampi pellolla kuin metsässä. Maankuivatus oli johtanut rakenteen muodostumiseen koko tutkittuun syvyyteen molemmissa pelloissa. Sen sijaan metsää kasvavassa savimaassa oli tuskin minkäänlaista rakennetta, ainoastaan vähäistä kuivumisen aiheuttamaa halkeilua. Metsämaan syvemmät horisontit olivat värinkin perusteella jatkuvasti veden kyllästämiä, kun taas peltomaassa oli hapettumista ilmaisevia ruostesaostumia kokkareiden pinnoilla 125 cm:n syvyyteen ja juurikanavien ympärillä tätäkin syvemmällä. Tilavuuspaino pieneni syvemmälle mentäessä, vaikka hiilipitoisuus oli suurin ylimmässä horisontissa, josta määritys tehtiin (Taulukko 1). Peltomaan tilavuuspaino oli suurempi kuin metsämaan, erityisesti n. 40 - 80 cm:n syvyydellä. Tulos heijastelee peltomaan kuivumisen aiheuttamaa maan huokostilan irreversiibeliä pienenemistä, kun maasta on poistunut vettä. Varsinkin syvempien horisonttien maa kutistui kuivuessaan melko paljon, jopa 16 %, sekä metsässä että pellolla ja täytti maannosluokittelussa käytettävän *Vertic*-attribuutin vaatimukset (COLE > 6%); maannoksen nimi WRB-järjestelmässä on *Vertic Cambisol*. Metsämaan horisonttien COLE-arvot olivat kauttaaltaan hieman suurempia ja kertovat myös osaltaan siitä, että maa on ollut aina märkää.

Taulukko 1. Yönin savimaan fysikaalisia ominaisuuksia. Ne tulokset, jotka olivat metsämaan (M) ja pellon (P) toisiaan vastaavissa horisonteissa tilastollisesti merkitsevästi erisuuruisia, on merkitty taulukkoon seuraavasti: *** p=0,001, ** p= 0,01, * p=0,05.

Horisontti, cm		Hiilipitoisuus %		Tilavuuspaino kg dm^{-3}		Kutistuminen %		Vesipitoisuus 33 kPa:ssa, %	
M	P	M	P	M	P	M	P	M	P
15-40	25-35	1,7	2,3	1,22	1,32	9,0	5,2	44	36
40-75	35-82	0,3	0,4	1,02**	1,19**	13,0**	8,6***	57**	43**
75-137	82-125	0,4	0,2	0,97	1,02	15,9*	13,1*	57	51
137-150	125-150	0,6	0,5	0,94	0,98	15,8	13,1	58	57

Pitkään jatkuneen maankuivatuksen vaikutus maaprofiilin kehitykseen näkyi vielä selvemmin Ojaisten maassa. Ohutleikkeissä havaittiin niin paljon maaprofiilissa alaspäin kulkenutta savesta (Kuva 1a), että tämä maa oli *Vertic Luvisol*, jota maannosta ei Suomessa ole aiemmin dokumentoitu. Saveksen kertymistä huokosten seinämiin esiintyi vielä salaojien alapuolellakin (Kuva 1b). Pohjavesihavainnot osoittivat, että yhdeksän vuoden jaksolla pohjaveden pinta oli laskenut useana kesänä salaojien tasoa syvemmälle mahdollistaen rakenteen muodostumisen ja aineiden liikkumisen makrohuokosia pitkin myös syvimpiin tutkittuihin maahorisontteihin.



Kuva 1. Ojaisten savimaassa suspensiona alaspäin liikkunut saves näkyy vaaleina vyöhykkeinä. Savesta on tarttunut a) kutistumishalkeaman ja b) vanhan juurikanavan (?) seinämiin. Syvyydet: BCtg2-horisontti 112-140 cm, Cg-horisontti 140-150 cm.

Kirjallisuus

[1] Brasher, B.R., Franzmeier, D.P., Valassis, V.T. & Davidson, S.E., 1966. Use of saran resin to coat natural soil clods for bulk density and water retention measurements. *Soil Science* 101: 108.

[2] Grossman, R.B., Brasher, B.R., Franzmeier, D.P. & Walker, J.L., 1968. Linear extensibility as calculated from natural-clod bulk density measurements. *Soil Science Society of America Proceedings* 32: 570-573.

[3] Yli-Halla, M. & D.L. Mokma. 2001. Soils in an agricultural landscape of Jokioinen, southern-western Finland. *Agricultural and Food Science in Finland* 10:33-43.

Seleeni suomalaisissa peltomaissa – uuttomenetelmien tehokkuuden vertailu ja maan seleenifraktiot

Selenium in Finnish field soils – comparison of the efficiency of different extraction methods and soil selenium fractions

Riikka Keskinen[1], Päivi Ekholm[1], Markku Yli-Halla[1] ja Helinä Hartikainen[1]

[1]Soveltavan kemian ja mikrobiologian laitos, Helsingin yliopisto
riikka.keskinen@helsinki.fi

Johdanto

Suomen maaperässä on niukasti käyttökelpoista seleeniä (Se), minkä johdosta väestön ja kotieläinten Se-saanti on ollut riittämätöntä [1]. Ongelman korjaamiseksi peltolannoitteisiin on lisätty helppoliukoista natriumselenaattia vuodesta 1984 lähtien. Vuotuinen Se-lannoitus on osoittautunut tehokkaaksi tavaksi ylläpitää Se-ravitsemusta [2], mutta lannoituskäytännön vaikutuksia maaperään ja ympäristöön ei tunneta vielä riittävästi. Kasvit hyödyntävät vain 5-20 % Se-lisäyksestä [3]. Maahan jäävän selenaatin oletetaan pelkistyvän seleniitiksi ja pidättyvän tehokkaasti oksidipinnoille. Jo yli 20 vuoden ajan tapahtunutta Se:n kertymistä ei ole kuitenkaan pystytty osoittamaan maa-analyysein. Maan Se-seurannassa määritetyt kuumavesiuuttoisen Se:n pitoisuudet eivät ole muuttuneet lannoitusta edeltäneeltä tasolta [2]. Myöskään kuningasvesiuuttoisen Se:n pitoisuuksissa ei ole havaittu merkitsevää kasvua [4]. Maan Se-varojen muutosten seurantaan ja Se:n esiintymismuotojen selvittämiseen tarvitaankin edellisiä soveltuvampia menetelmiä.

Aineisto ja menetelmät

Työssä verrattiin kuumavesiuuton [5], neljän erilaisen fosfaattipuskurin (0,1 ja 1 M K_2HPO_4/KH_2PO_4, pH 4,4 ja 7,0), ammoniumoksalaatin (0,18 M $(NH_4)_2C_2O_4$ + 0,1 M $H_2C_2O_4$, pH 3,3) sekä kuningasveden (ISO11466) Se:n uuttotehokkuutta hieta- ja savimaalla. Kuumavesiuutto irrottaa vain helppoliukoista Se:ä. Fosfaattipuskuri vapauttaa lisäksi spesifisesti pidättyneitä reservejä. Oksalaatti liuottaa heikosti kiteytyneitä raudan ja alumiinin oksideja vapauttaen samalla näihin sitoutuneen Se:n. Kuningasvesiuuttoa on käytetty perinteisesti maan kokonaisseleenipitoisuuden määritykseen, vaikka kuningasvesi ei todellisuudessa pysty liuottamaan kaikkia maan mineraaleja. Yksittäisuuttojen ohella peltomaiden Se fraktioita tarkasteltiin peräkkäisten uuttojen menetelmällä [6], jolla maiden Se eroteltiin liukoiseen, adsorboituneeseen, orgaaniseen ja alkuainemuotoiseen sekä erittäin niukkaliukoiseen fraktioon.

Tulokset ja tarkastelu

Yksittäisuutoista kuningasvesi oli odotetusti tehokkain. Oksalaattiuutto vapautti puolet ja kuumavesiuutto 5-10 % kuningasvesiuuttoisesta Se:stä. Fosfaattipuskurin väkevyydellä ja pH:lla oli huomattava vaikutus uuttotulokseen: pH:n nostaminen ja fosfaattipitoisuuden lisääminen paransivat uuttotehokkuutta. Laimea, hapan fosfaattiliuos ei eronnut uuttotehokkuudessa kuumavesiuutosta, mutta konsentroidumpi, neutraali puskuriliuos uutti huomattavasti enemmän, noin 30 % kuningasvesiuuttoisesta määrästä.

Maiden Se-varoista noin puolet oli orgaanisessa fraktiossa. Helppoliukoisessa muodossa oli vain 1 %, adsorboituneena 15-20 %, alkuainemuodossa 10 % ja erittäin niukkaliukoisissa orgaanisissa yhdisteissä tai metalliselenideinä noin 20 % maiden Se-reserveistä.

Peräkkäisillä uutoilla tehtävä fraktiointi on työläs, mutta potentiaalinen menetelmä maan Se:n esiintymismuotojen kartoitukseen. Tarkasteltujen maiden suuri orgaanisen Se:n osuus antaa aihetta keskittyä jatkossa tarkemmin tähän fraktioon. Oksalaatti- ja fosfaattiuuttojen herkkyyttä lannoituksen aiheuttamille muutoksille täytyy vielä selvittää, mutta kuumavesiuuttoa tehokkaampina menetelminä ne ovat lupaavia maan Se-varojen seurantaa ajatellen. Oikealla pH:n ja puskuriliuoksen pitoisuuden yhdistelmällä fosfaattiuutto saattaa sopia hyvin Se:n sitoutumisvoimakkuuden kuvaamiseen ja biosaatavan Se:n määritykseen.

Kirjallisuus

[1] Koivistoinen, P. 1980. Mineral Element Composition of Finnish Foods: N, K, Ca, Mg, P, S, Fe, Cu, Mn, Zn, Mo, Co, Ni, Cr, F, Se, Si, Rb, Al, B, Br, Hg, As, Cd, Pb and Ash. Acta Agriculturæ Scandinavica Suppl. 22. 171 p.

[2] Eurola, M., Alfthan, G., Ekholm, P., Levonmäki, M., Root, T., Venäläinen, E-R. & Ylivainio, K. 2008. Seleenityöryhmän raportti 2008. Maa- ja elintarviketalous 132. 34 p.

[3] Yläranta, T. 1985. Increasing the Selenium Content of Cereal and Grass Crops in Finland. Academic dissertation. Yliopistopaino, Helsinki.

[4] Yli- Halla, M. 2005. Influence of Selenium Fertilization on Soil Selenium Status. Proceedings, Twenty Years of Selenium Fertilization, September 8-9, 2005, Helsinki, Finland. p.25-32.

[5] Yläranta, T. 1982. Volatilization and Leaching of Selenium Added to Soils. Annales Agriculturae Fenniae 21:103-114.

[6] Wright, M. T., Parker, D. R. & Amrhein, C. 2003. Critical Evaluation of the Ability of Sequential Extraction Procedures To Quantify Discrete Forms of Selenium in Sediments and Soils. Environmental Science & Technology 37:4709-4716.

Maan hiili- ja typpivarastojen muutokset avohakkuun ja maanmuokkauksen jälkeen

Soil carbon and nitrogen pools after clear-cutting and scarification

Sirpa Piirainen[1], Jouni Niemelä[2], Leena Finér[3], Hannu Mannerkoski[4] ja Michael Starr[5]

[1]Metsäntutkimuslaitos, Joensuun yksikkö, PL 68, 80101 Joensuu, puh.: 0102 11 3118, email: sirpa.piirainen@metla.fi
[2]Riihikuja 3 B 9, 49900 Virolahti, email: jouni_niemela@pp.inet.fi
[3]Helsingin yliopisto, Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta, Metsäekologian laitos, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto, puh.: 050 391 3067, email: leena.finer@metla.fi
[4]Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta, PL 111, 80101 Joensuu, puh.: 013-251 3536, email: hannu.mannerkoski@joensuu.fi
[5]Helsingin yliopisto, Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta, Metsäekologian laitos, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto, puh.: 09-191 58121, email: mike.starr@helsinki.fi

Johdanto

Metsämaan muokkauksella pyritään turvaamaan uuden taimen kasvuunlähtö ja kehitys parantamalla maan vesi-, ilma- ja lämpöoloja eli maan fysikaalisia ominaisuuksia. Lisäksi useat muokkausmenetelmät parantavat myös maan kemiallisia ominaisuuksia kasaamalla orgaanista ainetta mm. hakkuutähteitä ja humuskerrosta palteisiin tai mättäisiin. Muokkauksen seurauksena edellä mainitut maan ominaisuudet muuttuvat, ainakin joksikin aikaa, eri muokkauspintojen välillä. Tietoa siitä miten suuria erot eri muokkauspintojen välillä ovat tai miten kauan ne kestävät, ei ole. Aikaisempien tutkimusten perusteella kuitenkin tiedetään, että maan ravinnevarastot voivat pienentyä tehostuneen hajotuksen ja lisääntyneen huuhtoutumisen takia.

Aineisto ja menetelmät

Tässä tutkimuksessa tutkittiin maan hiilen (C) ja typen (N) varastojen muutosta kolme (v. 2001) ja kahdeksan vuotta (v. 2006) äestyksen jälkeen avohakkuualalla Kangasvaaran valuma-alueella Sotkamon kunnassa. Avohakkuu oli tehty v. 1996, äestys v. 1998 ja männyn istutus v. 1999. Kasvupaikkatyyppi oli VMT, maannostyppi rautahumuspodsoli, maalaji hiekkamoreeni ja kivisyys 28 %. Maanäytteitä otettiin eri muokkauspinnoista (palle, vako ja koskematon pinta) sekä eri maakerroksista (humus-, huuhtoutumis- ja rikastumiskerros) 20 cm syvyyteen asti mineraalimaan pinnasta. Maanäytteiden C ja N pitoisuudet määritettiin Leco CHN analysaattorilla.

Tulokset ja tarkastelu

Humuskerros oli paksuin palteessa vielä 8 vuoden jälkeenkin, koska se alun perin muodostui kahdesta humuskerroksesta. Hiilen ja typen varastot olivat yli kaksinkertaiset palteen humuskerroksessa verrattuna koskemattoman pinnan humuskerrokseen vielä 8 vuotta muokkauksen jälkeen. Palteen huuhtoutumiskerroksessa hiilen ja typen varastot olivat myös 1,4 ja 1,2 kertaa suuremmat kuin koskemattoman pinnan, mutta rikastumiskerroksessa eroja ei ollut. Kun eri muokkauspintojen ala (palteita 25 %, vakoja 30 % ja 45 % koskematonta) otettiin huomioon ravinnevarastojen laskennassa, niin avohakkuu ja muokkaus vähensivät maan C varastoja 8 %, mutta lisäsivät N varastoja 9 % ennen hakkuuta tilanteeseen verrattuna. Suurin osa hiilestä todennäköisesti vapautui ilmakehään hajotustoiminnan tuloksena, mutta vapautunut typpi sen sijaan sitoutui osittain maahan.

Metsäisen moreenirinteen hydraulisten ominaisuuksien määrittäminen ja hyödyntäminen virtauksen ja aineiden kulkeutumisen mallintamisessa

Determination of till hydraulic properties and their utilisation in modelling of flow and solute transport in a forested hillslope

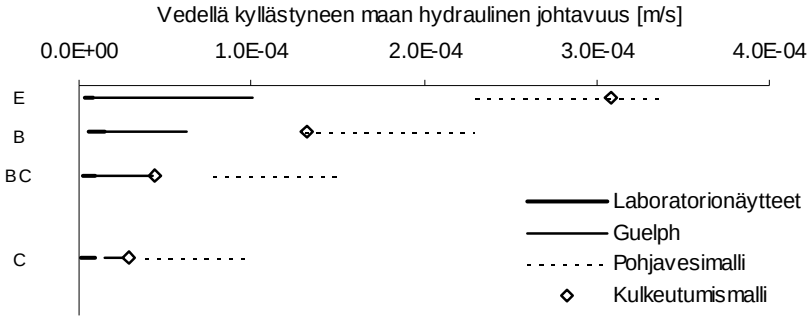
Hanne Laine-Kaulio[1], Tuomo Karvonen[2], Harri Koivusalo[3] ja Soile Saastamoinen[4]

[1] Teknillinen korkeakoulu, Vesitalouden laboratorio, PL 5300, 02015 TKK, hllaine@cc.hut.fi
[2] WaterHope, Munkkiniemen puistotie 20 A 6, 00330 Helsinki
[3] Metsäntutkimuslaitos, Joensuun toimintayksikkö, PL 68, 80101 Joensuu
[4] Oulun yliopisto, Vesi- ja ympäristötekniikan laboratorio, PL 4300, 90014 Oulun yliopisto

Moreenit peittävät noin puolet ja metsät yli kaksi kolmannesta Suomen pinta-alasta. Fennoskandian metsäisillä moreenimailla maan rakenne vaikuttaa ratkaisevasti hydrauliseen johtavuuteen eli vedenjohtavuuteen [7]. Hydraulinen johtavuus riippuu myös tarkastelumittakaavasta [4]. Tavanomaisilla laboratorionäytteillä ei voida selvittää maan rakenneominaisuuksien vaikutusta näytteen kokoa suuremman mittakaavan vedenjohtavuuksiin. Eri mittakaavoissa tehtyjä havaintoja ja mallisovelluksia monipuolisesti yhdistelevät vertailututkimukset ovatkin keskeisessä roolissa, kun tutkitaan metsäisten moreenimaiden hydrogeologisia ominaisuuksia, ja kehitetään veden virtausta ja aineiden kulkeutumisprosesseja kuvaavia simulointimalleja metsäalueille. Laine-Kaulio [6] yhdisti maaperätutkimuksia, väri- ja ionimerkkiainekokeita ja fysikaalista mallintamista maaperän ominaisuuksien, veden virtauksen ja aineiden kulkeutumisen selvittämiseksi Suomen metsäalueille tyypillisellä moreenirinteellä. Työssä tarkasteltiin eri menetelmillä määritettyjä ja eri mittakaavaa edustavia vedellä kyllästyneen maan hydraulisia johtavuuksia, ja johtavuustietojen hyödyntämistä virtauksen ja aineiden kulkeutumisen mallintamisessa.

Tutkimuskohteena oli metsäinen hiekkamoreenirinne Kangaslammen valuma-alueen läheisyydessä Sotkamossa [2]. Vedellä kyllästyneen maan hydraulinen johtavuus määritettiin kolmella menetelmällä: i) maaperänäytteistä laboratoriossa, ii) Guelph-permeametrilla maastossa [8], ja iii) laskennallisesti pohjavesimallisovelluksen avulla. Laskennallinen menetelmä perustui pohjavesimallin käänteiseen soveltamiseen, kalibroimalla eri maannoshorisonttien vedenjohtavuusarvoja ja vertaamalla laskettuja pohjaveden pinnan muutoksia koerinteellä havaittuihin muutoksiin. Vedenjohtavuustuloksia hyödynnettiin Richards'in yhtälöön pohjautuvan, kolmiulotteisen virtaus- ja aineiden kulkeutumismallin parametrisoinnissa. Mallilla simulointiin merkkiainekoetta, jossa tutkimusrinteen yläreunaa sadetettiin kloridiliuoksella ja puhtaalla vedellä vuorotellen. Pohjaveden pinnankorkeuksia ja kloridipulssin kulkua rinnettä alas seurattiin rinteeseen asennettujen pohjavesiputkien kautta.

Eri hydraulisen johtavuuden määritysmenetelmillä (laboratorionäytteet, Guelph, pohjavesimalli) saadut tulokset on esitetty kuvassa 1. Kuvaan on myös merkitty johtavuusarvot, joita käytettiin kloridimerkkiainekokeen simuloinnissa (kulkeutumismalli).



Kuva 1. Vedellä kyllästyneen maan hydrauliset johtavuudet maannoshorisonteittain eri menetelmillä määritettynä Kangaslammen moreenissa.

Pienintä mittakaavaa edustaneet laboratorionäytteet tuottivat pienimmät ja suurinta, rinnemittakaavaa edustaneet pohjavesimallilaskelmat tuottivat suurimmat arviot vedellä kyllästyneen maan hydrauliselle johtavuudelle. Pienen mittakaavan mittausten katsottiin edustavan lähinnä maamatriisin vedenjohtokykyä, kun taas rinnemittakaavan tuloksia hallitsivat suuremman mittakaavan rakenneominaisuuksiin liittyvät oikovirtausreitit. Eri menetelmillä määritetyt hydrauliset johtavuudet poikkesivat toisistaan selvästi. Tulokset kuitenkin pienenivät säännönmukaisesti ja voimakkaasti moreenipodsolin syvyyden suhteen, lukuun ottamatta laboratorioanalyyseja. Korkeammat johtavuudet lähellä maan pintaa johtuivat löyhästä maan rakenteesta ja rakenteeseen liittyvistä oikovirtausreiteistä, jotka voitiin jakaa väriainekokeen perusteella kolmeen ryhmään: i) kivien ja lohkareiden pintoihin, ii) paikallisiin rakeisuus- ja huokoisuusvaihteluihin, ja iii) lahonneisiin juurikanaviin. Sekä oikovirtausreitit että puiden juuret ulottuivat maan pinnalta aina vaihettumisvyöhykkeeseen, eli noin puolen metrin syvyyteen saakka. Juurten pintojen ei kuitenkaan todettu toimivan yksiselitteisesti oikovirtausreitteinä.

Huokoston kaksijakoisuus – vettä varastoiva maamatriisi ja vettä tehokkaasti kuljettavat oikovirtausreitit – vaikeutti virtauksen ja aineiden kulkeutumisen laskennallista kuvaamista tutkimusrinteen maaperässä. Simuloitaessa kloridipulssin kulkua rinteellä virtaus- ja aineiden kulkeutumismallilla, paras yhteensopivuus mallinnetun ja havaitun kloridipulssin etenemisnopeuden ja pitoisuuden muutosten suhteen saatiin hyödyntämällä käänteisen pohjavesimallin tuottamia johtavuusarvoja (vrt. Kuva 1). Lisäksi mallisovellus tuli rajoittaa tehokkaasti valuntaa tuottavaan osaan maan huokostilavuudesta, sillä vedenjohtavuusarvojen kasvattaminen ei riittänyt nostamaan mallinnettua kloridipulssin etenemisnopeutta havaitulle tasolle. Toisaalta pohjavesiputkissa havaitut kloridipitoisuudet edustivat lähinnä oikovirtausreiteillä virtaavaa vettä, eikä kokonaishuokostilavuutta simuloimalla pystytty tuottamaan havaittuja kloridipitoisuuksia. Jotta veden ja aineen vaihtuminen maamatriisin ja makrohuokosrakenteiden välillä voidaan ottaa mallisovelluksissa huomioon, tulee molempien huokostojen kosteustilaa ja ainetasetta laskea rinnakkain ns. kahden tai jopa kolmen huokoston mallilla [vrt. 1, 3, 5]. Erilaiset huokostilat huomioivien mallien kehittäminen eri mittakaavoja edustavien havaintoaineistojen avulla on keskeistä tutkittaessa metsämaiden valunnan syntymekanismeja.

[1] Espeby, B. 1989. Water Flow in a Forested Till Slope – Field Studies and Physically Based Modelling. Dissertation. Royal Institute of Technology, Department of Land and Water Resources. Report Trita-Kut no. 1052. Stockholm, Sweden.
[2] Finér, L., Ahtiainen, M., Mannerkoski, H., Möttönen, V., Piirainen, S., Seuna, P., Starr, M. 1997. Effects of harvesting and scarification on water and nutrient fluxes. Finnish Forest Research Institute, Research Paper 648, Joensuu, 38 p.
[3] Jansson, C., Espeby, B., Jansson, P. E. 2005. Preferential water flow in a glacial till soil. Nordic Hydrology, vol. 36, no. 1: 1-11.
[4] Jenssen, P. D. 1990. Methods for Measuring the Saturated Hydraulic Conductivity of Tills. Nordic Hydrology, vol. 21: 95-106.
[5] Kareinen, T., Ilvesniemi, H. 2002. Maahuokosten kokojakauman vaikutus maaveden liikkeeseen metsämaassa. Pro Terra no. 15. Maaperätieteiden päivien laajennetut abstraktit. Peltola, L., Esala, M. (toim.). Helsingin Yliopisto, Soveltavan kemian ja mikrobiologian laitos
[6] Laine-Kaulio, H. 2008. Subsurface Flow in a Forested Till Slope: Soil Analysis, Tracer Experiments and Physics-based Modelling. Licentiate Thesis. Helsinki University of Technology. 100 p.
[7] Lind, B. B., Lundin, L. 1990. Saturated hydraulic conductivity of Scandinavian tills. Nordic Hydrology, vol. 21: 107-118.
[8] Soilmoisture Equipment Corp. 1991. Operating instructions, Model 2800 K1 Guelph Permeameter. Verkkodokumentti. Julkaistu 10/1991, viitattu 9/2005. http://www.soilmoisture.com/PDF%20Files/82800k1.pdf

Fosforin esiintymismuodot ja sorptioprosessit moreenimetsämaan oikovirtausreiteillä ja maamatriisissa

Phosphorus Speciation and Sorption Processes on Preferential Flowpaths and Soil Matrix in Forested Till Soil

Soile Saastamoinen[1,3], Hanne Laine-Kaulio[2] ja Björn Klöve[1]

[1] Vesi- ja ympäristötekniikan laboratorio, Oulun yliopisto, PL 4300, 90014 Oulun yliopisto, soile.saastamoinen@oulu.fi, bjorn.klove@oulu.fi
[2] Teknillinen korkeakoulu, Vesitalouden laboratorio, PL 5300, 02015 TKK, hanne.laine@tkk.fi
[3] Geologian tutkimuskeskus, Itä-Suomen yksikkö, Maankäyttö ja ympäristö, PL 1237, 70211 Kuopio, soile.saastamoinen@gtk.fi

Johdanto

Oikovirtausten merkitys ravinteiden huuhtoutumisessa ja kulkeutumisessa maaperästä pintavesiin on tunnistettu useissa maatalousmaita koskevissa tutkimuksissa [mm. 1, 2, 3], mutta metsämaissa niiden merkitystä on tutkittu lähinnä typen osalta [4]. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää miten oikovirtausreitit vaikuttavat fosforin esiintymiseen, pidättymiseen ja huuhtoutumiseen moreenimetsämaassa. Lahonneilla juurikanavilla, kivien ja lohkareiden pinnoilla sekä muilla maan huokosrakenteeseen liittyvillä oikovirtausreiteillä [vrt. 5] voi olla keskeinen rooli ravinteiden huuhtoutumis- ja kulkeutumisprosesseissa metsämaasta pintavesiin.

Menetelmät

Tutkimuksen ensimmäisessä osassa selvitettiin fosforin esiintymismuotoja moreenimetsämaan oikovirtausreiteillä ja maamatriisissa. Kenttäkokeessa noin 1 m^2 koealalle sadetettiin Acid Blue 9 -väriainetta, jonka avulla tunnistettiin maaperästä runsaasti oikovirtausreittejä sisältävät alueet. Koeala viipaloitiin vertikaalisesti ja näytteitä kerättiin värjäytyneiltä oikovirtausreiteiltä ja värjäytymättömästä matriisista. Ensimmäisessä osatutkimuksessa näytteistä analysoitiin ammonium-oksalaattiuuttoiset alkuaineet [6], kokonais- ja epäorgaaninen fosfori, epäorgaanisen fosforin fraktiot [7] sekä orgaanisen fosforin eri muodot ^{31}P-NMR spektroskopialla [8, 9]. Tutkimuksen toisessa osassa selvitettiin, miten fosforin sorptioprosessit vaihtelevat metsäisen moreenirinteen eri osissa. Tutkimusrinteeltä valittiin kolme noin 1 m^2 koealaa, yksi ylä-, keski- ja alarinteestä. Oikovirtausreittien tunnistaminen ja näytteiden kerääminen suoritettiin vastaavasti kuin ensimmäisessä osatutkimuksessa. Näytteistä analysoitiin ammonium-oksalaattiuuttoiset alkuaineet [6] ja näytteille toteutettiin fosforin sorptiokokeet, joissa verrattiin reaktioajan, fosforipitoisuuden ja lämpötilan vaikutusta sorptioon [vrt. 10].

Tulokset ja niiden tarkastelu

Väriainekokeen perusteella kivien pinnat olivat merkittävin oikovirtausreitti [vrt. 5]. Näillä oikovirtausreiteillä oksalaattiuuttoisen fosforin pitoisuudet olivat matriisia alhaisempia kaikissa maannoshorisonteissa. Myös fosforin esiintymismuodot vaihtelivat oikovirtausreittien ja maamatriisin välillä. Merkittävin osa epäorgaanisesta fosforista oli alumiinioksideihin sitoutunutta. Rautaoksideihin sitoutunutta fosforia ei havaittu lainkaan oikovirtausreiteillä. Helppoliukoista epäorgaanista fosforia esiintyi ainoastaan E-horisontin matriisissa. Orgaanista fosforia esiintyi vähemmän E- ja B_1-horisonttien oikovirtausreiteillä kuin maamatriisissa. B_2- ja BC-horisonteissa tilanne oli päinvastainen. E-horisontin matriisinäytteissä valtaosa orgaanisesta fosforista esiintyi fytiinihappona, kun taas

oikovirtausreiteillä muut ortofosfaatti-monoesterit olivat fytiinihappoa yleisempiä. E-horisontissa esiintyi vain vähän ortofosfaatti-diestereitä ja pyrofosfaattia. B_1-, B_2- ja BC-horisonteissa valtaosa orgaanisesta fosforista esiintyi muina monoestereinä kuin fytiinihappona. Myös diestereitä ja pyrofosfaattia havaittiin.

Moreenirinteen eri osissa oikovirtausreitit ulottuivat noin 50 cm syvyyteen, eli ylä- ja alarinteen koealoilla kallionpintaan ja keskirinteen koealalla B- ja BC-horisonttien rajapintaan [vrt. 5]. Ylärinteen koealalla oikovirtausreittien fosforin pidätyskyky sekä oksalaattiuuttoisen fosforin, raudan ja alumiinin pitoisuudet olivat huomattavasti alhaisempia kuin matriisissa. Keskirinteessä fosforin pidätyskyky sekä oksalaattiuuttoisen fosforin, raudan ja alumiinin pitoisuudet olivat alhaisempia E-horisontin oikovirtausreiteillä kuin matriisissa ja puolestaan korkeampia B-horisontin oikovirtausreiteillä kuin matriisissa. Alarinteessä oikovirtausreiteillä esiintyi enemmän rautaa ja alumiinia kuin matriisissa, mutta siitä huolimatta oksalaattiuuttoisen fosforin pitoisuus ja fosforin pidätyskyky olivat matriisia alhaisempia. Lämpötilan aleneminen laski huomattavasti fosforin pidätyskykyä. Merkitys oli sitä voimakkaampi mitä lyhyempi reaktioaika oli ja mitä alhaisempi oli veden fosforipitoisuus.

Tulokset viittaavat siihen, että erityisesti rinteen ylä- ja alaosassa oikovirtausreittien kautta voi kulkeutua fosforia esimerkiksi kevätvalunnan aikana, jolloin maan kosteus ja veden virtausnopeus ovat suuria, ja maaperän lämpötila on alhainen. Tällöin fosforin pidättyminen oikovirtausreiteille voi estyä, jos virtausnopeus on suurempi kuin pidättymisreaktioon tarvittava aika. Kuivina kausina, maaperän pintaosan lämpötilan ollessa korkeampi ja veden virtauksen ollessa hidasta, oikovirtausreittien merkitys fosforin kuljettajina on oletettavasti vähäisempi.

Kirjallisuus

[1] Gächter, R., Ngatiah, J.M. and Stamm, C. 1998. Transport of Phosphate from Soil to Surface Waters by Preferential Flow. Environmental Science & Technology 32 (13): 1865-1869.
[2] Jensen, M.B., Hansen, H.C.B., Jørgensen, P.R. and Magid, J. 1999. Leaching of Phosphate in Structured Soil – a Two Step Process. Nordic Hydrology. 30 (4/5):361-378.
[3] Jensen, M.B., Jørgensen, P.R., Hansen, H.C.B. and Nielsen, N.E. 1998. Biopore Mediated Subsurface Transport of Dissolved Orthophosphate. Journal of Environmental Quality 27: 1130-1137.
[4] Bundt, M., Jäggi, M., Blaser, P., Siegwolf, R. and Hagedorn, F. 2001. Carbon and Nitrogen Dynamics in Preferential Flow Paths and Matrix of a Forest Soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 65: 1529-1538.
[5] Laine-Kaulio, H. 2008. Subsurface Flow in a Forested Till Slope: Soil Analysis, Tracer Experiments and Physics-based Modelling. Licentiate Thesis. Helsinki University of Technology. 100 p.
[6] NEN 5776, Soil. Determination of iron, aluminium and phosphorus in an ammonium oxalate-oxalic acid extract for estimation of the saturation with phosphate. Netherlands Normalization Institute (NNI), Delft, The Netherlands.
[7] Kuo, S. 1996. Phosphorus. In: D.L. Sparks (ed.) Methods of Soil Analysis. Agronomy 9: 869-919. ASA-SSSA, Madison, WI.
[8] Cade-Menun, B.J. and Preston, C.M. 1996. A comparison of soil extraction procedures for ^{31}P NMR spectroscopy. Soil Sci. 161: 770-785.
[9] Cade-Menun, B.J., Berch, S.M., Preston, C.M. and Lavkulich, L.M. 2000. Phosphorus forms and related soil chemistry of Podsolic soils on northern Vancouver Island. I. A comparison of two forest types. Can. J. For. Res. 30: 1714-1725.
[10] Jensen, M.B., Hansen, H.C.B. and Magid, J. 2002. Phosphate Sorption to Macropore Wall Materials and Bulk Soil. Water, Air, and Soil Pollution 137: 141-148.

Metsätalouden vesistövaikutukset: kriittinen tarkastelu pareittaisten valuma-alueiden menetelmän oletuksiin ja tulosten tulkintaan

A critical review over assumptions behind paired-catchment experiments

Ari Laurén[1] ja Harri Koivusalo[1]

[1]Metsäntutkimuslaitos, Joensuun toimintayksikkö, PL 68, 80101 Joensuu, ari.lauren@metla.fi

Johdanto

Metsätaloudessa tehtävän vesiensuojelun onnistuminen edellyttää, että erilaisten metsäkäsittelytoimenpiteiden aiheuttama vesistökuormitus tunnetaan. Tämänhetkinen käsitys metsätalouden aiheuttamasta vesistökuormituksesta perustuu tutkimusvaluma-alueilta pitkällä ajalla kerättyyn aineistoon. Kokeet tutkimusvaluma-alueilla on tavallisesti järjestetty pareittaisten valuma-alueiden menetelmän (kalibrointikausi-vertailualuemenetelmä) periaatteiden mukaan. Kokeeseen valitaan kaksi lähekkäistä valuma-aluetta, jotka ovat metsältään, kallio- ja maaperältään, topografialtaan sekä sääolosuhteiltaan niin samanlaisia, että ne reagoivat identtisesti mihin tahansa käsittelyyn. Ennen käsittelyä rinnakkaisilta alueilta tulevaa valuntaa ja ravinnekonsentraatiota seurataan usean vuoden mittaisen kalibrointijakson ajan. Kalibrointijakson aineistosta muodostetaan regressiomalli, jossa vertailualueen kuormituksella ennustetaan käsittelyalueen kuormitusta luonnontilassa. Käsittelyn, esimerkiksi hakkuun, jälkeen käsittelyvaikutus eli hakkuun aiheuttama kuormituksen lisäys saadaan vähentämällä havaittu kuormitus regressiomallilla lasketusta ”luonnontilaisesta” kuormituksesta. Käsittelyn kokonaisvaikutus saadaan laskemalla yhteen havaintojakson käsittelyvaikutukset sellaiselta ajalta, jolloin käsittelyvaikutus on nollaa suurempi. Käsittelyn ominaiskuormitus saadaan jakamalla kokonaiskäsittelyvaikutus valuma-alueella käsitellyn alueen pinta-alaosuudella.

Pareittaisten valuma-alueiden menetelmä on vakiinnuttanut asemansa maankäytön vesistövaikutusten tutkimuksessa ja Suomessakin sitä on käytetty jo vuosikymmeniä. Suomessa pareittaisilla valuma-aluekokeilla on tutkittu mm. kivennäismaan ja turvemaan uudistamishakkuun, ojituksen ja kunnostusojituksen vesistövaikutuksia. Pitkien aikasarjojen mittaaminen vaatii paljon työtä ja resursseja. Vaikka pareittaisten valuma-alueiden menetelmä onkin ehkä luotettavin tapa selvittää metsänkäsittelyn vesistövaikutuksia, menetelmän toteutukseen ja sen taustalla oleviin oletuksiin kätkeytyy tekijöitä, jotka pahimmillaan saattavat johtaa tulosten virheelliseen tulkintaan. Tässä esitelmässä osoitetaan esimerkkien avulla, minkälaisia nämä tutkimuksen ongelmakohdat ovat ja miten ne heijastuvat tulosten tulkintaan.

Pareittaisen valuma-aluekokeen epävarmuustekijät

Kalibrointiaineiston laatu

Käsittelyvaikutusestimaatin suuruuteen vaikuttaa paitsi käsittelyalueelta mitattu kuormitus, myös kalibrointiaineistosta ja vertailualueelta mitatusta havainnosta arvioitava taustakuormitus eli ”laskennallinen luonnonkuormitus”. Käsittelyvaikutuksia arvioitaessa on tavallisesti jätetty huomiotta kalibrointiaineistosta heijastuva epävarmuus, jota voi muodostua mm. lyhyen kalibrointijakson tai käsittely- ja vertailuvaluma-alueilta mitattujen kuormitusten huonon yhteensopivuuden vuoksi. Mitä lyhyempi kalibrointijakso, sitä epävarmempi on taustakuormitusarvio ja sitä epämääräisempi käsittelyvaikutusestimaatti [1]. Kun Koivupurolla tehdyn ojituksen vaikutusta kokonaistyppikuormaan laskettiin käsittelemättömään Välipuron valuma-alueeseen nähden, neljän vuoden kalibrointiaineistolla laskettu viiden vuoden kumulatiivinen käsittelyvaikutus oli 1,4 kg/ha. Kun sama laskenta

toistettiin kolmen vuoden kalibrointiaineistolla, vastaava laskettu käsittelyvaikutus oli 2,1 kg/ha, ja kahden vuoden kalibrointiaineistolla 9,3 kg/ha.

Jotkut käsittely- ja vertailualueen valumaveden laatuominaisuudet, esimerkiksi kiintoaines, saattavat vertautua kalibrointiaineistossa melko huonosti keskenään. Tällöin koejärjestely ei pysty erottamaan selvääkään käsittelyvaikutusta. Koivupurolta laskettiin ojituksen aiheuttamaa kiintoaineskuormaa, joka oli ojitusta seuraavana viitenä vuotena yhteensä 128 kg /ha kun samanaikaisesti vertailualueelta tuleva kuormitus oli 19 kg/ha samana aikana. Käsittelyvaikutus ei kuitenkaan ollut merkitsevä, koska kalibrointiajan aineiston mukaan kiintoaineskuorma käsittelyalueella pienenee samalla kun kiintoaineskuorma vertailualueella kasvaa. Tällöin aineiston laatu ei tue käsittelyvaikutusten laskentaa.

Keinotekoiset valuma-alueet
Erityisesti turvemailla on käytetty keinotekoisia, ojilla rajattuja valuma-alueita pareittaisissa valuma-aluekokeissa. Pieniltä keinotekoisilta valuma-alueilta ei välttämättä muodostu valuntaa ympäri vuoden kun pohjavesivalunta kulkee kaivettujen ojien alitse. Samalla on mahdollista, että vierekkäiset valuma-alueet ovat pohjaveden kautta hydrologisesti yhteydessä toisiinsa, mikä johtaa vaikeasti havaittaviin ongelmiin tulosten tulkinnassa. Tilanjoen tutkimusalueilla seurattiin kunnostusojituksen hydrologisia vaikutuksia vierekkäisillä keinotekoisilla valuma-alueilla [2]. Käsittely- ja vertailualueiden valuntamittausten perusteella kunnostusojitus lisäsi valuntaa. Sadanta-, lumi- ja valunta-aineistojen, sekä mitattujen pohjaveden pinnankorkeuksien yhtäaikainen tarkastelu hydrologisen mallin avulla kuitenkin paljasti, että kunnostusojitus käsittelyalueella muutti myös vertailualueen hydrologiaa. Tällöin koejärjestely oli ristiriidassa menetelmän perusoletuksen kanssa, eikä vertailualuetta voinut käyttää käsittelyalueen taustakuormituksen arviointiin.

Aika ja yleistäminen
Olemassa olevien kenttätutkimusten perusteella tiedetään, että kuormitus varttuneesta metsästä on pienempää kuin puuttomalta alueelta tai nuorista taimikkovaiheen metsistä. Metsiköstä tuleva kuormitus vähenee samalla kun metsikkö kasvaa. Mikäli kalibrointijaksolla käsittely- tai vertailualueella on nuoria metsiköitä, joiden kuormitustaso on vielä koholla ja pienenemässä, on oletettavaa, että käsittely- ja vertailualueiden kuormitusten välinen riippuvuus muuttuu ajan kuluessa. Samalla käsittelyvaikutusestimaatit käyvät epävarmoiksi.

Hakkuun ja maanmuokkauksen käsittelyvaikutusten yleistäminen laajalle alueelle tai pitkälle aikavälille on ongelmallista, koska kokeen seurantajakso on metsän kiertoaikaan nähden lyhyt [3]. Lyhyestä seurantajaksosta päättelyyn periytyy käsitteellinen harha – käsittelemätön metsä ei uudistu. Koejärjestelyssä hakkuuta ja sitä seuraavaa maanmuokkausta verrataan käsittelemättömään metsäpeitteiseen alueeseen. Tämä tila ei kuitenkaan ole pysyvä, vaan käsittelemätönkin metsä uudistuu mm. tuulituhojen ja metsäpalojen seurauksena.

Kirjallisuus

[1] Laurén, A., Heinonen, J., Koivusalo, H., Sarkkola, S., Tattari, S., Mattsson, T., Ahtiainen, M., Joensuu, S., Kokkonen, T. & Finér, L. 2008. Implications of uncertainty in pre-treatment dataset on estimation of treatment effects from paired catchment studies: loads of phosphorus from forest clear-cuts. *Water, Air & Soil Pollution*, DOI 10.1007/s11270-008-9773-1.
[2] Koivusalo, H., Ahti, E., Laurén, A., Kokkonen, T., Karvonen, T., Nevalainen, R. & Finér, L. 2008. Impacts of ditch cleaning on hydrological processes in a drained peatland forest. *Hydrology and Earth System Sciences* 12(5): 1211-1227.
[3] Laurén, A. & Mannerkoski, H. 2006. Yliarvioidaanko hakkuiden vesistövaikutuksia? *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2006: 320- 322.

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden vuot boreaaliselta metsänpohjalta

Volatile organic carbon emissions from boreal forest floor

Hermanni Aaltonen[1], Jukka Pumpanen[1], Mari Pihlatie[2], Pasi Kolari[1], Heidi Hellén[3], Jussi Heinonsalo[4] ja Jaana Bäck[1]

[1]Metsäekologian laitos, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto
[2]Fysiikan laitos, PL 64, 00014 Helsingin yliopisto
[3]Ilmatieteen laitos, PL 503, 00101 Helsinki
[4]Soveltavan kemian ja mikrobiologian laitos, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto

Johdanto

Biogeenisten lähteiden emittoimat haihtuvat orgaaniset yhdisteet (Biogenic Volatile Organic Compounds: BVOCs) muodostavat suurimman osan biosfäärin tuottamista ja emittoimista haihtuvista kemikaaleista[2]. Haihtuvilla orgaanisilla yhdisteillä on tärkeä rooli alailmakehän ilmakemiassa ottaessaan osaa aerosolien muodostumis- ja kasvuprosesseihin[4]. VOC-yhdisteet reagoivat otsonin sekä OH- ja NO_3-radikaalien kanssa, jolloin reaktiotuotteina syntyvät uudet yhdisteet voivat tiivistyä aerosolipartikkeleiksi. Boreaalisilla alueilla BVOC-yhdisteiden rooli aerosolinmuodostuksessa on keskeinen. Koska boreaaliset metsät kattavat kolmasosan koko maapallon metsistä, niiden vaikutus kasvaa merkittäväksi myös maailmanlaajuisesti[6].

Vaikka boreaalisten metsien BVOC-emissiot tunnetaan kohtalaisen hyvin latvus- ja versotasolla, metsänpohjan ja maaperän emissiot ovat varsin huonosti tunnettuja. Myös ymmärrys maaperän prosessien dynamiikasta ja eri maaperän komponenttien (esimerkiksi juuret, mykorritsat ja hajottajaeliöt) osuudesta BVOC-yhdisteiden emissioihin ja sidontaan on rajoittunutta. Suurin osa maaperän BVOC-vuosta on lähtöisin juurista ja hajoavasta kasvimateriaalista, mutta myös maaperän mikrobit kykenevät tuottamaan monia haihtuvia yhdisteitä sekä käyttämään niitä hiilen lähteenään[5]. Boreaalisissa metsissä maaperän BVOC-vuon on havaittu olevan suurimmillaan keväisin ja syksyisin[3], mutta prosessit vuodenaikaisvaihtelun takana ovat vielä epäselviä. Maan lämpötila- ja kosteusolosuhteet vaikuttavat suoraan moniin fysikaalisiin ja biologisiin tekijöihin maaperän BVOC-tuotannossa[1]. Tämän vuoksi maaperän BVOC-vuo voi merkittävästi muuttua ilmastomuutoksen seurauksena, mikä tekee BVOC-emissioiden prosessipohjaisen tutkimisen ajankohtaiseksi ja tärkeäksi.

Menetelmät

Olemme mitanneet BVOC-vuota SMEAR II-asemalla Helsingin yliopiston Metsäekologian laitoksen Hyytiälän metsäasemalla Etelä-Suomessa automaattisesti toimivilla oksa- ja maakyveteillä, jotka on kytketty reaaliaikaisesti mittaavaan PTR-MS (Proton Transfer Reaction-Mass Spectrometer) analysaattoriin. Emissioiden alueellista hajontaa olemme kartoittaneet manuaalisilla kyvettimittauksilla, joissa näytteet on kerätty kymmenestä pysyvästi asennetusta kauluksesta läpivirtauskammiolla Tenax-adsorbenttiputkiin ja analysoitu kaasukromatografi-massaspektrometrillä (GC-MS).

Saadaksemme uutta tietoa maaperämikrobien kyvystä tuottaa BVOC-yhdisteitä selvitimme myös maaperän sienilajiston haihtuvien aineiden emissiopotentiaalia kokeellisesti kahdeksan eri sienilajin avulla. Kokeeseen kuului mykorritsasieniä, endofyyttisiä sieniä sekä hajottajia. Emissiomittaukset tehtiin sienten puhdasviljelmistä laboratorio-olosuhteissa PTR-MS analysaattorilla.

Tulokset

Alustavat tulokset näyttävät, että metsänpohjan BVOC-vuot vaihtelevat suuresti lumettomana aikana huhtikuusta lokakuuhun, kun maa on sula ja mikrobitoiminta aktiivista. Vuo on suurimmillaan alkukesällä ja syksyllä, jolloin maaperän biologinen aktiivisuus on tehokkaimmillaan korkeista lämpötiloista ja karikkeenlisäyksestä johtuen. Emissiot koostuvat pääasiassa terpeeneistä, joista α-pineeni ja Δ^3-kareeni ovat eniten emittoidut yhdisteet, sekä lyhytketjuisista hapettuneista yhdisteistä kuten metanolista ja asetonista. Ajallisen vaihtelun lisäksi tulokset osoittavat sekä emissioiden määrässä että laadussa selvää paikallista vaihtelua. Suurinta vaihtelu on mänty- ja kuusivaltaisen metsän emissioiden välillä.

Suurin osa maaperän BVOC-emissioista on kasvien juurien tuottamaa, mutta myös mikrobien osuus BVOC-yhdisteiden tuotannossa on merkittävä. Sekä maaperän sienten emissioiden kokonaismäärä että emittoitujen yhdisteiden suhteelliset osuudet vaihtelivat suuresti eri sienilajien välillä. Sienten VOC-emissiot koostuivat sekä isoprenoideista (isopreeni, mono- ja seskviterpeenit) että alkoholeista ja aldehydeistä.

Tulevaisuus

Dynaaminen kammio asetettuna maan pinnalle mittaa kokonaisemissiota maaperästä ja kaikista kasveista kammion sisällä. Tästä syystä olemme asentaneet SMEAR II-asemalle BVOC-keräimet maan sisään kolmeen syvyysprofiiliin mitataksemme vain maaperästä tulevaa vuota. Talviaikaista vuonmittausta varten olemme asentaneet keräimet mitataksemme vuota myös eri syvyyksiltä lumipeitteen sisältä. Nämä keräimet yhdistettynä automaattisiin ja manuaalisiin kammiomittauksiin antavat arvokasta tietoa BVOC-emissioiden vuodenaikaisvaihtelusta kuten myös maaperän BVOC-tuotanto- ja -kulutusprosesseista. Tätä tietoa voimme tulevaisuudessa käyttää boreaalisen metsämaan ja metsänpohjan BVOC-emissioiden mallinnuksessa. Tuloksia käytetään myös ilmastonmuutoksen mallinnuksessa täydentämään kuvaa boreaalisten metsien BVOC-emissioista.

Kirjallisuus

[1] Asensio, D., Peñuelas, J., Filella, I. and Llusià, J. 2007. Online screening of soil VOCs exchange responses to moisture, temperature and root presence. Plant and Soil 291: 249-261.
[2] Guenther, A., Karl, T., Harley, P., Wiedinmyer, C., Palmer, P.I. and Geron, C. 2006. Estimates of global terrestrial isoprene emissions using MEGAN. Atmospheric Chemistry and Physics 6: 3181-3210.
[3] Hellén, H., Hakola, H., Pystynen, K.H., Rinne, J. and Haapanala, S. 2006. C_2-C_{10} hydrocarbon emissions from a boreal wetland and forest floor. Biogeosciences 3: 167-174.
[4] Kulmala, M., Hämeri, K., Mäkelä, J.M., Aalto, P.P., Pirjola, L., Väkevä, M., Nilsson, E.D., Koponen, I.K., Buzorius, G., Keronen, P., Rannik, Ü., Laakso, L., Vesala, T., Bigg, K., Seidl, W., Forkel, R., Hoffmann, T., Spanke, J., Janson, R., Shimmo, M., Hansson, H.-C., O´Dowd, C., Becker, E., Paatero, J., Teinilä, K., Hillamo, R., Viisanen, Y., Laaksonen, A., Swietlicki, E., Salm, J., Hari, P., Altimir, N. and Weber, R. 2000. Biogenic aerosol formation in the boreal forest. Boreal Environment Research 5: 281-297.
[5] Lin, C., Owen, S.M. & Peñuelas, J. 2007: Volatile organic compounds in the roots and rhizosphere of Pinus spp. Soil Biology & Biochemistry 39: 951-960.
[6] Tunved, P., Hansson, H.C., Kerminen, V.M., Ström, J., Dal Maso, M., Lihavainen, H., Viisanen, Y., Aalto, P.P., Komppula, M. and Kulmala, M. 2006: High natural aerosol loading over boreal forests. Science 312: 261-263.

Lyhyt- ja pitkäaikaisen kuivumisen aiheuttamat muutokset soiden maanpäällisen karikkeen tuotossa

Effects of short-term and long-term water-level drawdown on the above-ground litter inputs into peatland ecosystems

Jani Anttila[1], Timo Penttilä[2] ja Raija Laiho[1]

[1] Helsingin yliopisto, Metsäekologian laitos, PL 27 (Latokartanonkaari 7), 00014 Helsingin yliopisto. Sähköposti raija.laiho@helsinki.fi
[2] Metsäntutkimuslaitos, Vantaan toimintayksikkö

Boreaaliset ja subarktiset suot ovat merkittävä hiilen varasto, koska ne pitävät sisällään noin kolmasosan maapallon maaperän hiilivaroista. Soiden toiminta hiilen nieluna riippuu hyvin voimakkaasti ilmastosta. Ilmastonmuutoksen on arvioitu kasvattavan haihdutusta kuivattaen näin soita.

Hiilen kertyminen soihin on tapahtunut pitkän ajan kuluessa. Suurin osa tuotetusta kasvimateriaalista hajoaa hapellisesti akrotelmassa. Vain murto-osa päätyy hapettomaan katotelmaan, jossa hajotus on hyvin hidasta. Suon pinnan kuivuminen lisää hapellisen kerroksen paksuutta parantaen siten hajotuksen olosuhteita. Se kuitenkin myös muuttaa olennaisesti kasvillisuutta, joka tuottaa hajotettavaa materiaalia.

Tämän työn tarkoituksena oli selvittää millä tavoin tuotetun karikkeen määrät muuttuvat suon lyhytkestoisen ja pitkäkestoisen kuivumisen seurauksena. Tutkimuksessa esitettiin seuraavat väitteet:

1) Lyhytkestoinen kuivuminen muuttaa eri kariketyyppien suhteita, mutta ei tuotetun karikkeen kokonaismääriä, koska kasvilajit eivät ehdi korvautua kuivempiin oloihin sopivimmalla.
2) Pitkäkestoisen kuivumisen seurauksena karikkeen määrä kasvaa. Koska puuston tiedetään vallitsevan ojitettujen soiden kasvibiomassaa, se on myös suurin karikkeen lähde.
3) Muutos on suurinta ravinteikkaammilla suotyypeillä.

Tutkimus tehtiin Oriveden Lakkasuolla vuonna 2005. Tutkimuksessa käytettiin kolmea eri ravinteisuustasolla olevaa linjaa, jotka kulkivat luonnontilaiselta kontrollialalta lyhytkestoisen koekuivatusalan läpi vanhalle metsäojitukselle. Putkilokasvikarike kerättiin maanpinnalle asetelluilla verkkokeräimillä. Näistä keräimistä poistettiin kaikki aikaisempi karike keväällä, ja mitattiin kasvukauden aikana tullutta kariketta syksyllä. Sammalten tuotosta mitattiin nk. maalausmenetelmällä, ja tuotoksen ajateltiin olevan sama kuin karikkeen tuotto. Tätä oletusta testattiin vertaamalla kuolleen ja elävän osan rajan siirtymistä pituuskasvuun osalla lajeista, ja tuloksen mukaan tuotos kuvasi karikkeen tuottoa hyvin.

Luonnontilaisilla koealoilla karikkeen kokonaismäärä kasvoi ravinteisuustason myötä, mutta lyhytkestoisen tai pitkäkestoisen kuivumisen jälkeen ravinteisuustasot eivät eronneet toisistaan merkitsevästi. Lyhytkestoinen kuivuminen ei merkitsevästi kasvattanut karikkeen kokonais-määriä. Suurimmat muutokset olivat vähentynyt heinämäisten kasvien karikkeen osuus ja lisääntynyt lehtikarikkeen osuus. Mesotrofisella koealalla sammalten määrä oli vähentynyt suuresti.

Pitkäkestoisen kuivumisen jälkeen karikesyötteen kokonaismäärät olivat kasvaneet ombrotrofisella koealalla 4,7-kertaiseksi, oligotrofisella 3,4-kertaiseksi ja mesotrofisella koealalla 2,6-kertaiseksi. Puuston tuottamaa karikkeesta oli 60%, 75% ja 68%. Myös sammalten tuottaman karikkeen määrä kasvoi kaikilla ravinteisuustasoilla.

Tutkimus tukee aikaisempaa käsitystä, jonka mukaan lyhytaikainen kuivuminen johtaa hiilen vapautumiseen suosta. Tämä tapahtuu, koska hajotus tehostuu, ja kasvillisuus ei ehdi korvautua kuiviin oloihin sopivimmilla lajeilla, joten maahan tulevan karikkeen määrä pysyy samansuuruisena. Pitkäaikainen kuivuminen lisää suuresti erityisesti puuainepitoisen karikkeen määrää, jolloin hiilen kertyminen jatkuu, jollei hajotus tehostu riittävästi kompensoimaan tätä.

Kirjallisuus

Anttila, J. 2008. *Lyhyt- ja pitkäaikaisen kuivatuksen aiheuttamat muutokset soiden maanpäällisen karikkeen tuotossa*. Pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto, metsäekologian laitos. 56 s.

Maan mikrobit tuottamaan hiilidioksidista polttoainetta

Production of fuel from carbondioxide by help of soil microbes

Erkki Aura
Biotaito

Metaani on vedyn ohella varteenotettava vaihtoehto fossiilisille polttoaineille silloin, kun metaani valmistetaan bioraaka-aineista tai hiilidioksidista. Vähäisin muunnoksin moottoritekniikassa metaani sopii hyvin nykyisiin polttomoottoreihin energian lähteeksi. Vetyyn verrattuna metaani on paineistettuna säilytyksessä vetyä edullisempi, koska metaanimolekyylin CH_4 polttoarvo on 3,3 kertaa suurempi vetymolekyyliä H_2 [1]. Metaani on ruuanvalmistuksessa ja lämmityksessä vetyä vaarattomampi vedyn herkän räjähdysalttiuden vuoksi.

Metaanin valmistaminen hiilidioksidista ja vedystä on yksi mahdollisuus pyrkimyksessä vähentää kasvihuonekaasuna toimivan hiilidioksidin päästöjä, kun vedyn tuottamiseen ei käytetä fossiilista energiaa. Hiilidioksidi ja vety reagoivat keskenään muodostaen metaania ja vettä (Sabatier reaktio): $CO_2 + 4H_2 = CH_4 + 2H_2O$. Reaktio on eksoterminen, entalpian muutos ΔH^o on 25°C:ssa -252,9 kJ reaktiota kohden. Reaktio on spontaani, Gibbsin energian muutos ΔG^o on 25°C:ssa -130,8 kJ reaktiota kohden. Laskelmassa veden on oletettu tiivistyvän nesteeksi reaktion lopputuotteessa. Eksotermisyyden vuoksi reaktiossa menetetään vedyn polttoarvosta 17 %, koska neljälle moolille H_2 molekyylejä polttoarvo on 967 kJ ja yhdelle moolille CH_4 802 kJ olettaen reaktiotuotteena syntyvän veden pysyvän kaasumaisena [1]. Reaktiota voidaan katalysoida kahdella tavalla: epäorgaanisesti metallikatalysaattoreilla usean sadan celsiusasteen lämpötilassa tai muutaman kymmenen celsiusasteen lämpötilassa mikrobien avulla. Esimerkiksi avaruusmatkoja varten on tehty epäorgaaninen katalysaattori huokoisesta alumiinioksidista, johon on upotettu ruteniumhiukkasia [2]. Koska Sabatier-reaktio on eksoterminen, katalysaattori tarvitsee jäähdytyksen. Epäorgaanisen katalysaattorin usean sadan asteen lämpötila lisää sovellutuksissa tekniikan vaativuutta vedyn räjähdysherkkyyden vuoksi.

Mikrobien kyky katalysoida hiilidioksidin ja vedyn muuttuminen metaaniksi ja vedeksi on hyvin tunnettu mm. maakaasun muodostuksessa [3] ja biokaasun tuotannossa [4]. Biokaasu sisältää metaanin ohella hiilidioksidia. Biokaasun muodostuksessa voidaan metaanipitoisuus kohottaa lähes sataan prosenttiin syöttämällä metaanireaktoriin vetyä, jolloin metaanimikrobit käyttävät biokaasun muodostumisessa syntyvän hiilidioksidin kokonaan metaanin valmistukseen. Mikrobit saavat hiilidioksidin ja vedyn muuttumisesta metaaniksi energiaa kasvuunsa, koska Gibbsin energian muutos ΔG^o on negatiivinen reaktiolle. Vedyn syöttö metaanireaktoriin rikastuttaa reaktorissa niitä mikrobeja, jotka pystyvät hyödyntämään em. reaktiota. Vaikka mikrobien avulla hiilidioksidista ja vedystä saadaan syntymään metaania lähellä asuinhuoneen lämpötilaa, mikä on etu verrattuna epäorgaaniseen katalysointiin, ei biokatalysaattoreita ole yleisesti tullut markkinoille metaanin tuottamiseksi hiilidioksidista ja vedystä energialähteeksi.

Mikrobikatalysaattorin rakentaminen ja käyttö on yksinkertaista ja halpaa. Perusajatus on, että katalysaattorikammio on täytetty huokoisilla kappaleilla, esimerkiksi rakeilla, jotka adsorboivat mikrobeja rakeen pinnalle ja rakeen huokosiin ja nestepitoisuus pidetään katalysaattorissa sellaisena, että kappaleitten välinen tila on suurimmaksi osaksi kaasutilaa kappaleitten huokosten ollessa vesiliuoksen ja mikrobien täyttämää. Katalysaattorikammion vastakkaisilla puolilla ovat vedyn ja hiilidioksidin kaasuseoksen sisään syöttö ja syntyneen metaanin ulostulo. Kappaleitten ansiosta (läpimitta esimerkiksi 1 – 5 mm) on katalysaattorissa runsaasti kaasutilan ja nestetilan välistä rajapintaa, jonka läpi hiilidioksidi ja vety diffundoituvat kaasufaasista nestefaasiin ja mikrobien katalyysin tuloksena syntynyt

metaani nesteestä kaasutilaan. Kaasu saadaan virtaamaan katalysaattorin läpi vastakkaisten puolien kaasujen kokonaispaine-erolla. Kaasuseoksen virratessa tasaisesti katalysaattorikammion läpi hiilidioksidin ja vedyn pitoisuus kaasutilassa vähitellen alenee ja metaanipitoisuus kasvaa, kun mikrobit kappaleitten pinnalla ja huokosissa katalysoivat metaanin muodostumista. Koska kaasua ei katalysaattorissa ulkoapäin sekoiteta eikä mikrobeja kannattavia kappaleita liikuteta, tasainen kaasun virtaus mahdollistaa metaanipitoisuuden kasvattamisen lähes sataan prosenttiin. Reaktiokaavan perusteella vedyn tilavuus suhteessa hiilidioksidin tilavuuteen on sisään syötettävässä kaasussa 4:1. Muodostunut vesi jää nestefaasiin. Koska muodostunutta vettä täytyy välillä laskea pois katalysaattorista, on katalysaattoriin lisättävä mikrobien tarvitsemia ravinteita. Sylinterimäinen muoto sopii hyvin katalysaattorikammiolle, jolloin sisään syöttö ja ulostulo tapahtuvat sylinterin pohjan ja kannen kautta. Sylintereitä voidaan kytkeä useita peräkkäin sarjaan, jolloin ulostuleva kaasu johdetaan seuraavan sylinterin sisään syöttöön. Katalysaattori saadaan rikastumaan metaania tuottavilla mikrobeilla kyllästämällä kappaleet mikrobiliemellä biokaasureaktorista, jonka mikrobipopulaatio on kehittynyt acidogenesisvaiheesta (haihtuvia rasvahappoja muodostava vaihe biokaasureaktorissa) methanogenesisvaiheeseen (haihtuvista rasvahapoista, hiilidioksidista ja vedystä metaania muodostava vaihe). Tämän jälkeen metaania muodostavien mikrobien edelleen rikastaminen tapahtuu syöttämällä mikrobien ravinnoksi vedyn ja hiilidioksidin seosta. Reaktori voidaan ladata mikrobeilla myös käyttäen metaanimikrobiviljelmiä. Katalysaattorissa mikrobien ja nesteen kantamiseen käytettyjen kappaleiden ei tarvitse olla erillisiä, vaan katalysaattorin täytteeksi käy myös huokoinen materiaali, jonka huokoskokojakautuma antaa mahdollisuuden pinta-alaltaan suuren neste- ja kaasutilan rajapinnan muodostumisen ja jonka suurimmat huokoset ovat ilman täyttämiä ja jatkuvia mahdollistaen näin kaasuseoksen tasaisen virtaamisen katalysaattorissa ja jonka pienimpiin huokosiin neste ja metaanimikrobit kiinnittyvät. Katalysaattorikammion täytemateriaali voi koostua esimerkiksi muovista, keramiikasta, perliitistä tai vermikuliitista.

Kirjallisuus

[1] Chang, R., 2000. *Physical Chemistry for the Chemical and Biological Sciences. Sausalito, California: University Science Books*.

[2] Richardson, J. T., 2001. Advanced catalysts and reactors for Mars exploration Sabatier processors. *Institute for Space Systems Operations. Annual Report: 98-101*.

[3] Gilcrease, P. C., and Shurr, G. W., 2007. Making microbial methane work: The potential for new biogenic gas. *WorldOil.com – Online magazine Article: Special Focus – Nov-2007.*

[4] *Sustainable Development Department, FAO, 1997. A system approach to biogas technology.*

Soil temperature and moisture conditions: effect on tree vitality

Maan lämpötilan ja kosteuden vaikutus puiden kuntoon

Egbert Beuker[1], Liisa Ukonmaanaho[2] and Martti Lindgren[2]

[1] Finnish Forest Research Institute, Punkaharju Research Unit, Finlandiantie 18, FI-58450, Punkaharju, Finland, email egbert.beuker@metla.fi
[2] Finnish Forest Research Insitute, Vantaa Research Unit, PL 18, FI-01301 Vantaa, Finland, email liisa.ukonmaanaho@metla.fi, martti.lindgren@metla.fi

Introduction

The global average surface temperature will likely increase by 2 to 4.5 °C during the course of the 21st century. In the meantime, changes in precipitation and the melting of ice and snow are expected to increase flood risks in some areas while causing droughts in others. Forest productivity and vitality depend on in addition of nutrient status of soil also on moisture and temperature conditions of soil. Measuring litterfall and assessing defoliation are two complementary means of estimating forest condition and vitality. We wanted to study how the soil temperature and moisture conditions and other climatic factors effect on forest vitality: defoliation and annual litterfall flux. According to our previous studies we have found positive correlation between total flux of litterfall and defoliation degree in spruce stands [1].

Material and methods

The study was carried out on 5 Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.) Level II plots during 1999 to 2004 that form a part of the UN-ECE/ICP Forests and EU/Forest Focus forest condition monitoring programmes.

- Defoliation was assessed on 60 trees on each plot. Defoliation of spruce was estimated on the upper half of the living crown.
- Litterfall was collected using 12 traps located systematically over the 30 x 30 m plots. The top of the funnel-shaped traps (collecting area = 0.5 m^2) was located at a height of 1.5 m above the forest floor. Litterfall was collected at two-week intervals during the snow-free period, and once at the end of winter.

Monitored soil and climatic parameters:

- Temperature (T) of soil has been monitored at depth of -10 cm and -20 cm
- Moisture (WC) of soil has been monitored at -20 cm
- Air temperature: Effective temperature sum (ETS) and July temp (T_{July})
- Annual precipitation sum (P)

These parameters were measured and stored once an hour.

- Evaporation index(EVT_{index}) was calculated as follow: P x 10/ ETS
- Pearson product-moment correlations were used to determine relationships between defoliation, litterfall, soil moisture and temperature and climatic factors,

Results and discussion

- The average degree of defoliation during 1999 to 2004 varied between 9.3% and 17.1% in these spruce dominated stands. The total annual litterfall flux varied between 121 to 478 g m^{-2} a^{-1}. There was significant negative correlation between defoliation degree and litterfall flux.

- A positive correlation was found for defoliation degree with soil moisture %, but not with other soil or climatic parameters. Annual litterfall flux, on the other hand,

correlated with all other parameters except precipitation and soil moisture % (excluding soil moisture % in September).

- Our results show that high soil moisture conditions affect tree vitality through increased defoliation degree, but this is not reflected in the litterfall production.
- Negative correlation between defoliation degree and litterfall flux was contradictory compared to our previous study. Longer time series and more detailed data are needed for further studies.

Table 1. Pearson correlation coefficients between defoliation and annual litterfall production and various soil and climate variables. Significance level ***p < 0.001; **p <0.01; *p< 0.05.

	Defoliation (n = 30)		Litterfall (n= 30)	
Soil Temperature				
$T_{-10\ cm}$	-0.463		**0.688**	**
$T_{-10cm-1\sim}$	-0.371		**0.710**	** *
$T_{-20\ cm}$	-0.347		**0.675**	**
$T_{-20\ cm-1\sim}$	-0.290		**0.653**	**
Soil moisture, -20cm				
WC_{Mean}	**0.649**	*	-0.500	
WC_{May}	0.384		-0.320	
WC_{July}	**0.662**	*	-0.485	
$WC_{September}$	0.632	*	**-0.723**	**
Precipitation	0.299		-0.361	
Air temperature				
T_{July}	-0.001		0.511	
ETS	0.329		**0.649**	**
$ETS_{-1\sim}$	-0.014		**0.686**	**
EVT_{index}	0.329		**0.696**	**
$EVT_{index-1\sim}$	0.114		**-0.608**	**
Litterfall	**-0.645**	* *		
Defoliation			**-0.645**	**

$T_{-10cm-1}$, $T_{-20\ cm-1}$ mean soil temperature of previous year, ~ $ETS_{-1\sim}$ effective temperature sum of previous year, $EVT_{index-1\sim}$ evapotranspiration index of previous year.

References

[1] Ukonmaanaho, L. & Lindgren, M. 2007. Litterfall and defoliation on six Norway spruce (Picea abies L. Karsth.) and Scots pine (Pinus sylvestris L.) Level II plots. *In: Eichhorn, J. (ed.). Forests in a Changing Environment - Results of 20 Years ICP Forests Monitoring. Symposium, October 25-28 2006, Göttingen, Germany. Proceedings. Schriften aus der Forstlichen Fakultät* 142: 88-93.

Canopy pattern and soil temperature in two forested drained peatlands in North Central Finland

Latvuston rakenne ja maaperän lämpötila kahdella metsäojitetulla suolla Pohjois-Suomessa

Markus Hartman[1] ja Pekka Pietiläinen[2]

[1]Finnish Forest Research Institute, Vantaa Research Unit, P.O. Box 18, FIN-01301 Vantaa, Finland, markus.hartman@metla.fi
[2]Finnish Forest Research Institute, Muhos Research Unit, Kirkkosaarentie 7, FIN-91500 Muhos, Finland, pekka.pietilainen@metla.fi

Introduction

The most important constraining factor for tree growth in the northern Boreal region is the temperature, while light conditions are sufficient during the vegetation period.

We measured the biomass and crown projection of individual trees on representative sample plots from two field experiments on drained peatlands in north central Finland. Throughout the year, air and soil temperatures have been registered on these sites.

The ultimate aim of this study is to estimate the leaf area index (LAI) on a tree and stand level and the relationships between temperature regimes and tree stand dynamics.

Material and methods

The two sites are Haapua in Pudasjärvi (mean annual temperature sum 950 ºC d.d.) and Hepokangas in Taivalkoski (mean annual temperature sum 850 ºC d.d.). The Haapua experiment is a transforming or transformed drained peatland where the site types range between the low shrub and *Vaccinium myrtillus* drained peatland forest. At Hepokangas the site types range between recently drained or transforming low sedge fen and tall herb drained peatland forest.

The tree stands of the plots were measured to estimate the biomass and crown projection of the individual trees. Circular sample plots with a radius of 9.0 m (Haapua) and 7.0 m (Hepokangas) were used. All living trees with a diameter (d) $\geq$ 5.0 cm at 1.3 m height were measured. The measured variables were d, height (h), height where live crown starts (c), crown projection (pr) in the four cardinal points of the compass. The position of each tree was registered with a GPS. The air and soil temperatures of the experiments have been registered throughout the year.

Preliminary results and discussion

During the study year the air temperature sum at Haapua was 926 ºC d.d. and at Hepokangas 859ºC and the 'soil temperature sums' ($\geq$ 5ºC) 669 ºC d.d. for Haapua and 681 ºC d.d. for Hepokangas. The corresponding duration of the vegetation period (mean daily air temperature $\geq$ 5ºC) was 103 days at Haapua and 95 days at Hepokangas while the duration of days when the soil temperature was $\geq$ 5ºC amounted to 137 at Haapua and 130 at Hepokangas.

At Haapua the range of the tree stand volume of the plots was between 60 and 200 m^3 and at Hepokangas the tree stand volume of the plots varied between 10 and 90 m^3. Especially in Taivalkoski the stands are uneven and multi-layered and the tree stems are clumped to hummocky parts of the mire topography.

The transformation of inorganic peat nitrogen into ammonium and dissolved organic nitrogen is critical for sustenance and growth of the tree stands in the two experiments. Soil temperature is one critical factor for the rate of nitrogen transformation. In Table 1 are the peat nitrogen and degree of decomposition presented together with the preliminary results of the canopy cover estimate.

Table1. Peat nitrogen (N, %), degree of humification (von Post) and canopy cover (%) of the Pudasjärvi (P) and Taivalkoski (T) experiments with the respective correlation coefficients relative to the canopy projection. Note that the sum of the canopy projection of the individual trees in one densely stocked multilayered plot exceeds 100.

P	Sample plot	Peat N %	Peat H (von Post)	Canopy cover %
P	11	1,31	2,5	58
P	16	1,18	5	52
P	17	1,04	2	60
P	21	1,31	4	59
P	25	1,76	4	70
P	26	1,79	5	70
P	31	2,09	4	74
P	34	2,06	5	63
P	35	2,15	4,5	70
P	36	2,32	4	69
n = 10		r = 0,80	r = 0,20	
T	1	1	2	84
T	4	0,7	2,5	39
T	6	0,91	3	52
T	10	0,93	3	46
T	13	1,32	3	35
T	15	1,25	3,5	82
T	16	1,76	2	63
T	17	1,39	2	64
T	20	1,8	1,5	57
T	21	2,3	1,5	74
T	22	2,74	1	80
T	29	2,44	1,5	112
T	30	1,64	1,5	80
T	32	1,87	2	96
n = 14		r = 0,62	r = -0,50	

Poikkeuksellisen sateisten ja kuivien kesien vaikutus purojen nitraattityppipitoisuuksiin ja –kuormitukseen

The impact of extreme summer weather conditions on nitrate N concentrations and loads in small rivers

Eeva Huitu[1], Marko Järvinen[2] ja Lauri Arvola[1]

[1] HY/ Lammin biologinen asema, Pääjärventie 320, 16900 Lammi
[2] Suomen ympäristökeskus SYKE Jyväskylä, P.O. Box 35, 40014 Jyväskylän yliopisto
Sähköposti: eeva.huitu@helsinki.fi

Purovesien nitraattipitoisuuksien ja nitraattikuormituksen vertailu poikkeuksellisen sateisten ja kuivien kesien välillä osoitti, että huomattava osa nitraatin vuosikuormituksesta voi päätyä vesistöihin sateisen kesän aikana.

Tutkimus toteutettiin Lammin-Hämeenkosken Pääjärveen laskevilla puroilla, joiden ravinnepitoisuuksia on seurattu viikottain vuodesta 1993. Tarkasteluun valittiin peräkkäiset vuodet, joissa 30 vuoden (1978-2007) keskiarvoon suhteutettuna kuivaa kesää seurasi sateinen kesä (touko-elokuu). Vuosiparit olivat 1997-1998, 2003-2004 ja 2006-2007. Näistä vuosipari 2003-2004 oli äärevin ja ero 2006-2007 kesien välillä oli vähäisin (kesä 2006 oli hyvin kuiva mutta kesä 2007 lähellä keskiarvoa).

Tutkimuksessa oli mukana neljä puroa, joiden valuma-alueet eroavat toisistaan kooltaan ja maankäyttömuodoiltaan (taulukko 1).

Taulukko 1. Tutkittujen purojen valuma-alueiden ominaisuuksia

	Mustajoki	Haarajoki	Löyttynoja	Koiransuolenoja
Pinta-ala (km^2)	84	58	8	6,8
Peltoa (%)	13	11	17	24
Turvemaata(%)	20	12	14	5
Metsää (%)	67	71	69	71
Vesistöt (%)	<1	6	<1	<1

Kuivina kesinä purojen nitraattipitoisuudet pysyivät tasaisina sekä pohjavaluntatilanteessa että myös yksittäisten sateiden aiheuttamien valumahuippujen aikana. Haarajoen nitraattipitoisuudet laskivat kuivina kesinä hyvin alhaisiksi (taulukko 2), mikä johtunee nitraatin pidättymisestä valuma-alueella sijaitseviin järviin.

Sateisina kesinä typen pidättyminen oli vähäisempää, ja Haarajoen pitoisuuksien keskiarvo nousi jopa korkeammaksi kuin Mustajoen. Suurimmat pitoisuudet havaittiin Koiransuolenojalla. Löyttynojan nitraattipitoisuuksissa oli vähäisin ero kesien välillä, mikä johtuu pohjaveden virtaamia ja pitoisuuksia tasaavasta vaikutuksesta.

Taulukko 2. Purojen nitraattityppipitoisuuksien (mg NO_3/N m^{-3}) keskiarvot ja vaihteluväli kuivina ja sateisina kesinä

	Mustajoki	Haarajoki	Löyttynoja	Koiransuolenoja
Kuivat kesät	510 (268-775)	154 (8-566)	636 (395-747)	1097 (592-1728)
Sateiset kesät	581 (237-1563)	401 (121-2113)	667 (467-1243)	1897 (1061-6333)

Purojen valuma-alueiden ominaisuuksilla, esimerkiksi maankäytöllä, peltojen sijoittumisella valuma-alueella sekä pohjaveden suhteellisella osuudella, on suuri merkitys sekä veden nitraattityppipitoisuuden tasoon pohjavaluntatilanteessa että tapaan, jolla säätilan vaihtelut heijastuvat puron kuljettamaan nitraattikuormaan. Valuma-alueeltaan maankäytöltään maatalousvaltaisimmilla puroilla, Löyttynojalla ja Koiransuolenojalla, kesäaikaiset nitraattityppipitoisuudet olivat korkeampia kuin suuremmilla puroilla.

Pienillä puroilla kesäaikainen kuormitus muodosti aina suuremman osan vuotuisesta kuormituksesta kuin suurilla puroilla. Sateisina kesinä ero oli suurempi (taulukko 3). Vuotuisten sdaemäärien erot aiheuttavat suuren hajonnan osuuksiin. Sateisimpana kesänä 2004 Löyttynojan kesäaikainen kuormitus oli 41 % ja Koiransuolenojan 45 % vuotuisesta kuormasta ja kuivimpana kesänä 2006 osuudet olivat vastaavasti 4,4 % ja 3 %.

Taulukko 3. Kesän aikaisen nitraattityppikuorman keskimääräinen osuus (%) ja osuuden keskihajonta (suluissa) vuosittaisesta kuormituksesta kuivina ja sateisina kesinä.

	Kuivat kesät	Sateiset kesät
Mustajoki	7 (6,5)	20 (11,0)
Haarajoki	5 (6,2)	18 (10,9)
Löyttynoja	9 (4,7)	23 (15,8)
Koirans.oja	7 (7,0)	25 (17,6)

Kevättä ja syksyä on pidetty yleensä runsaimman ravinnekuormituksen ajankohtina, mutta Lammin puroseurannan tulosten mukaan sateisena kesänä tapahtuva kuormitus voi muodostaa suuren osan vuosikuormasta. Tällä saattaa on suuri vaikutus kuormituksen vastaanottavan järven ekosysteemille, sillä loppukesän aikana nitraattitypen pitoisuudet järvien pintakerroksessa ovat yleensä määritystarkkuuden alarajalla ja valuma-alueelta tuleva kuormitus tulee nopeasti levien käyttöön. Tämä oli nähtävissä mm. sateisena kesänä 2004, jolloin ravinne- ja klorofyllipitoisuudet Lammin alueen järvissä nousivat korkeiksi.

Ilmasto lämpenee, lämpeneekö maa?

Soil temperature in changing climate conditions

Pekka Hänninen[1], Raimo Sutinen[2] ja Ari Venäläinen[3]

[1] pekka.hanninen@gtk.fi
[2] raimo.sutinen@gtk.fi
[3] ari.venalainen@fmi.fi

Ilmasto on jatkuvassa muutostilassa. Tällä hetkellä elämme interglasiaalisessa, jääkausien välisessä lämpimässä, kaudessa. Ilmasto lämpenee nyt poikkeuksellisen nopeasti, mutta geologisesti kohta on jääkausi. Suomi sijaitsee niin pohjoisessa, että lämpenemisestä huolimatta talvisin odotettavissa vielä useiden vuosikymmenten ajan pakkaskausia ja sekä helle- että koleita kesiä.

Viimeisten parin kymmenen vuoden aikana mittaus-, tiedonkeruu- ja tiedonsiirtolaitteet ovat huomattavasti kehittyneet ja halventuneet. Geologian tutkimuskeskus perusti ensimmäiset automaattiset maaperän mittausasemansa 1990 –luvun alkupuolella. Nykyisin asemia on lähes kolmekymmentä, joista 25 mittaa maaperässä tapahtuvia muutoksia normaalitilanteessa kolmen tunnin välein. Mittausasemista yhdeksän on Ilmatieteen laitoksen havaintoasemien välittömässä läheisyydessä, yhdeksän asemaa on itsenäisinä Keski- ja Länsi-Lapin alueella suoraan hankkeessa ”Metsämaa ja globaalimuutos” sekä kahdeksan asemaa on erilaisissa kohteellisissa tutkimuksissa Etelä-Suomen alueella. Asemista 6 on GSM-verkossa. Tällä hetkellä toimivista asemista vanhimmat (5kpl) on perustettu vuonna 2001 ja nuorimmat 2008.

Peruskokoonpanossa asemat mittaavat maan pintaosan vesipitoisuus- ja lämpötilavaihteluita 3 tunnin välein. Lämpötilaseurantaa on kuudella ja vesipitoisuusseurantaa viidellä syvyydellä. Uudemmissa asemissa on myös maan ja maaveden sähkönjohtavuuden mittausta sekä ilmatieteellisiä perusmittauksia.

Asematulosten perusteella maaperän anomaalisen kylmät paikat eivät ole siellä, missä Suomen kylmät alueet sijaitsevat vaan Pohjanmaalla tai Etelä-Suomessa. Lapissa talvi tuo mukaan lumen ja pakkasen, kun Etelä-Suomessa pakkaskausi voi alkaa ennen lumisateita tai lumi voi sulaa kesken talven ja uusi pakkasjakso voi tulla jälleen lumettomaan aikaan. Kun lumen sulaveden lämpötila on -0.5 astetta, niin suurimmassa osassa tapauksia sulamisvesi jäähdyttää maata jo 30 cm syvyydellä. Neljästätoista asemasta vain kolmen aladesiili lämpötila oli 30 cm syvyydellä ≤ lumen sulamislämpötila.

Maan jäätymiseen tarvitaan yli 0.5 asteen pakkanen ja pakkaskauden keston on oltava vähintään kuukauden mittainen [1]. Asemaotoksen perusteella vain 30% tapauksista on sellaisia, että tapahtuu maan täydellinen jäätyminen 10 cm syvyydessä. Maa-aineksella tai leveysasteella ei näytä olevan ratkaisevaa merkitystä maan kylmyyteen, kun taas lämpimät maat esiintyvät ilmastoltaan lämpimillä alueilla eli anomaalisiin lämpöihin leveysasteella on merkitystä.

Asemien seurantatulosten mukaan maan lämpötilan ei aladesiilin kohdalla ole muuttunut, ylädesiilin kohdalla se on laskenut ja 50% kohdalla lämpötila on noussut. Maan vesipitoisuudessa ei ole trendimäisiä muutoksia. Tämän perusteella kesät olisivat kylmentyneet ja keväät ja syksyt pidentyneet.

Jos kylmän ajanjakson aikana on vähän lunta, kylmä pääsee pureutumaan maahan. Vaikutus vielä kasvaa, jos ensin on lunta, sitten talvisuoja sulattaa lumen, jolloin maa kylmenee

nopeasti. Kun tätä seuraa pakkaskausi, maa jäätyy tai ainakin maaperän nolla-isotermi tunkeutuu syvälle. Keväällä maa alkaa lämmetä vasta, kun kaikki lumi on sulanut.

Nykytalvina meillä pakkaset ja lumi kuuluvat yhteen. Normaalikeväänä lumen sulamisvedet menevät pikkupakkasella olevan maan läpi ja jäähdyttävät maata. Maa kyllä kylmenee, mutta maavesi ei jäädy. Kun kaikki lumi on sulanut, aurinko lämmittää maan pinnalla olevan veden, joka maahan mennessään tehokkaasti lämmittää kaikki maakerrokset. Maaveden jäätymien ja sulaminen aiheuttavat anomaalisen suuria näennäisiä kosteusvaihteluita ja todellisia ylikyllästyneisyystiloja. Kun verrataan ylä- ja aladesiilien kosteuseroja, Ylistaro nousee taas huipulle. Ylistaron savimaassa on aina runsaasti vettä. Veden jäätyessä laskennallinen vesipitoisuus pienenee ja samalla maakerros imee itseensä alemmista maakerroksista tai sulamisvesistä lisää vettä, joka niin ikään jäätyy. Keväällä jään sulaessa maakerros on ylikyllästyneessä tilassa eikä pysty vastaanottamaan lisävettä.

Maassa tapahtuvat kosteusmuutokset ovat pääasiassa hitaita. Muutosten ylädesiilin suurimmat arvot ovat noin 10% -yksikköä kahdessa viikossa. Suurimmat muutokset ovat hienoainespitoisilla mailla, koska ne sitovat itseensä paljon vettä ja voivat sitä myös luovuttaa. Nykysateilla karkeat maat pystyvät juoksuttamaan läpi kaiken tulevan sateen.

[1] Hänninen P., Venäläinen A., Sutinen R. Maaperän jäätyminen ja vesipitoisuusmuutokset talvikautena. Vesitalous 1/2005, s. 28-32.

Kahden sarasuon metanogeeniyhteisö kuivana ja sateisena vuonna

Methanogen communities of two fens in a rainy and a dry year

Mirkka Kotiaho[1], Mirva Leppälä[2], Päivi Merilä[3], Heli Juottonen[4], Hannu Fritze[5], Kim Yrjälä[4], Jukka Laine[3] ja Eeva-Stiina Tuittila[1]

[1] Metsäekologian laitos, Helsingin yliopisto
[2] Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen toimintayksikkö
[3] Metsäntutkimuslaitos, Parkanon toimintayksikkö
[4] Bio- ja ympäristötieteiden laitos, Helsingin yliopisto
[5] Metsäntutkimuslaitos, Vantaan toimintayksikkö

Johdanto

Pohjois-Pohjanmaan maankohoamisrannikolla on koskemattomien soiden ikäjatkumo, jolta on vuosien ajan tutkittu kasvillisuutta ja metaaniemissioita. Ikäjatkumon muodostavat viisi suota (1-5, ikäjärjestyksessä) jotka kattavat n. 180-2500 vuoden ajanjakson maankohoamisesta. Kuivana vuonna nuoret suot 1-3 olivat pieniä metaanin nieluja ja märkänä vuonna metaanin lähteitä, kun taas vanhemmat suot 4 ja 5 toimivat jatkuvasti metaanin lähteinä ilmakehään [1].

Tässä työssä tutkimme molekyylibiologisin menetelmin metaania tuottavan metanogeeniyhteisöjen rakennetta yhtenä kuivana ja märkänä vuonna keskittyen metaaniemissioltaan kahteen erilaisesti käyttäytyvään sarasuohon (ikäluokka 3 ja 4).

Aineisto ja menetelmät

Näytteet haettiin syksyllä 2004 (sateinen) ja 2006 (kuiva) Siikajoen kunnassa sijaitsevilta soilta (64° 45´N, 24° 42´N). Otimme kultakin suolta kolme näytettä tilavuustarkalla laatikkokairalla. Saadut turveprofiilit jaoimme osanäytteisiin syvyyden mukaan, 10 cm:n välein. Osanäytteistä mittasimme niiden *in vitro* metaanintuottopotentiaalin kaasukromatografisesti. Kustakin profiilista valitsimme aktiivisimman kerroksen metanogeeniyhteisöjen määritykseen. Yhteisöjen rakenne määritettiin monistamalla turvenäytteistä PCR:llä metanogeeni-spesifisen *mcrA*-geenin DNA-sekvenssiä ja RT-PCR:llä saman geenisekvenssin mRNA:ta. PCR tuotteet pilkottiin *Msp*I-restriktioentsyymillä ja saadut 5'-fragmentit eroteltiin T-RFLP-elektroforeesissa. Menetelmällä saadaan fragmenttien suhteellisista osuuksista koostuva yhteisökuvaus. Vertasimme RNA:n kautta kuvatun näytteenottohetkellä aktiivisen ja DNA:n kautta kuvatun kokonaisyhteisön samankaltaisuutta Bray-Curtis-indeksillä.

Tulokset ja tarkastelu

Sateisena vuonna 2004 molemmille soilla metaanintuottopotentiaali oli korkein lähellä maan pintaa, ensimmäisen 10 cm:n kerroksessa. Tuolloin vedenpinta oli syvimmillään 6 cm maan pinnan alapuolella ja korkeimmillaan 20 cm sen yläpuolella. Kuivana vuonna 2006 suolla 3 aktiivisin metaanintuottopotentiaali oli edelleen suon pinnassa, 0-20 cm:n syvyydessä, kun taas suolla 4 aktiivisin tuotto tavattiin alempaa, 10 - 70 cm syvyydessä. Molemmilla soilla vedenpinta oli vuonna 2006 alempana kuin vuonna 2004; suolla 3 26 - 43 cm ja suolla 4 23 - 43 cm turpeen pinnan alapuolella. Potentiaalisesti maksimaalisen metaanituoton vetäytyminen syvemmälle, vedenpinnan alapuolelle voisi selittää aiemmin havaitun tasaisen, sateisuudesta riippumattoman metaaniemission suolta 4.

Sateisena vuonna 2004 suon 3 aktiivisimpien kerrosten metaanintuottopotentiaali oli 30,6 (±15,7 SEM) µg dm^{-3} h^{-1} ja vastaavasti suon 4 68,2 (±22,7) µg dm^{-3} h^{-1}. Kuivana vuonna 2006 suot erosivat metaanintuottopotentiaaliltaan niin että nuoremmalla suolla se oli 88,7 (±11,0) µg dm^{-3} h^{-1} ja vanhemmalla suolla 4 21,5 (±15,1) µg dm^{-3} h^{-1}. Korkeampi tuottopotentiaali suolta, josta aiemmin kuivana vuonna ei mitattu emissiota [1] saattaa kertoa kertyneestä substraatista. Kuivissa ja hapekkaassa, metaanintuotolle epäsuotuisissa oloissa metanogeenien tarvitsema substraatti on voinut jäädä käyttämättä ja on nyt tarjolla otollisissa oloissa laboratoriossa. Vastaavan ilmiön on havainnut Juottonen ym.[2], jotka laboratorio-oloissa mittasivat talvella kerätyistä turvenäytteistä suurimman metaanintuottopotentiaalin, vuodenaikana jolloin emissiot suolta ovat alimmillaan [3].

Sateisena vuonna 2004, soiden vedenpinnan ollessa suotuisa metaanin tuotolle, molempien soiden sekä aktiivinen yhteisö että kokonaisyhteisö muistuttivat toisiaan läheisesti, Bray-Curtis samankaltaisuusindeksi DNAn ja RNAn analyysien pohjalta kuvattujen yhteisöjen välillä oli noin 0,8. Sen sijaan kuivana vuonna suot erosivat toisistaan tässä suhteessa: nuoremmalla suolla 3 DNA- ja RNA-yhteisöt erosivat toisistaan vähemmän kuin vanhemmalla suolla 4. Tämä voisi viitata metanogeeniyhteisöjen toiminnallisen diversiteetin muutokseen suon kehityksen aikana. Tämä hypoteesi tulisi kuitenkin testata edustavammalla otannalla.

Kirjallisuus

[1] Leppälä, M., Oksanen, J. and Tuittila, E.S. Methane flux dymanics in relation to vegetation change during the mire succession. Käsikirjoitus.

[2] Juottonen, H., Tuittila, E.-S., Juutinen, S., Fritze, H., Yrjälä, K. 2008. Seasonality of rDNA- and rRNA-derived archaeal communities and methanogenic potential in a boreal mire. *The ISME Journal* 2: 1157-1168.

[3] Rinne, J., Riutta, T., Pihlatie, M., Haapanala, S., Tuovinen, J.P., Tuittila E.-S., and Vesala, T. 2007. Annual cycle of methane emission from a boreal fen measured by the eddy covariance technique. *Tellus B* 59: 449-457.

Metsämaan vesitase, maaperän hajotustoiminta, ja näiden vaikutus puuston kasvuun muuttuvissa ilmasto-olosuhteissa

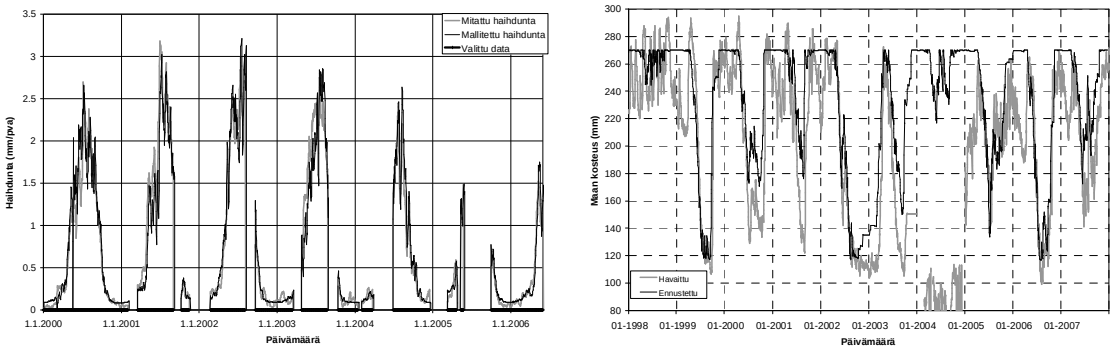
Soil moisture content and decomposition rate under changing climate, and their effect on tree growth

Tapio Linkosalo[1], Annikki Mäkelä[2], Anu Kantola[1] ja Raisa Mäkipää[1]

[1]Metsäntutkimuslaitos, Vantaan toimintayksikkö. Puh. 010 2111.
Sähköpostit: tapio.linkosalo@metla.fi, anu.kantola@metla.fi, raisa.makipaa@metla.fi
[2]Helsingin yliopisto, Metsäekologian laitos. p. 09 191 58108.
Sähköposti: annikki.makela@helsinki.fi

Ilmaston muuttuessa on vuosittaisen keskilämpötilan ennustettu kasvavan ja sateiden vuosittaisen jakauman muuttuvan siten, että kasvukauden aikaiset kuivuusjaksot ovat entistä todennäköisempiä. Ilmaston lämpenemisen ja hiilidioksidipitoisuuden nousun on ennustettu lisäävän fotosynteesituotosta, ja lämpenemisen lisäksi kiihdyttävän maaperän hajotustoimintaa, mikä nopeuttaa ravinnekiertoa ja myös lisää puuston kasvua. Toisaalta useammin esiintyvät kuivat jaksot voivat sekä suoraan rajoittaa kasvillisuuden kasvua, että hidastaa hajotusta. Puiden fysiologian, metsämaan vesitaseen ja maaperän hajotustoiminnan mutkikkaiden vuorovaikutusten vuoksi ilmastonmuutoksen kokonaisvaikutusta boreaalisten ekosysteemin toimintaan on vaikea arvioida, ja vaikutusten ennustamiseksi tarvitaankin kokonaismalleja, joissa vesitasetta, maaperän toimintaa ja puuston kehitystä kuvaavat mallit toimivat yhdessä.

Tässä tutkimuksessa yhdistämme maan vesitasetta kuvaavan mallin, prosessipohjaisiin puuston kasvumalliin ja maaperän hajotusmalliin. Vesitasemalli perustuu yksinkertaiseen "open bucket" -tyyppiseen periaatteeseen[1]. Sen mukaan sadanta ja lumen sulaminen täyttävät maan vesivarantoa, kun taas haihdunta ja ylivalunta tyhjentävät sitä. Tutkimuksen alkuvaiheessa kuvaamme puuston vaikutusta vesitaseeseen yksinkertaisella vakiona pysyvään lehtialaan perustuvalla haihduntamallilla. Sovitamme mallin ns. eddy-kovarianssi -menetelmällä tehtyihin haihduntamittauksiin, jotka ovat peräisin kuudelta mittausasemalta eri puolilta Skandinaviaa. Näiden mittausten avulla estimoimme haihduntamallin parametrien arvot sekä mallin herkkyyden eri parametrien arvoille. Toistaiseksi olemme sovittaneet mallin Hyytiälän metsäaseman SMEAR II mittausasemalta vuosina 1998 - 2006 mitattuun dataan. Tulosten perusteella yksinkertainenkin haihduntamalli toimii varsin hyvin (kuva 1 *a* ja *b*).



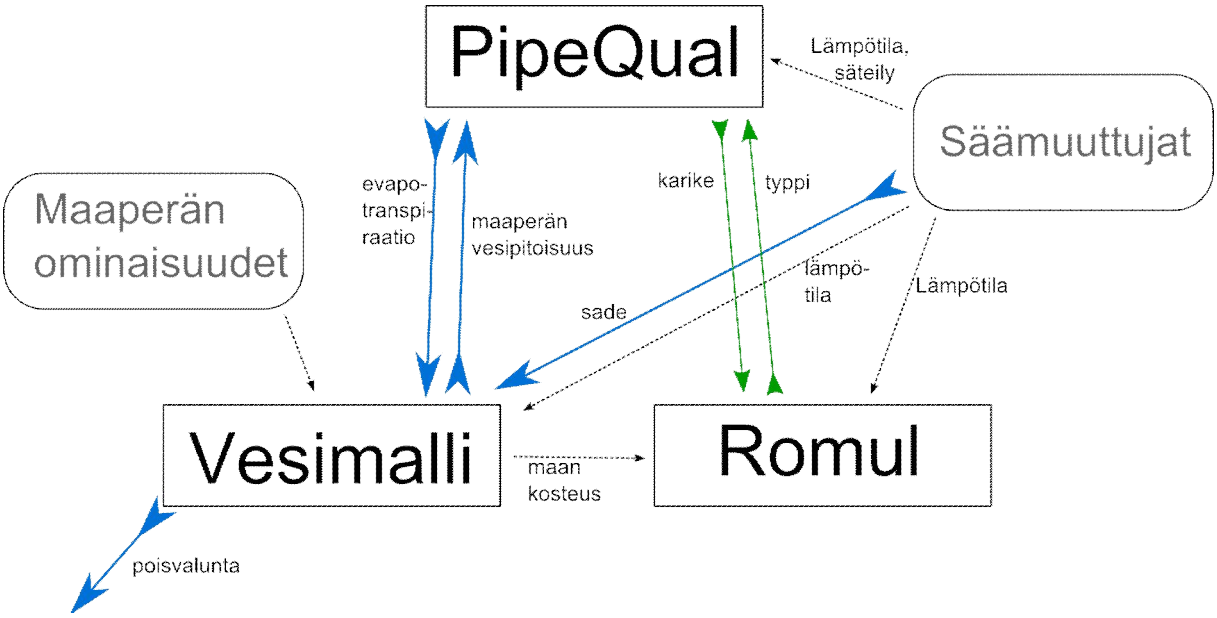
*Kuva 1a (*vasemmalla*) mitattu ja mallitettu haihdunta SMEAR II -asemalta. 1b (*oikealla*) mitattu ja mallitettu maan vesitase SMEAR II -asemalta.*

Tutkimuksen seuraavassa vaiheessa liitämme vesitasemalliin PipeQual- kasvumallin ja ROMUL- hajotusmallin. PipeQual[2] -malli kuvaa puun rakennetta modulaarisesti oksatasolta koko metsikön tasolle: metsikkö koostuu kymmenestä erikokoisesta puuluokasta, joista jokaista edustaa kokoluokan keskipuu. Kussakin kokoluokassa puu jakautuu lehvästöön, oksiin, hienojuuriin, kuljetusjuuriin ja runkoon. Yksittäisen puun fotosynteesituotos riippuu

muiden puiden varjostuksesta sekä itsevarjostuksesta, ja se lasketaan päivittäisellä tasolla. Puun kasvu lasketaan vuosittain fotosynteesissä yhteytetyn hiilen määrästä, kun siitä on ensin kasvu- ja ylläpitohengityksen osuus. Nettokasvun allokaatio puun eri rakenteisiin lasketaan puun rakennesuhteiden perusteella, kun puulajikohtainen latvusdynamiikka tunnetaan.

ROMUL[3] on karikkeen hajotusmalli, joka kuvaa maan orgaanisen aineen hajotuksen peräkkäisiä vaiheita eri alkuperää olevissa lajitteissa, sekä hajotukseen liittyvää typen dynamiikka. Mallin kuvaaman hajotuksen tuloksena saadaan karikkeen hajotuksessa kasveille vapautuvan typen määrä, samoin kuin ilmakehään vapautuvan hiilidioksidin määrä.

Kokonaismallin kolme osamallia vuorovaikuttavat keskenään erilaisten ainevirtojen ja ohjausparametrien avulla. Eri mallien välillä vuorovaikutus tapahtuu erilaisilla aika-askelilla. Metsikkömallin kuvaama metsän rakenne vaikuttaa päivittäiseen haihduntaan, kun taas vesitase vaikuttaa fotosynteesiin, myöskin päivittäisellä tasolla. Metsikkömallin estimoima karikkeen määrä on vuositasolla hajotusmallin syöte; vastavuoroisesti hajotuksessa vapautuva typpi vaikuttaa metsikkömallissa fotosynteesituotoksen määrään ja allokaatioon. Ilmastonmuutosta simuloivat ympäristötekijät ohjaavat kaikkien kolmen osamallin toimintaa (kuva 2).



Kuva 2. Kokonaismallin vuorovaikutukset

Lopullisella mallilla simuloimme puuston kasvun ja metsänkäsittelyjen vaikutusta metsämaan vesitaseeseen ja hiilen allokaatioon nykyisessä ja muuttuneessa ilmastossa. Ilmastonmuutosta simuloimme IPCC:n skenaarion A1B mukaan. Tuloksissa arvioimme ilmastonmuutoksen vaikutusta maan vesitalouteen, karikkeen hajotusnopeuteen ja sitä kautta ravinnekiertoon erilaisilla metsätyypeillä koko boreaalisessa vyöhykkeessä. Tuloksia voidaan soveltaa ilmastonmuutokseen sopeutumisen suunnittelussa.

[1] Duursma, R.A., Kolari, P., Peramaki, M., Nikinmaa, E., Hari, P., Delzon, S., Loustau, D., Ilvesniemi, H., Pumpanen, J. and Mäkelä, A. 2008. Predicting the decline in daily maximum transpiration rate of two pine stands during drought based on constant minimum leaf water potential and plant hydraulic conductance. *Tree Physiology* 28(2):265-276.

[2] Mäkelä, A. and Mäkinen, H. 2003. Generating 3D sawlogs with a process-based growth model. *Forest Ecology And Management* 184(1-3):337-354.

[3] Komarov, A., Chertov, O., Zudin, S., Nadporozhskaya, M., Mikhailov, A., Bykhovets, S., Zudina, E. and Zubkova, E. 2003. EFIMOD 2 - A model of growth and elements cycling in boreal forest ecosystems. *Ecological Modelling* 170 (2-3): 373-392.

Hiilidioksiditaseet erityyppisillä boreaalisilla viljelysmailla

CO_2 balances on different boreal arable soils

Annalea Lohila[1], Kristiina Regina[2], Mika Aurela[1], Juha-Pekka Tuovinen[1] ja Tuomas Laurila[1]

[1] Ilmatieteen laitos, Ilmastonmuutostutkimus, PL 503, 00101 Helsinki
[2] Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, 31600 Jokioinen

Johdanto

Maatalousmaat vaikuttavat merkittävästi kasvihuonekaasujen (KHK) kiertoon toimimalla niiden lähteinä tai nieluina. Peltomaa toimii yleisimmin metaanin nieluna [1], mutta vielä voimakkaan kasvihuonekaasun, typpioksiduulin, lähteenä [2]. Hiilidioksidin kiertoa peltomailla on Suomen oloissa tutkittu melko vähän, ja erityisesti kivennäismaiden kaasutaseet tunnetaan huonosti. YK:n ilmastosopimuksen päästöraportointia varten on tarpeen tuntea vuotuinen peltomaiden hiilitase. Viljelysmaiden hiilitasetta voidaan mitata joko tekemällä pitkäaikaisia havaintoja maaperän hiilipitoisuuden muutoksista tai mittaamalla suoraan maatalousekosysteemin CO_2-tasetta (*net ecosystem exchange, NEE*) kaasunvaihtomittauksin. Näitä mittauksia voidaan tehdä käyttäen kammio- tai mikrometeorologisia menetelmiä. Kammiomenetelmällä mitataan pientä, tyypillisesti alle neliömetrin alaa, kun mikrometeorologinen menetelmä on alueellisesti integroiva, tuottaen ekosysteemitason CO_2-taseita. Tässä työssä mitattiin kammiomenetelmällä peltomaan vuotuista CO_2-vaihtoa niin kivennäis- kuin turvemaalla. Tuloksista laskettiin vastemallien avulla vuositaseet.

Aineisto ja menetelmät

Tutkimuspaikat sijaitsivat Jokioisissa kolmella erillisellä koealalla: savi-, hieta- ja turvepelloilla, joilla mittauksia tehtiin ohralla ja nurmella sekä kemiallisella kesannolla. Kasvukaudella CO_2-vaihtoa mitattiin suljetulla dynaamisella kammiolla (korkeus 80 cm) kahdelta rinnakkaiselta kaulukselta (ala 60 × 60 cm) kullakin koealalla. Kammio oli läpinäkyvää pleksilasia, mutta erilaisten valotasojen luomiseksi kammiota varjostettiin eripaksuisilla ja –värisillä hyönteisverkoilla. Kokonaishengityksen määrittämiseksi kammio peitettiin valoa läpäisemättömällä peitteellä. Mittauksia tehtiin kesällä viikoittain, muina aikoina 2-4 viikon välein. Yksittäisen mittauksen kesto oli 30 s – 2 min, ja edestä sekä yhdeltä sivulta avautuva kammio tuuletettiin joka välissä CO_2-pitoisuuden ja lämpötilan pitämiseksi mahdollisimman samanlaisena ulkoilman kanssa. CO_2-pitoisuutta mitattiin kerran sekunnissa Li-6262 CO_2/H_2O-analysaattorilla (Licor, Inc.). Samalla seurattiin kammion lämpötilaa, kosteutta, fotosynteettisesti aktiivisen säteilyn määrää sekä maan lämpötilaa. Talvella CO_2-päästöä mitattiin 20 cm korkealla alumiinikammiolla josta imettiin 4 kaasunäytettä ampulliin 30 minuutin sulkeuma-aikana. CO_2-pitoisuus määritettiin laboratoriossa kaasukromatografisesti. Molemmilla menetelmillä hetkellinen CO_2-vuo laskettiin pitoisuuden muutoksesta. Kesannon CO_2-päästö mitattiin PP-Systemsin CO_2-analysaattorilla (SRC-1, EGM-2) [3].

Hetkellisistä kaasunvaihdon mittauksista laskettiin vuositase käyttäen seuraavaa yhtälöä:

$$NEE = GPP + R_{tot} = PI \times \left(\frac{\alpha \times PPFD \times GPP_{\max}}{\alpha \times PPFD + GPP_{\max}} \right) + R_{tot} \qquad (1)$$

missä GPP kuvaa bruttofotosynteesiä ja R_{tot} maaperän ja kasvien kokonaishengitystä, PI (*phytomass index*) kuvaa kasvien yhteytyspotentiaalia lehtialan tapaan, mutta toimien dynaamisemmin. Se on laskettu kirkkaassa valossa ja pimeässä tehtyjen päivittäisten kaasunvaihtomittausten erotuksena ja skaalattu saamaan arvoja välillä 0-1 kasvukauden

aikana. Muista parametreista α on näkyvä kvanttisaanto (mg CO_2 m^{-2} s^{-1}), PPFD on fotosynteettisesti aktiivinen säteily (µmol m^{-2} s^{-1}) ja GPP_{max} on GPP:n maksimiarvo jota lähestytään PPFD:n lähestyessä ääretöntä. R_{tot} määritettiin erikseen ja jaettiin vielä kasvi- ja maahengitykseen perustuen Arrhenius-tyyppiseen lämpövastemalliin jossa muuttujina käytettiin maan ja ilman lämpötilaa sekä PI:tä [4,5].

Tulokset ja tarkastelu

Ohrapellolla kaikki tutkitut koealat vapauttivat CO_2:a vuoden yli. Kun hiedalla ja savella vuotuinen CO_2-tase oli lähellä nollaa, vapautui turvemaalta hiiltä yli 400 g m^{-2} (Taulukko 1). Kaikki nurmea kasvavat koealat sitoivat CO_2:a, turve vähiten ja hieta eniten. Suurimmat määrät CO_2:a vapautui kasvittomalta kesannolta, turvemaalta noin kolme kertaa niin paljon kuin kivennäismailta. Talviaikaiset päästöt lokakuun ja maaliskuun välisenä aikana olivat kaikissa tapauksissa selvästi suurimmat turvepellolla. Hiilitase saadaan, kun CO_2-taseen lisäksi huomioidaan pellolle tuodun ja sieltä pois viedyn hiilen määrä, tässä tapauksessa vain jälkimmäinen eli sadon suuruus. Ohralla pellolta pois viedyn sadon määrä oli noin 380 g C m^{-2} ja nurmella noin 450 g C m^{-2}. Näin ollen, kun mitattu CO_2-tase ja poisviedyn biomassan määrä lasketaan yhteen, myös nurmea kasvavat koealat olivat kokonaistarkastelussa hiilen lähteitä, nurmea kasvava hietamaa tosin vain niukasti. Tämä tarkoittaa todennäköisesti sitä, että maaperän hiilivarasto pieneni mittausjakson aikana kaikilla, myös nurmea kasvavilla koealoilla.

	Turve	Savi	Hieta
Ohra	+430	+40	+10
Nurmi	-50	-125	-380
Kesanto[1]	+2100	+610	+870

[1] Tulokset Lohila, 2008 [3]

Taulukko 1. Pellon vuotuinen hiilidioksiditase (g C m^{-2} a^{-1}) eri maa- ja kasvilajeilla Jokioisilla 1.4.2001-31.3.2002. Kasvukauden taseet on laskettu vastemallien avulla hetkellisistä kammiomittauksista, talviajan päästö on laskettu kammiomittauksien kuukausikeskiarvona.

Kirjallisuus

[1] Regina K., Pihlatie M., Esala M. ja Alakukku L. 2007. Methane fluxes on boreal arable soils. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 119, 346-352.

[2] Regina K., Syväsalo E., Hannukkala A. ja Esala M. 2004. Fluxes of N_2O from farmed peat soils in Finland. *European Journal of Soil Science*, 55, 591–599.

[3] Lohila A. Carbon dioxide exchange on cultivated and afforested boreal peatlands. *Finnish Meteorological Institute Contributions* 73, Helsinki, Finland. 110 s.

[4] Lloyd J. ja Taylor J. A. 1994. On the temperature dependence of soil respiration. *Functional Ecology*, 8, 315–323.

[5] Lohila A., Aurela M., Regina K. ja Laurila T. 2003. Soil and total ecosystem respiration in agricultural fields: effect of soil and crop type. *Plant and Soil*, 251, 303-317

Biomass, carbon and nitrogen accumulation during mire primary succession – results from a mire chronosequence

Biomassan, hiilen ja typen kertyminen primaarisukkession aikana – tuloksia maankohoamisrannikon soistumisgradientilta

Päivi Merilä[1], Atte Korhola[2] and Eeva-Stiina Tuittila[3]

[1] Finnish Forest Research Institute, Parkano Research Unit, Kaironiementie 54, FIN-39700 Parkano, Finland , paivi.merila@metla.fi
[2] Helsinki University, Department of Biological and Environmental Sciences, P.O. Box 65, FIN-00014, University of Helsinki, Finland
[3] Helsinki University, Department of Forest Ecology, P.O. Box 27, FIN-00014 University of Helsinki, Finland

Introduction

There is an acute demand for knowledge on the accumulation rate of carbon in mires and its stability in the changing climate. In this study, we determined accumulation profiles and accumulation rates of organic matter (OM), C and N along a mire chronosequence to evaluate the predictability of accumulation pattern based on time since mire initiation.

Material and Methods

The sampling was carried out along a *ca.*10-km long chronosequence of mire ecosystems located in Siikajoki, on the land-uplift coast of Finland [1]. Along this primary succession transect the mire age increases from a few to approximately 3000 years (sites 0–6, n = 7). Each mire has a transect of 6–10 sample plots that covers moisture variation characteristic to each site. A peat or peat/soil profile from each sample plot within each site was sampled, cut into 10 cm slices, and determined for bulk density, loss on ignition and C and N concentration by means of LECO CHN analyzer.

Results and discussion

Based on linear regression models between the estimated site age and the accumulated amounts of OM, C, and N, their mean accumulation rates along the chronosequence were 35.7, 20.4, and 0.70 g m^{-2} yr^{-1}, respectively (Fig. 1 a–c). Between the sites mean accumulation rates varied 30.0–60.3 g m^{-2}, 14.8–34.1 g m^{-2}, and 0.76–3.5 g m^{-2} for OM, C and N, respectively.

Our estimate for the mean accumulation rate of C along the mire chronosequence, 20.4 g m^{-2} yr^{-1}, slightly exceeds the mean long-term apparent rate of C accumulation (17.8 g m^{-2} yr^{-1}) reported earlier for aapa-mire region [2]. Along our chronosequence the relationship between site age and the observed C stock, was not however, strictly linear (R^2 = 0.923), especially because of a clearly higher accumulation rate of C in a *ca.*1070 years old fen site (site 4) than in the other sites. Comparison of the C accumulation profiles beginning from the bottom of the peat layer in sites 4–6 revealed that, during the beginning of paludification, the C accumulation rate steadily increased in site 4 but stayed relatively stable in sites 5 and 6 (Fig. 2). The higher C accumulation rate in site 4 is likely due to a higher biomass production as a result of higher fertility, as indicated by the higher N content of the peat layer in site 4 in comparison to sites 5 and 6.

The highest accumulation rate of N was observed in the youngest site indicating N_2 fixation activity typical for sites in early stage of succession [3].

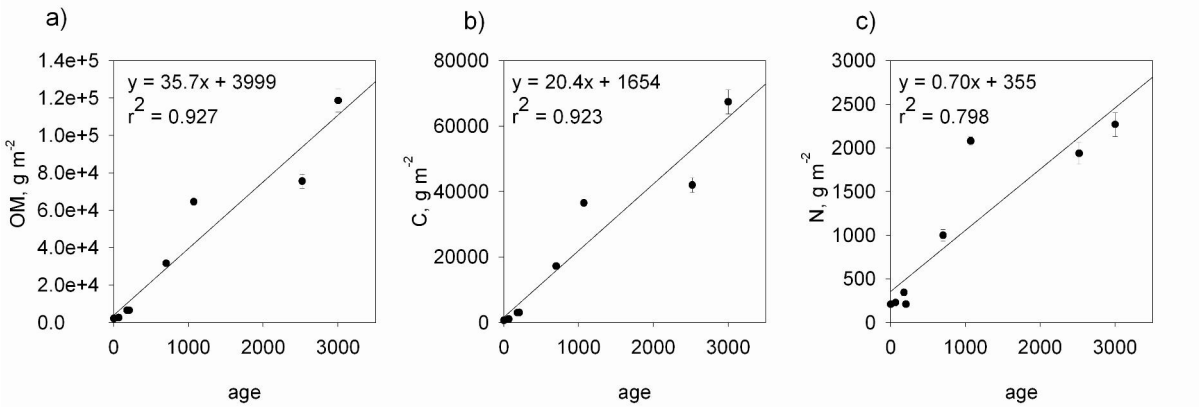


Figure 1 a–c. Relationship between terrestrial age of the site and amount (mean ± SE) of a) organic matter (OM), b) carbon (C), and c) nitrogen (N) along the mire chronosequence studied (n = 6–10 per site).

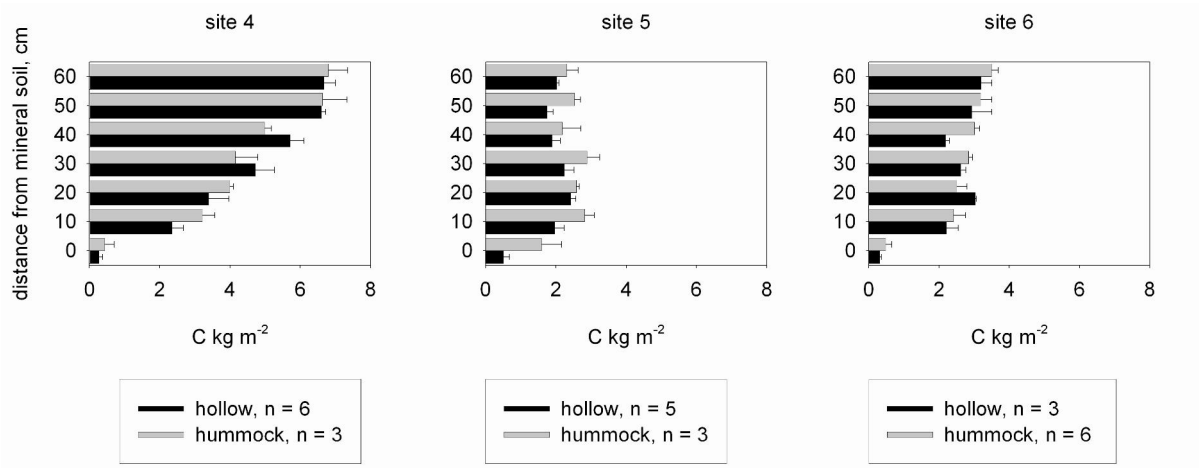


Figure 2. The first 60 cm portion of accumulation profiles of carbon (C) for the three oldest sites (sites 4, 5 and 6) of the mire chronosequence. The y axis begins from the mineral soil surface. Division of the profiles within each site is based on vegetation clustering obtained using TWINSPAN clustering and DCA ordination of the vegetation of the sample plots.

References

[1] Merilä, P., Galand, P.E., Fritze, H., Tuittila, E.-S., Kukko-oja, K., Laine, J. & Yrjälä, K. (2006). Methanogen communities along a primary succession transect of mire ecosystems. *FEMS Microbiology Ecology* 55, 221-229.

[2] Turunen, J., Tomppo, E., Tolonen, K. & Reinikainen, A. (2002). Estimating carbon accumulation rates of undrained mires in Finland – application to boreal and subarctic regions. *The Holocene* 12, 69–80.

[3] Chapin III, F.S., Walker, L.R., Fastie, C.L. & Sharman, L.C. (1994). Mechanisms of primary succession following deglaciation at Glacier Bay, Alaska. *Ecological Monographs* 64, 149-175.

Preliminary Results on the Effects of Drought on Growth and Polyamines of Scots pine seedlings

Alustavat tulokset kuivuuden vaikutuksista männyntaimien kasvuun ja polyamiineihin.

Riina Mäkelä[1], Jaana Vuosku[2], Hely Häggman[2], Markku Saarinen[1], Juha Heiskanen[3] and Tytti Sarjala[1]

[1]Metla, Parkano Research Unit, Kaironiementie 54, 39700 Parkano
[2]Department of Biology, University of Oulu, P.O. Box 3000, 90014 University of Oulu
[3]Metla, Suonenjoki Research Unit, Juntintie 154, 77600 Suonenjoki

Introduction

Frequency of diverging temperature and drought stresses in boreal forests has been proposed to increase in future due to climate change. For example in practical forestry, regeneration of drained peatland forests has faced problems due to drying of surface layers of peat mounds, in which germination of seeds and early growth phases of Scots pine seedlings are often subjected to severe drought stress. We are interested in the adaptation of Scots pine to the increasing frequency of drought episodes in future during the most vulnerable stages of development.

It is well-established that in plants, polyamines (PAs) are connected to various growth, developmental and stress related processes as well as cell death [1]. Polyamines are involved in many stress responses in boreal trees including nutrient deficiencies, cold temperature, ozone and pathogenic stress [2, 3]. During the last decade many genes involved in PA metabolism have been cloned and their expression profiles under several stress conditions and developmental stages have been analysed [2, 4, 5].

The aim of the study is to link the changes in PA metabolism on metabolite and gene expression levels to the changes in Scots pine seedling growth and carbon allocation within the plant under drought stress.

Material and Methods

Scots pine seedlings were subjected under drought stress by growing them two months in peat on three moisture levels. Samples from the seedlings (needle, stem, roots) were collected three times during the experiment. Dry mass of above- and below-ground parts of the seedlings, number of root tips and mycorrhizae, polyamine concentrations (with HPLC) and expression of PA-synthesis genes ADC and SPDS (real time RT-PCR, analyses are under progress) were measured.

Results and Discussion

Our preliminary results show that:

- Drought stress decreased the biomass of the seedlings and number of the root tips and the highest number of mycorrhizal tips was observed in the medium moisture level.
- The roots/shoot ratio on dry weight basis increased due to drought stress.
- Free PA levels changed, especially putrescine concentrations increased due to drought stress.

The preliminary results show that drought stress changed carbon allocation between roots and shoots. It is also noteworthy that mycorrhizal infection, which affects carbon allocation too, seemed to be inhibited both by extreme drought stress and the highest moisture treatment. Drought stress affected also endogenous levels of polyamines, which will be studied further in controlled sterile conditions.

Acknowledgements
This work is a part of Metla's MIL program and has been funded by the Academy of Finland (Project 121994 to TS).

References

[1] Yoda, H., Yamaguchi, Y. and Sano, H. 2003. Induction of Hypersensitive Cell Death by Hydrogen Peroxide Produced through Polyamine Degradation in Tobacco Plants. *Plant Physiology* 132: 1973–1981.
[2] Urano, K., Yoshiba, Y., Nanjo, T., Igarashi, Y., Seki, M., Sekiguchi, F., Yamaguchi-Shinozaki, K. and Shinozaki, K. 2003. Characterization of Arabidopsis genes involved in biosynthesis of polyamines in abiotic stress responses and developmental stages. *Plant, Cell and Environment* 26: 1917-1926.
[3] Sarjala, T**.,** Niemi, K. and Jokela, A. 2007. Polyamines in the responses of boreal trees to environmental stress and symbiotic ectomycorrhizal fungi. In Taulavuori, E. & Taulavuori, K. (eds.) *Physiology of Northern plants under changing environment*. Research Signpost, p. 241-254.
[4] Kuehn, G. and Phillips, G. 2005. Role of polyamines in apoptosis and other recent advances in plant polyamines. *Critical Reviews in Plant Sciences* 24:123-130.
[5] Alcázar, R., Garcia-Martinez, J.L., Cuevas, J.C., Tiburcio, A.F. and Altabella, T. 2006. Overexpression of ADC2 in Arabidopsis induces dwarfism and late-flowering through GA deficiency. *The Plant Journal* 43:425-436.

Roudan vaikutus kuusen juurten absorboivaan pinta-alaan

Absorbing root surface area of Norway spruce under different soil frost levels

Tapani Repo[1] ja Josef Urban[2]

[1] Metla, Joensuun yksikkö, PL 68, 80101 Joensuu; tapani.repo@metla.fi
[2] Mendel Univ. Agriculture and Forestry, Institute of Forest Ecology, Brno, Czech Rep.

Abstrakti

Maastokokeessa selvitettiin roudan vaikutusta 47-vuotiaiden kuusten (*Norway spruce* (L.) Karst.) potentiaaliseen absorboivaan juuripinta-alaan (PARSA). Kokeessa routakäsittelyt saatiin aikaan lumimanipulaatioin. Routakäsittelyjä oli kolmenlaisia: i) Kontrollikäsittelyssä lumen kertyminen ja sulaminen tapahtui luontaisesti (CTRL). ii) Lumi poistettiin talven aikana ja maanpinta jätettiin keväällä avoimeksi (OPEN). iii) Lumi poistettiin talven aikana ja keväällä maanpinta eristettiin, jotta roudan sulaminen hidastui (FROST). PARSA määritettiin maaimpedanssimenetelmän avulla kahden käsittelytalven jälkeen. PARSA oli korkein kontrollikäsittelyssä (n. 4.2 m^2), ja samaa luokkaa OPEN- ja FROST-käsittelyissä (n. 3.8 m^2). Tulosten perusteella alhainen maan lämpötila talvella näytti vaikuttavan hienojuuriin enemmän kuin roudan keväinen sulamisviive.

Johdanto

Routaa esiintyy vuosittain keskimäärin 50 % pohjoisen pallonpuoliskon maa-alasta, josta ikiroudan esiintymisalue kattaa n. 24 % [1]. Roudan voidaan olettaa vaikuttavan puiden kasvuun. On esitetty, että maksimi roudan syvyys olisi ilman tehollisen lämpösumman jälkeen toiseksi merkittävin puiden vuotuista kasvua selittävä tekijä [2]. Kokeellista tietoa roudan vaikutuksista puiden kasvuun ja erityisesti juuriin on kuitenkin niukasti [3,4]. Tavoitteena oli selvittää, kuinka routa vaikuttaa kuusien absorboivaan juuripinta-alaan.

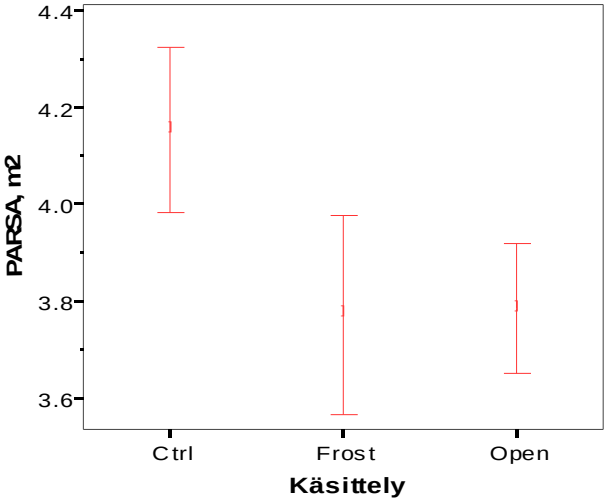
Materiaali ja menetelmät

Koe tehtiin Jaamankankaalla 10 km Joensuusta pohjoiseen sijaitsevassa 47-vuotiaassa kuusikossa vuosina 2005-2007. Metsikön puuston keskipituus oli 17 m, runkoluku 864 runkoa/ha, puuston tilavuus 211 m^3/ha ja pohjapinta-ala 25.4 m^2/ha. Maalaji oli koealueella hietamoreeni ja maannostyyppi rautapodsoli. Kokeessa oli 3 käsittelyä, joista kustakin oli 3 toistoa (kunkin koealan koko 12 x 12 m): i) Kontrollikäsittely (CTRL), jossa lumen kertyminen ja sulaminen tapahtui luontaisesti. ii) Aurattu käsittely (OPEN), jossa lumi poistettiin talven aikana ja maanpinta jätettiin keväällä avoimeksi. iii) Aurattu ja eristetty käsittely (FROST), jossa lumi poistettiin talven aikana ja keväällä maanpinta eristettiin roudan sulamisen hidastamiseksi. Käsittelyt toistettiin kahtena talvena 2005-2006 ja 2006-2007. FROST-käsittelyn koealoille asennettiin eristeet (15 cm kerros pehkua pressujen välissä) maalis-huhtikuun vaihteessa. Eristeet poistettiin heinäkuussa, sen jälkeen kun maan lämpötila oli lähtenyt nousemaan 0^oC yläpuolelle. Maan lämpötilaa ja kosteutta sekä ilman lämpötila tallennettiin 30 min välein.

Kahden käsittelytalven jälkeen elokuussa 2007 juurten PARSA-arvo määritettiin maaimpedanssimenetelmän avulla [5,6]. Menetelmä perustuu maa-juurisysteemin vastusmittaukseen. Oletuksena on, että juurenkärjet vastaavat pääosin juuriston kokonaisvastuksesta, koska niiden sähkövastuksen oletetaan olevan alhaisin. Vastuksen oletetaan olevan verrannollinen absorboivaan juuripinta-alaan.

Tulokset

Routakäsittely vaikutti juurten potentiaaliseen absorboivaan pinta-alaan. PARSA-arvo oli korkein kontrollikäsittelyn puissa (4.2 m^2) ja likimain samaa luokkaa auratun (OPEN) ja auratun +eristetyn (FROST) käsittelyn puissa (3.8 m^2).



Kuva 1. 49-vuotiaiden kuusten potentiaalinen absorboiva juuripinta-ala eri routakäsittelyissä. Hajonnat osoittavat keskivirheen.

Tulosten tarkastelu

Maan lämpötila oli talviaikana OPEN ja FROST käsittelyissä hyvin samankaltainen. Lämpötila laski humuskerroksessa alhaisimmillaan -17°C ja mineraalimaassa 15 cm syvyydessä -10°C. Sen sijaan maan sulamisvaiheessa keväällä CTRL ja OPEN käsittelyjen lämpötilat olivat lähellä toisiaan, vaikka maan kosteuspitoisuudet poikkesivatkin jonkin verran. FROST käsittelyssä maan lämpötila säilyi 0°C tuntumassa heinäkuun alkupuolelle saakka, mutta maan kosteus lisääntyi kevään ja alkukesän aikana roudan hitaan sulamisen seurauksena. Vertaamalla PARSA-arvoja, maan lämpötiloja ja kosteuksia, voidaan epäsuorasti päätellä, että talviaikainen maan minimilämpötila on hienojuurten kannalta haitallisempaa kuin roudan keväinen sulamisviive.

Kirjallisuus

[1] Zhang, T. 2005. Influence of the seasonal snow cover on the ground thermal regime: An overview. *Reviews of Geophysics* 43, RG4002: 1-23.

[2] Solantie, R. 2003. On definition of ecoclimatic zones in Finland. *Finnish Meteorological Institute, Reports* 2003/2: 1-44.

[3] Repo, T., Sutinen, S., Nöjd, P. and Mäkinen, H. 2007. Implications of delayed soil frost thawing on the physiology and growth of Norway spruce. *Scandinavian Journal of Forest Research* 22: 118-127.

[4] Repo, T., Lehto, T. and Finér, L. 2008. Delayed soil thawing affects root and shoot functioning and growth in Scots pine. *Tree Physiology* 28: 1583-1591.

[5] Aubrecht L., Stanek Z., Koller J. 2006. Electric measurement of the absorbing surfaces in whole tree roots by the earth impedance method: 1. Theory. *Tree Physiology* 26: 1105-1112.

[6] Čermák, J., Ulrich, R., Staněk, Z., Koller, J. and Aubrecht, L. 2006. Electrical measurement of tree root absorbing surfaces by the earth impedance method: 2. Verification based on allometric relationships and root severing experiments. *Tree Physiology* 26: 1113–1121.

Effects of water table and nitrogen load on methane emissions and methane oxidation in a littoral wetland of a boreal freshwater lake

Vedenpinnan ja typen vaikutukset boreaalisen järvenrantakosteikon metaanipäästöihin ja metaanin hapetukseen

Saari A.[1], Siljanen H.[1], Martikainen K.[1] and Martikainen P.J.[1]

[1]*University of Kuopio, Department of Environmental Science, P.O.Box 1627, FIN-70211 Kuopio, Finland, anne.saari@uku.fi*

Abstract

Freshwater lakes are generally net sources of CH_4[1]. As much as 70% of the total release of CH_4 from the lakes can originate from the littoral zone during the ice-free season[2]. By using specific inhibitors it has been shown that aerobic methanotrophic bacteria present in the surface sediment can consume as much as 90% of the produced CH_4 thus significantly limiting the flux of CH_4 to the atmosphere from sediments[3]. Eutrophication and subsequent anoxia as well as increased water level fluctuation in littoral zones due to the more extreme weather events associated to global climate change can alter CH_4 dynamics in freshwater lakes. The aim of our study was to assess with *in situ* manipulations how water level lowering and eutrophication (added nitrogen) influence CH_4 fluxes and CH_4 oxidation activity in a littoral wetland of a boreal freshwater lake. Our study belongs to the research consortium METHECO (Eurodiversity programme of European Science Foundation), where the activity and diversity of methane oxidising bacteria are studied in various European ecosystems.

Lake Kevätön is a small and shallow (surface area of 4 km^2 and mean depth of 2.3 m) hyper-eutrophic lake in east-central Finland. Previous flux measurements in open-water[1] and in the littoral areas[2] of Lake Kevätön have shown high CH_4 emissions due to intensive ebullition. There is a gradient in the littoral zone in respect of moisture, vegetation characteristics and CH_4 emissions. The dominant species in the wettest area with the highest CH_4 emissions are *Potentilla palustris*, *Calla palustris* and *Carex aquatilis*, while the driest area is dominated by *Calamagrostis canescens*.

Effects of water table lowering and experimental nitrogen load on CH_4 fluxes and CH_4 oxidation activity were studied in summer 2007. Methane fluxes were measured with a static chamber technique[2]. Sediment samples to study the potential CH_4 oxidation activity were taken from the depths of 0-2 cm, 2-10cm, 10-20 cm, 20-30 cm and 30-40 cm. Methane oxidation was studied in 550-ml flasks with sediment slurries (15 ml sediment and 50 ml milliQ-water) and initial headspace CH_4 concentration of 0.1%. The slurries were incubated (for max. 2 weeks) on a rotary shaker (175 rpm) at 15ºC. Methane fluxes and CH_4 oxidation activity were studied before, during and after the manipulations.

For water table manipulation experiment, a ditch (depth was about 60 cm) was digged around (5 m x 7 m) three sampling plots of 1.2 m x 1.2 m. There were also three control plots with similar size and vegetation (*Calamagrostis canescens*). The water level in the manipulated plots was kept below that in the controls by pumping water from the ditches. There was a floating switch connected to the pump and when the water level exceeded the desired level, the pump started to run automatically. The water table manipulation lasted for seven weeks (from 26th June to 14th August).

In nitrogen manipulation experiment three sampling plots (1.2 m x 1.2 m) in the area growing sedges were irrigated four times (from 4th July to 9th August) with ammonium nitrate solution giving 10 g N m^{-2} for the total additional nitrogen load during the growing season. Three control plots were irrigated with equivalent amount of distilled water. The amount of

added ammonium nitrate solution or water did not exceed 10% of the 30y-average rainfall in the area during the growing season.

Summer 2007 (1st Jun - 30th Sept) was slightly warmer (average air temperature 14.4ºC) and wetter (rainfall 307 mm) than the 30 y-averages in the area (average air temperature 13.9ºC, rainfall 281 mm). The study plots for the nitrogen manipulation were closer to the shore line (7-10 m) than those for the water table manipulation experiment (11-14 m from the shoreline). Thus the control plots for the nitrogen manipulation experiment had higher water table (0-15 cm below the soil surface) and CH_4 emissions (0.42-12.05 mg CH_4 m^{-1} h^{-1}) than the control plots for the water level manipulation experiment (water table 9-21 cm below the soil surface, -0.09 - 5.25 mg CH_4 m^{-1} h^{-1}). In both areas, CH_4 oxidation was most active in the organic surface sediment layer of 0-10 cm and the activity decreased with depth.

The area inside the ditches had significantly ($p<0.01$) lower water table and slightly ($p=0.052$) lower CH_4 emissions than the control area during the treatment. However, the water table manipulation did not have any significant effects on the potential CH_4 oxidation activities. N addition did not affect the CH_4 emissions or the potential CH_4 oxidation rates.

Our results suggest, that water table is an important factor in regulating CH_4 fluxes in the littoral wetland. However CH_4 oxidation of littoral wetland is quite tolerant against changing water table and availability of nitrogen.

References

[1] Huttunen, J.T., Alm, J., Liikanen, A., Juutinen S., Larmola, T., Hammar, T., Silvola, J. and Martikainen P.J. 2003. Fluxes of methane, carbon dioxide and nitrous oxide in boreal lakes and potential anthropogenic effects on the aquatic greenhouse gas emissions. Chemosphere 52, 609-621.

[2] Juutinen, S., Alm, J., Larmola, T., Huttunen, J.T., Morero, M., Martikainen, P.J. and Silvola, J. 2003. Major implication of the littoral zone for methane release from boreal lakes. Global Biogeochemical Cycles 17 (4), 1117, doi:10.1029/2003GB002105.

[3] Oremland, R.S. and Culbertson, C.W. 1992. Importance of methane-oxidizing bacteria in the methane budget as revealed by the use of a spesific inhibitor. Nature 356, 421-423.

Maaperän hajotusprosesseissa vapautuvan DOC:n laadun merkitys metsänkäsittelyalueen N_2O-dynamiikkaan

The significance of DOC quality released in soil decomposition for N_2O dynamics of a clear-cut area

Päivi Saari[1], Sanna Saarnio[2], Jussi V.K. Kukkonen[2], Jarkko Akkanen[2] ja Jukka Alm[1]

[1]Metsäntutkimuslaitos, Joensuun toimintayksikkö, Yliopistokatu 6, PL 68, 80101 Joensuu
[2]Joensuun yliopisto, Biotieteiden tiedekunta, PL 111, 80101 Joensuu

Johdanto

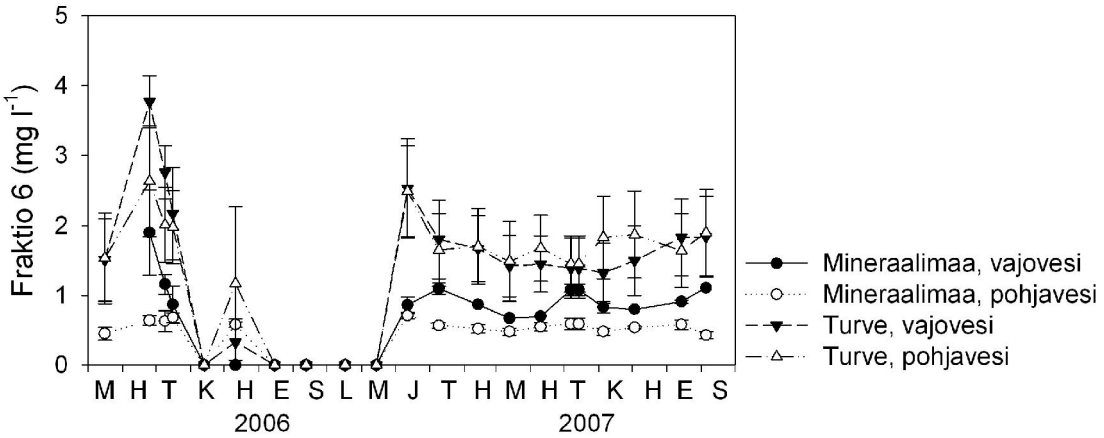
Maaperän fysikaaliset olosuhteet muuttuvat metsänhakkuun ja sitä seuraavien maanmuokkaustoimenpiteiden seurauksena puuston veden ja ravinteidenoton päättyessä. Muokkauksen seurauksena maaperä kuohkeutuu, jolloin happea on enemmän saatavilla, vedenpinnantaso saattaa muuttua ja pintakasvillisuuden kuollessa ja hajotessa vapautuu ravinteita. Muutokset mikrobilajistossa ja -toiminnassa vaikuttavat maaperän hiilen ja typen kiertoihin. Metsänkäsittelytoimet lisäävät epäorgaanisen typen ja liukoisen orgaanisen hiilen (DOC) huuhtoutumista vesistöihin (esim. 1, 2). Typpeä vapautuu ilmakehään myös kaasumaisessa muodossa dityppioksidina (N_2O) nitrifikaatio- ja denitrifikaatioprosessien sivutuotteena. Tässä työssä tarkasteltiin maaveden liukoisten hiiliyhdisteiden laadun ja dityppioksidin vapautumiseen liittyvien prosessien suhdetta.

Aineisto ja menetelmät

Koealueena oli talvella 2005 avohakattu ja keväällä muokattu alue, jossa oli sekä kivennäismaata että suometsää. Lumettomana aikana N_2O-virtoja mitattiin suljetulla kammiomenetelmällä. Talvisin kaasukonsentraatiot määritettiin lumikerroksen ylä- ja alapuolelta. Kaasunäytteet analysoitiin kaasukromatografilla. Laskeutusaltaasta, valuma-alueelta tulevasta purosta ja kokoomaojasta sekä vajo- ja pohjavesiputkista otetut vesinäytteet suodatettiin 0.45 µm suodattimen läpi. Vesinäytteistä määritettiin DOC-konsentraatio sekä nestekromatografilla molekyylikokofraktiot ja osasta näytteistä biologinen hapenkulutus (BOD).

Tulokset ja tarkastelu

N_2O-virrat olivat samankaltaisia niin hakkuuaukion mineraalimaaosalta (podsoli) kuin turvepeitteiseltä alueelta. Vuosi hakkuun ja maanmuokkauksen jälkeen molemmilla maatyypeillä mitattiin N_2O:n kulutusta, mutta kaksi vuotta metsänkäsittelytoimista N_2O:n vapautumista ilmakehään. N_2O:n kulutus oli alhaisempaa turvemaalla kuin mineraalimaalla, mutta N_2O-päästöt olivat kaksi vuotta metsänkäsittelytoimien jälkeen korkeampia turvepeitteisillä alueilla kuin mineraalimaalla. Vuosi metsänkäsittelytoimien jälkeen mikrobeille BOD perusteella helpoiten saatavin pienimolekyylinen DOC-fraktio kului lähes loppuun ja kaksi vuotta metsänkäsittelytoimista kohosi ja pysyi saavutetulla tasolla (kuva 1).



Kuva 1. DOC:n pienimolekyylisen fraktion keskiarvot ja keskiarvonkeskivirheet kuukausittain vuosina 2006 ja 2007 mineraali- ja turvemaan vajo- sekä pohjavedessä.

N_2O-dynamiikka vastasi aiemmassa tutkimuksessa havaittua hakkuutähteiden typpipitoisuuden vaihtelua (3). Teoriassa muutos nollavirrasta N_2O:n kulutukseksi ilmakehästä voisi heijastaa mikrobiyhteisön muuttumista. Talvista hakkuuta ja kevään maanmuokkausta seuranneena kesänä liukoista typpeä hapettava ja pelkistävä lajisto saattaisi taantua, mutta palautua jo vuoden kuluessa metsänkäsittelytoimista. N_2O:n kulutus kertoisi hakkuutähteiden ja kuolleen kasvillisuuden hajottajien biomassan kasvusta. Kun mikrobeille helpoiten saatavilla olevat labiilit hiiliyhdisteet vähenivät hakkuutähteistä ensimmäisen vuoden kuluessa, hajoava mikrobibiomassa saattaisi tarjota typen lähteen seuraavalle hajottajamikrobipopulaatiolle. Tällöin nitrifikaation ja denitrifikaation seurauksena osa typestä vapautui N_2O:na ilmakehään kaksi vuotta hakkuusta ja maanmuokkauksesta.

Hakkuuaukion alapuolisen laskeutusaltaan kaasu- ja vesinäytetulokset tukevat DOC:n eri kokofraktioiden merkitystä N_2O-dynamiikalle. Jatkossa maaperästä vapautuvan DOC:n roolia typen kierrolle tulisi tutkia edelleen sekä terrestrisessä että akvaattisessa ympäristössä.

Kirjallisuus

[1] Nieminen, M. 1998. Changes in nitrogen cycling following the clearcutting of drained peatland forests in southern Finland. *Boreal Environment Research* 3: 9-21.

[2] Piirainen, S., Finér, L., Mannerkoski, H. and Starr, M. 2007. Carbon, nitrogen and phosphorus leaching after site preparation at a boreal forest clear-cut area. *Forest Ecology and Management* 243: 10-18.

[3] Palviainen, M., Finér, L., Kurka, A.-M., Mannerkoski, H., Piirainen, S. and Starr, M. 2004. Decomposition and nutrient release from logging residues after clear-cutting of mixed boreal forest. *Plant and Soil* 263: 53-67.

Ilmastonmuutoksen vaikutus typen huuhtoutumiseen savimaasta

The effect of climate change on nitrogen leaching from clay soil

Tapio Salo[1] ja Eila Turtola[1]

[1] Kasvintuotannon tutkimus, Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, 31600 Jokioinen

Johdanto

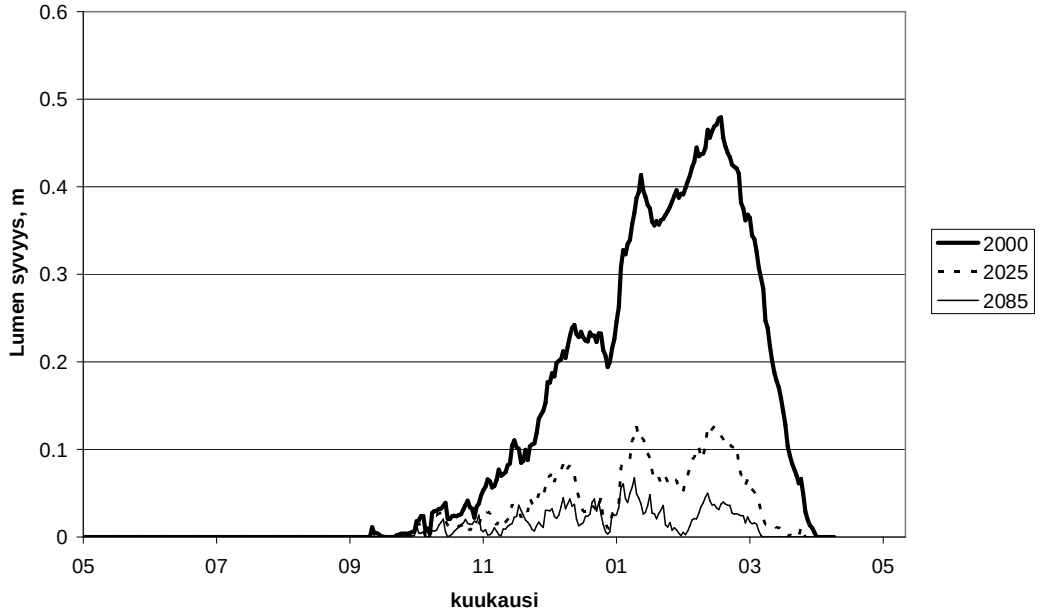
Ilmastonmuutoksen myötä lämpötilojen kohoaminen ja sateiden lisääntyminen vaikuttavat hyvin todennäköisesti typen kiertoon viljelymaassa. Maa- ja metsätalousministeriön rahoittaman Ilmastonmuutokseen sopeutuminen (ILMASOPU)-hankkeen yhtenä osana mallitetaan MTT:n huuhtoutumiskenttien typpikiertoa, valunnan muodostumista ja typen huuhtoutumista. Tässä työssä kuvataan Jokioisten, Kotkanojan kentällä saatuja mallitustuloksia.

Aineisto ja menetelmät

COUP-malli [1] kalibroitiin Kotkanojan huuhtoutumiskentän [2] vuosien 1994–2007 tuloksilla käyttäen kynnettyjä ruutuja. Potentiaalinen typen tarve vakioitiin kaikille vuosille tasoon 120 kg ha^{-1}, ja typen otto ajoitettiin viljakasvin kasvurytmin mukaisesti toukokuun lopusta heinäkuun puoliväliin. Maaperän ominaisuudet asetettiin kentällä tehtyjen mittausten perusteella, ja malli kalibroitiin vastaamaan mahdollisimman hyvin kentällä mitattua kasvuston typenottoa, valuntaa ja typen huuhtoutumista. Kalibroinnin jälkeen malli ajettiin A2-ilmastonmuutosskenaarioilla 2025 ja 2085. Vuoden 2025 skenaariossa lämpötila oli keskimäärin 1,3 astetta ja vuoden 2085 skenaariossa 4,3 astetta korkeampi kuin keskimäärin vuosina 1994–2007. Sadanta oli vuoden 2025 skenaariossa sama kuin 1994–2007 (675 mm). Vuoden 2085 skenaariossa vuosittainen sadanta oli jo 946 mm. Mallin avulla simuloitiin 14 vuoden jakso, ja tulokset edustavat 10 vuoden keskiarvoa simuloinnin lopusta.

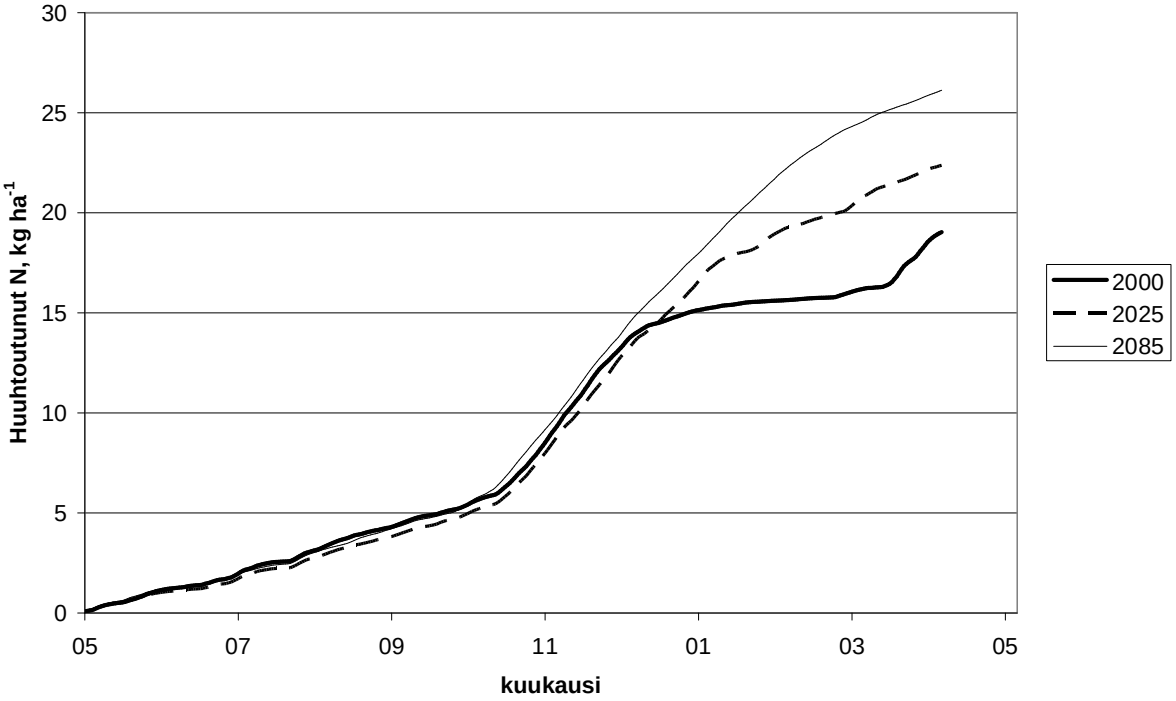
Tulokset ja tarkastelu

Lämpötilan nousu vähensi selvästi lumipeitettä (Kuva 1) ja keväällä tapahtuvaa pintavaluntaa vuoden 2025 skenaarioissa. Vuoden 2085 skenaariossa lumipeite ja pintavalunta vähenivät edelleen, vaikka sademäärä oli suuri. Kokonaisvalunta jatkui skenaarioissa tasaisesti läpi talven eikä lumen sulamisen aiheuttamaa valunnan lisääntymistä esiintynyt keväisin kuten vuosina 1994–2007.



Kuva 1. Simuloitu vuosittainen keskimääräinen lumen syvyys vuosina 1997−2007 (2000) sekä skenaarioiden 2025 ja 2085 mukaan.

Vuoden 2025 skenaariossa typen huuhtoutuminen lisääntyi 15 % ja vuoden 2085 skenaariossa lähes 40 % (Kuva 2). Huuhtoutuminen lisääntyi skenaarioissa kevättalvella, koska talven sateet kulkeutuivat salaojavaluntana maaprofiilin läpi. Vuoden 2085 skenaariossa typen tappiot olivat merkittävät myös toista kautta, sillä lisääntyneet sateet nostivat denitrifikaation kaksinkertaiseksi, viidestä kymmeneen kg ha^{-1}. Kasvuston typenotto jäikin tavoitteeksi asetetusta 120:sta kg ha^{-1} 80:aan kg ha^{-1} vuoden 2085 skenaariossa, koska maahan ei keväällä ollut jäänyt juuri lainkaan epäorgaanista typpeä kasvien käytettäväksi väkilannoituksen lisäksi.



Kuva 2. Simuloitu vuosittainen typen huuhtoutuminen vuosina 1997−2007 (2000) sekä skenaarioiden 2025 ja 2085 mukaan.

Käytetty COUP-simulointimalli soveltui hyvin huuhtoutumiskentän typen kierron kuvaamiseen ja ilmastonmuutoksen kautta tapahtuvien muutosten arviointiin. Jatkossa COUP-mallin sisältämää kasvumallia hyödynnetään, jotta voidaan arvioida kasvin kasvurytmin vaikutusta typenottoon. Lämpötilan kohoaminen ja sateiden lisääntyminen asettavat runsaasti haasteita typen huuhtoutumisen hillitsemiseen. Etelä-Suomen vähälumiset talvet 2006−2008 ovat esimerkkejä ilmastonmuutoksen ennustamista talvista, ja sateisuuden aiheuttamista valunnoista ja huuhtoutumariskeistä.

Kirjallisuus

[1] Jansson, P-E. ja Karlberg, L. 2007. Coupled heat and mass transfer model for soil-plant-atmosphere systems. *Royal Institute of Technology, Dept of Civil and Environmental Engineering, Stockholm, p. 445.* Available in Internet: ftp://www.lwr.kth.se /CoupModel/CoupModel.pdf.

[2] Turtola, E. 1999. Phosphorus in surface runoff and drainage water affected by cultivation practices [Diss., University of Helsinki]. 108 p. Diss.: University of Helsinki, 1999. (väitöskirja).

Kasvillisuus ja hiilidioksididynamiikka ennallistetulla ja luonnontilaisella suolla: ennallistamisen arviointi

Comparison of vegetation and CO_2 dynamics between a restored cut-away peatland and a pristine fen: Evaluation of the restoration success

Pirita Soini[1], Terhi Riutta[1,2], Mika Yli-Petäys[1,3] ja Harri Vasander[1]

[1] Helsingin yliopisto, metsäekologian laitos
[2] University of Oxford, School of Geography and the Environment, Environmental Change Institute, Oxford, UK
[3] Metsäntutkimuslaitos, Parkanon toimintayksikkö

Johdanto

Maailman suot ovat merkittäviä hiilen varastoja ja luonnontilaiset suot toimivat yleensä hiilidioksidinieluina. Turpeen teollisessa korjuussa suo kuivatetaan ja kasvillisuus poistetaan, mikä tuhoaa turvetta kerryttävän suoekosysteemin. Turpeen korjuusta jäljelle jäävän suopohjan ennallistaminen takaisin hiilidioksidinieluksi edellyttää suokasvillisuuden paluuta ja suopohjan vettämistä. Kasvillisuuden leviäminen on kuitenkin hidasta ja voi kestää kauan, ennen kuin ennallistetulle suolle muodostuu luonnontilaiselle suolle tyypillinen mikrotopografian mukaisesti vaihteleva kasvillisuus.

Kuten luonnontilaisilla soilla, myös ennallistetuilla suopohjilla kasvillisuuden koostumus ja sen peittävyys vaikuttaa olennaisesti hiilidioksididynamiikkaan. Suopohja voi toimia hiilidioksidinieluna pian ennallistamisen jälkeen, vaikka se ei kasvillisuudeltaan muistuttaisikaan luonnontilaista suota. Tässä tutkimuksessa arvioitiin ennallistamisen onnistumista tutkimalla sitä, muistuttaako kymmenen vuotta aiemmin ennallistettu suopohja kasvillisuudeltaan ja hiilidioksididynamiikaltaan luonnontilaista suota. Mahdollisimman vertailukelpoisen aineiston saamiseksi tutkimusalat valittiin samalta ravinteisuustasolta ja ilmastoalueelta.

Aineisto ja menetelmät

Tutkimus tehtiin kasvukaudella 2004 luonnontilaisella oligotrofisella suolla Ruoveden Siikanevalla ja ennallistetulla suopohjalla Kihniön Aitonevalla. Siikanevalle rajattiin kuusi ja Aitonevalle yhdeksän näytealaa (60 cm × 60 cm), joilta selvitettiin kasvilajikoostumus ja lajien peittävyys. Näytealojen kasvilajikoostumuksen vertailussa käytettiin oikaistua korrespondenssianalyysiä (DCA) ja Sörensenin ja Renkosen diversiteetti-indeksejä.

Näytealojen hiilidioksidinvaihtoa mitattiin suljetulla kammiomenetelmällä touko-syyskuussa 1-2 viikon välein. Samalla määritettiin mittaushetkellä vallinnut säteilytaso, vedenpinnan korkeus sekä ilman ja turpeen lämpötila. Lisäksi seurattiin lehtialan kehitystä. Mittausten perusteella muodostettiin bruttofotosynteesiä ja kokonaisrespiraatiota kuvaavat epälineaariset regressiomallit, joiden avulla arvioitiin kasvukaudenaikaiset hiilidioksidivirrat ja –taseet näytealoilla.

Tulokset ja tarkastelu

Molemmilla tutkimusaloilla rahkasammalet olivat pohjakerroksen ja sarat kenttäkerroksen vallitsevat lajiryhmät, mutta tutkimusalojen kasvilajistot erosivat toisistaan. Pullosara ja tupasvilla olivat ainoat lajit, joita esiintyi molemmilla tutkimusaloilla. Varvut puuttuivat ennallistetulta alalta kokonaan. Ennallistetun alan kasvit olivat joko tyypillisiä suopohjien pioneerilajeja tai tavallisia suokasveja.

Kasvilajien kokonaismäärä, samoin kuin putkilokasvien keskimääräinen lajimäärä näytealalla, oli suurempi luonnontilaisella kuin ennallistetulla alalla. Ennallistamisen kannalta

tärkeimpänä kasviryhmänä pidettyjen rahkasammalten osalta tutkimusalan ennallistamista voidaan pitää onnistuneena. Vaikka lajikoostumus oli erilainen, rahkasammalpeittävyys ennallistetulla alalla oli samaa suuruusluokkaa kuin luonnontilaisella alalla.

DCA:n ja diversiteetti-indeksien tuloksien perusteella luonnontilaisen suon näytealat olivat kasvilajikoostumukseltaan keskenään hyvin samankaltaisia kun taas ennallistetun suopohjan näytealojen välillä oli selviä eroja (taulukko 1). Tulosten perusteella ennallistetun alan kasvillisuus ei vielä vaihtele suon mikrotopografian mukaisesti kuten luonnontilaisella alalla, mikä viittaa siihen, että kasvillisuuskoostumuksen ennallistuminen on yhä kesken.

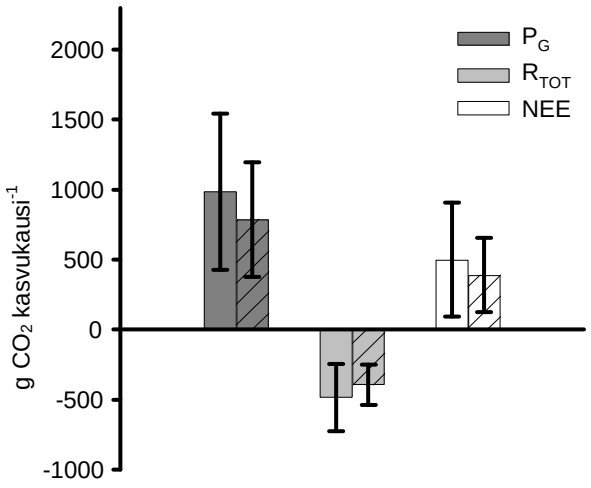
Koska kasvillisuus oli heterogeenisempää ennallistetulla kuin luonnontilaisella alalla, myös hiilidioksidivirtojen ja –taseiden vaihtelu oli suurempaa ennallistetun alan sisällä (kuva 1). Molempien alojen keskimääräinen kasvukaudenaikainen hiilidioksiditase oli positiivinen, eli tutkimusalat olivat hiilidioksidinieluja. Keskimäärin tutkimusalat sitoivat hiilidioksidia yhtä tehokkaasti. Tehokkaimmin hiilidioksidia sitoneet näytealat sijaitsivat kuitenkin ennallistetulla suopohjalla, mikä viittaa siihen, että ennallistettu suopohja voisi olla luonnontilaiseen suohon verrattuna suuri potentiaalinen hiilidioksidinielu.

Kirjallisuus

Soini, P., Riutta, T., Yli-Petäys, M. ja Vasander, H. 2009. Comparison of vegetation and CO_2 dynamics between a restored cut-away peatland and a pristine fen: Evaluation of the restoration success. *Restoration Ecology* 17, painossa.

Taulukko 1. Sörensenin ja Renkosen indeksien keskiarvot (±keskihajonta) laskettuna kaikille mahdollisille näytealapareille, jotka koostuvat **a)** kahdesta ennallistetun tutkimusalan (AN, Aitoneva) näytealasta, **b)** kahdesta luonnontilaisen tutkimusalan (SN, Siikaneva) näytealasta tai c) yhdestä ennallistetun ja yhdestä luonnontilaisen tutkimusalan näytealasta. Indeksit on ilmoitettu prosentteina, jolloin 0 % tarkoittaa, ettei näytealoilla ole lainkaan samoja lajeja ja 100 %, että näytealojen lajit ovat täysin samat.

	Sörensen	Renkonen
a) AN – AN	42 ± 21	26 ± 33
b) SN – SN	57 ± 17	39 ± 34
c) AN – SN	13 ± 7	1 ± 1



Kuva 1. Kasvukaudelle 2004 (touko-syyskuu) estimoidut bruttofotosynteesi (P_G), kokonaisrespiraatio (R_{TOT}) ja hiilidioksiditase (NEE) ennallistetulle tutkimusalalle (rasteroimattomat pylväät) ja luonnontilaiselle tutkimusalalle (rasteroidut pylväät). Pylväät esittävät näytealojen keskiarvoja ja virhepalkit keskihajontaa tutkimusalan sisällä.

Orgaanisen aineksen hajoamisen lämpötilariippuvuus boreaalisella havumetsävyöhykkeellä

Temperature sensitivity of soil organic matter decomposition in southern and northern areas of the boreal forest zone

Pekka Vanhala[1], Kristiina Karhu[1], Mikko Tuomi[1], Katarina Björklöf[1], Hannu Fritze[2] ja Jari Liski[1]

[1]Suomen ympäristökeskus, Helsinki
[2]Metsäntutkimuslaitos,Vantaa

Johdanto

Tekijöitä, jotka säätelevät orgaanisen aineen hajotusta maassa on tutkittu paljon. Tästä huolimatta on vielä epäselvää, miten orgaaninen aines, joka on muodostunut maantieteellisesti eri paikoissa ja siten eri ilmasto-olosuhteissa reagoi lämpötilan muutoksiin. Ilmaston lisäksi orgaanisen aineksen hajoaminen riippuu myös sen ominaisuuksista sekä hajotuksesta vastaavasta mikrobiyhteisöstä.

Tässä työssä tutkittiin ilmaston vaikutuksia maan orgaaniseen ainekseen boreaalisen havumetsävyöhykkeen etelä- ja pohjoisrajalla. Vastausta haettiin seuraaviin kysymyksiin:

1. Ovatko pohjoisessa ja etelässä muodostuneet maat erilaisia orgaanisen aineksen hajoamisen lämpötilariippuvuuden ja mikrobiyhteisön rakenteen suhteen?

2. Muuttuvatko nämä ominaisuudet jos ilmasto lämpenee?

Menetelmät

Työtä varten valittiin 3 pohjoissuomalaista männikköä ja 3 kuusikkoa ja niille eteläsuomalaiset vastinparit. Etelän metsiköt valittiin niin, että muut tekijät, paitsi ilmasto, vastasivat mahdollisimman hyvin pohjoisessa olevia. Alueiden keskilämpötilojen ero oli 4.5 C, mikä on ennuste lämpötilan nousulle Suomassa seuraavan 80 vuoden aikana.

Jokaisesta pohjoisen metsiköstä otettiin orgaanisesta kerroksesta 9 näytepalaa (0.14 m^2) jotka siirrettiin vastaaviin etelän metsiköihin. Samalla tutkittiin juurten katkaisun vaikutusta siirtämällä jokaisessa metsikössä vastaavat maapalat metsikön sisällä. Maapalojen annettiin olla aloillaan 2 vuotta, minkä jälkeen ne otettiin laboratoriomittauksiin.

Näytteistä tehtiin kasvillisuuskartoitus ja määritettiin CO_2-tuotannon lämpötilariippuvuus välillä 5-33 ^oC. Mikrobiyhteisön rakennetta kuvattiin sen fosfolipidirasvahappojen (PLFA) koostumuksella ja eri substraattien käyttökyvyllä (BIOLOG).

Tulokset

Orgaanisen aineksen hajoaminen oli nopeampaa kuusikoissa kuin männiköissä, mutta se ei ollut riippuvainen siitä missä ilmasto-olosuhteissa orgaaninen aines oli muodostunut. Hajoamisen lämpötilariippuvuus oli sama riippumatta metsätyypistä tai ilmasto-oloista. Aluskasvillisuus ja mikrobiyhteisön rakenne olivat erilaiset maantieteellisen sijainnin ja myös metsätyyppien välillä [1].

Kahden vuoden altistus eteläisemmälle ilmastolle ei muuttanut orgaanisen aineksen hajoamisnopeutta eikä hajoamisen lämpötilaherkkyyttä. Sitä vastoin lämpimämpi ilmasto muutti pohjoisesta siirretyn maan kasvillisuutta ja mikrobiyhteisön rakennetta kohti etelässä vallitsevaa.

Tulosten mukaan maantieteellisellä sijainnilla, kasvillisuudella tai ilmaston muuttumisella ei ole vaikutusta maan orgaanisen aineksen hajoamisen lämpötilaherkkyyteen. Sen sijaan ilmaston lämpeneminen muuttaa kasvillisuutta ja maaperän mikrobiyhteisöä.

Kirjallisuus

[1] Vanhala, P., Karhu, K., Tuomi, M., Björklöf, K., Fritze, H., Liski, J. 2008. Temperature sensitivity of soil organic matter decomposition in southern and northern areas of the boreal forest zone. *Soil Biology & Biochemistry* 40(7): 1758-1764.

Karikkeenlahottajasienten kasvu, entsyymiaktiivisuudet ja toksisuus nikkelillä kontaminoidussa maassa

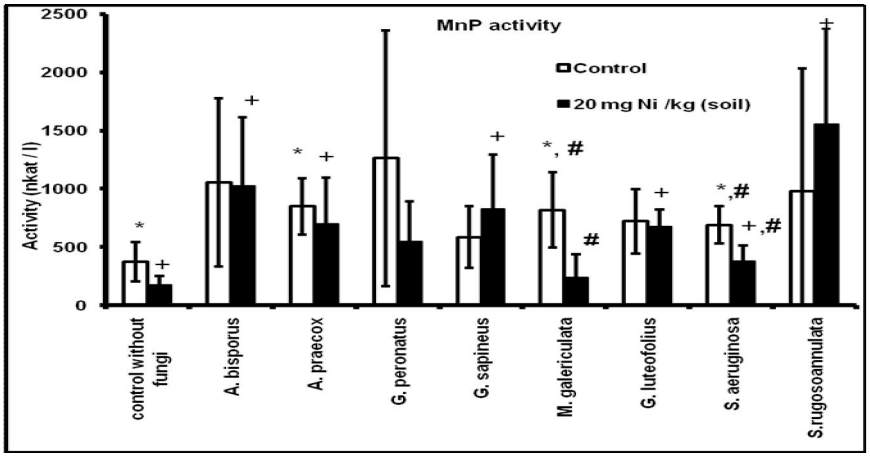
The growth of litter decomposing fungi, enzyme activities and toxicity in the nickel contaminated soil

Mika A. Kähkönen[1], Pauliina Lankinen[1], Johanna Rajasärkkä[1], Marko Virta[1] ja Annele Hatakka[1]

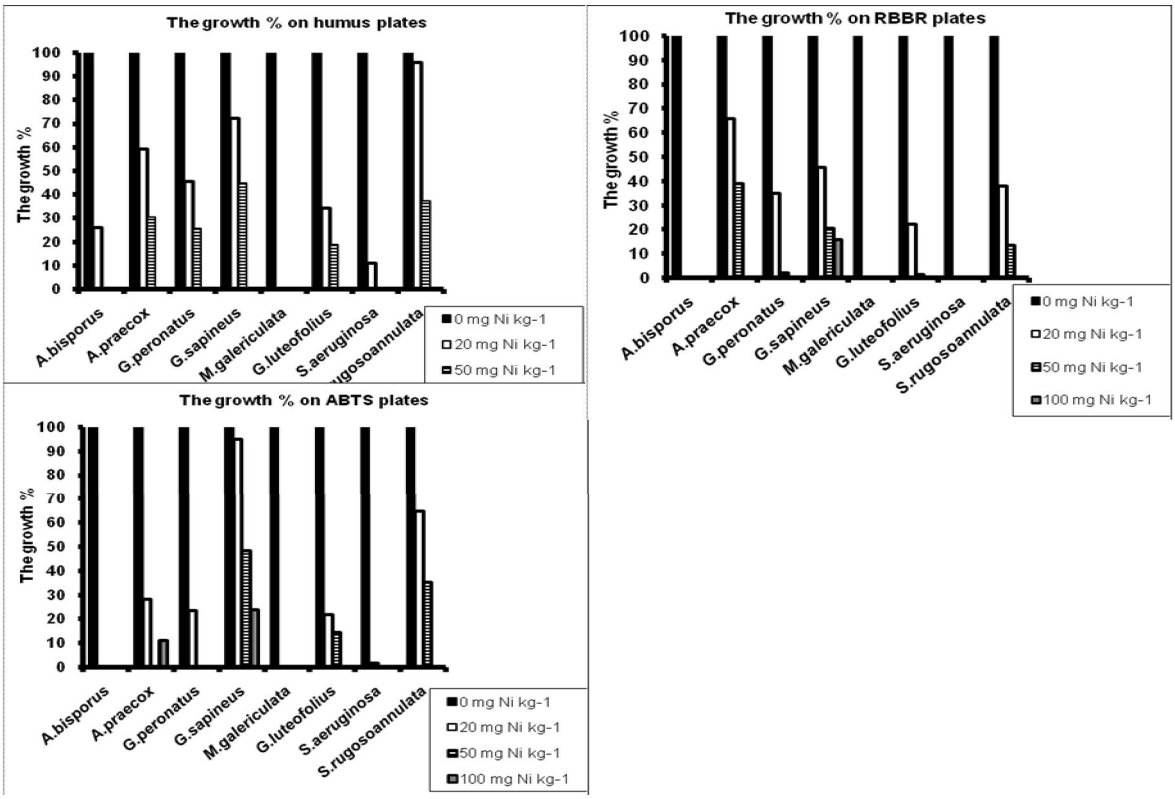
[1]Helsingin yliopisto, Soveltavan kemian ja mikrobiologian laitos, PL 56, Helsingin yliopisto

Nikkeli voi olla haitallinen maaperän mikrobitoiminalle ja ihmisten terveydelle. Nikkeliä on löydetty korkeina pitoisuuksina joidenkin teollisuuslaitosten ja kaivosten läheisyydestä. Maan mikrobit ovat keskeisiä detrituksen hajoamisessa ja ravinteiden kierrossa [1]. Sienet ja bakteerit tuottavat maassa solun ulkoisia entsyymejä. Tässä työssä mitattiin nikkelin toksisuutta usealla mittarilla, jolloin saadaan laaja-alainen kuva nikkelin aiheuttamista vaurioista maaperän mikrobiflooran toimintaan.

Nikkelin vaikutusta testattiin maan mikrobitoimintaan, sienten kasvuun ja entsyymien tuottoon eteläsuomalaisen mäntymetsän humuskerroksessa [2]. Viiden hydrolyyttisen (β-glukosidaasi, β-sellobiosidaasi, fosfomonoesteraasi, asetaatti- ja butyraatti-esteraasi) ja kahden ligninolyyttisen (mangaaniperoksidaasi (MnP), lakkaasi) entsyymin aktiivisuutta sekä kahdeksan karikkeenlahottajasienen kasvua (*Agaricus bisporus*, *Agrocybe praecox*, *Gymnopilus peronatus*, *Gymnopilus sapineus*, *Mycena galericulata*, *Gymnopilus luteofolius*, *Stropharia aeruginosa* and *Stropharia rugosoannulata*) testattiin nikkelillä kontaminoituneessa ja kontrollimaassa. Kaikki kahdeksan karikkeenlahottajasientä kykenivät kasvamaan nikkelillä kontaminoidussa (20 mg Ni kg^{-1}) maassa, vaikka karikkeenlahottajasienten kasvu aleni hieman verrattuna kontrollimaahan. Kaikki viisi hydrolyyttistä entsyymiaktiivisuutta (β-glukosidaasi, β-sellobiosidaasi, fosfomonoesteraasi, asetaatti- ja butyraatti-esteraasi) olivat korkeampia kontrollimaassa kuin nikkelillä kontaminoidussa maassa. *M. galericulatan* ja *S. aeruginosan* MnP aktiivisuus oli alempi nikkelillä kontaminoidussa maassa kuin kontrollimaassa, mikä viittaa siihen, että nämä sienet olivat herkkiä nikkelille (kuva 1). Nikkeli inhiboi sienten kasvua jo 20 mg Ni kg^{-1} pitoisuudella humus-, RBBR- ja ABTS-maljoilla (kuva 2). Hiivan valontuoton inhibitiotesti antoi EC_{50}-arvoksi 293 mg Ni kg^{-1} (maa), joka oli melko korkea verrattuna pitoisuuksiin, jotka inhiboivat sienten kasvua maljakokeissa (20-100 mg Ni kg^{-1}), entsyymiaktiivisuuksia maaperässä (20 mg Ni kg^{-1}) ja *Vibrio fischeri*-toksisuustestissä. β-glukosidaasin, β-sellobiosidaasin, fosfomonoesteraasin, asetaatti- ja butyraatti-esteraasin aktiivisuudet olivat merkittävästi korkeampia maaperässä kuin uutteessa, mikä voi viitata siihen, että nämä entsyymit olivat sitoutuneet huomattavassa määrin maapartikkeleihin. Tämän tutkimuksen tulokset osoittavat, että kaikkein herkimpien maan mikrobien toiminta on haavoittuvaista jo alhaisissa nikkelipitoisuuksissa.



Kuva 1. MnP aktiivisuus humuskerroksen uutteessa nikkelillä kontaminoidussa ja kontrollimaassa (n = 3). Tilastollinen ero ($p < 0,05$) sienellä siirrostetun ja siirrostamattoman kontrollimaan (ei Ni) välillä on merkitty (*) ja siirostetun ja siirrostamattoman nikkelillä kontaminoidun maan välillä (+). Yksittäisen sienen MnP tuoton tilastollinen ero ($p < 0,05$) nikkelillä kontaminoidussa ja kontrollimaassa on merkitty (#).



Kuva 2. Kahdeksan karikkeenlahottajasienen kasvuprosentti kolmen viikon jälkeen humus, RBBR ja ABTS maljoilla, joissa on nikkeliä 20, 50 ja 100 mg kg^{-1}, suhteessa kasvuun ilman nikkeliä (100 %).

[1] Mika A. Kähkönen, Pauliina Lankinen, Annele Hatakka 2008. Hydrolytic and ligninolytic enzyme activities in the Pb contaminated soil inoculated with litter-decomposing fungi. Chemosphere 72, 708-714.
[2] Pauliina Lankinen, Mika A. Kähkönen, Johanna Rajasärkkä, Marko Virta, Annele Hatakka 2008. The growth of litter decomposing fungi, extracellular enzyme activities and toxicity in the Ni contaminated soil. Manuscript.

Maan ravintoverkkojen ja orgaanisen aineksen laadun vaikutus hajotuksessa vapautuvan liukoisen typen laatuun ja määrään

Release of dissolved nitrogen in the decomposition of different organic soils as affected by soil food webs

Mari Lappalainen[1], Ari Laurén[1], Jussi V. K. Kukkonen[2]

[1]Metsäntutkimuslaitos, Joensuun toimintayksikkö, PL 68, 80101 Joensuu, mari.lappalainen@metla.fi
[2]Biotieteiden tiedekunta, Joensuun yliopisto, PL 111, 80101 Joensuu

Johdanto

Liuennut orgaaninen typpi (DON) muodostaa pääosan vesistössä olevasta typestä. Koska se on osoittautunut vesistössä biologisesti aktiivisemmaksi kuin aiemmin on tiedetty, sen roolia vesiensuojelussa on arvioitava uudelleen. Tämä edellyttää DONin prosessien syvällistä ymmärtämistä maaekosysteemissä, missä DON pääosin muodostuu. DONia muodostuu eniten orgaanisen aineksen hajotuksessa, johon vaikuttavat mm. fysikaaliset olosuhteet, hajoavan orgaanisen aineksen laatu, pH ja mikrobiaktiivisuus. On kuitenkin epäselvää, kuinka hajotuksessa vapautuva typpi jakautuu ammoniumiksi, aktiiviseksi pienimolekyyliseksi DONiksi (LMW-DON) ja passiivisemmaksi suurimolekyyliseksi DONiksi (HMW-DON) ja mitkä tekijät jakautumiseen vaikuttavat. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, miten orgaaninen aines ja maaperäeläimet säätelevät hajotuksessa vapautuvan typen laatua ja määrää.

Aineisto ja menetelmät

Typen vapautumista testattiin laboratoriossa tehdyllä manipulaatiokokeella. Koetta varten kerättiin yhteensä 48 näytettä, jotka edustivat tuoreen kankaan ja kuivahkon kankaan humustyyppejä, sekä rämemetsikön rahka- ja sararahkaturvetta kahdelta eri maatumisasteelta (heikosti maatunut ja hyvin maatunut turve). Näytteistä poistettiin elävä pintakasvillisuus ja maaperäeläimet hävitettiin pakastamalla näytteet -20 °C lämpötilassa kaksi kertaa, sulattaen näytteet pakastusten välissä. Maaperäeläinten vaikutuksen selvittämiseksi puoleen näytteistä ympättiin änkyrimatoja, jotka muodostavat metsämaissa tärkeimmän maaperäeläinryhmän. Näytteitä inkuboitiin kasvatuskammiossa +15 °C lämpötilassa ja kenttäkapasiteettikosteudessa kolmen kuukauden ajan. Maavesinäytteitä kerättiin imunäytteenottimella kahden-neljän viikon välein ja kerätystä näytteestä määritettiin typpifraktioiden (NH_4^+, NO_3^-, LMW-DON, HMW-DON) pitoisuudet. LMW-DON-fraktio erotettiin ultrasuodattamalla näyte 1 kDa -kalvon läpi. Liuenneen orgaanisen typen pitoisuus saatiin liuenneen kokonaistypen ja epäorgaanisen typen pitoisuuksien erotuksena. Typen vapautuminen laskettiin peräkkäisten näytteenottokertojen analyysitulosten erotuksena aikayksikköä kohden. Maanäytteiden sisältämän liuenneen typen määrän laskennassa huomioitiin näytteestä näyteveden mukana poistunut typpi.

Tulokset ja tarkastelu

Tulosten perusteella orgaanisen aineen laatu vaikuttaa vapautuvan liuenneen typen määrään ja laatuun. Liuenneen kokonaistypen määrä (g/kuivamassa) oli suurin hyvin maatuneessa turpeessa ja pienin kangashumuksissa koko kokeen ajan. Kokeen alkupuolella typen pitoisuus maavedessä laski kangashumus- ja rahkaturvenäytteissä indikoiden typen immobilisaatiota. Immobilisaatio kohdistui ammonium-fraktioon. Immobilisaatio väheni ja typen vapautuminen lisääntyi suurimmassa osassa näytteitä kokeen kuluessa. Turpeesta vapautui enemmän typpeä kuin kangashumuksesta, lukuun ottamatta heikosti maatunutta rahkaturvetta, jossa

nettovapautumista ei tapahtunut lainkaan. Turvenäytteissä suurin osa liuenneesta typestä oli ammonium-muodossa, ja ammoniumin osuus kasvoi kokeen kuluessa lukuun ottamatta heikosti maatunutta rahkaturvetta. DONin määrä turvenäytteissä pysyi lähes muuttumattomana. Kangashumuksessa DONin määrä lisääntyi alusta lähtien niin, että ensimmäisen kuukauden jälkeen se muodosti liuenneen typen suurimman fraktion. Samalla ammoniumin osuus pieneni. LMW-DONin ja nitraattifraktion osuudet olivat pieniä, useimmiten määritysrajojen alapuolella. Änkyrimatojen vaikutus vapautuvan typen määrään ja laatuun oli vähäinen.

Sulattopäästöjen voimakkaan vähenemisen vaikutus lähiympäristön metsämaan metallipitoisuuksiin

The effect of a drastic decrease in smelter emissions on metal concentrations of the surrounding forest soils

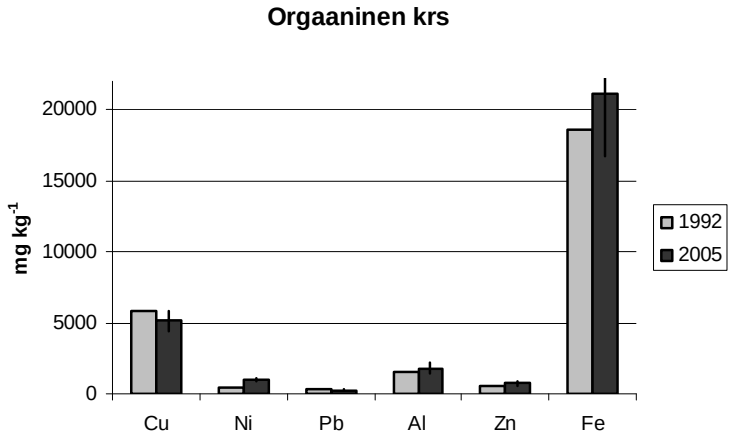
Tiina M. Nieminen[1], John Derome[2], Heljä-Sisko Helmisaari[1]

[1]Metla, PL 18, 01301 Vantaa
[2]Metla, PL16, FI-96301 Rovaniemi

Harjavallan kupari- ja nikkelisulatto kuuluu Suomen merkittävimpiin metallikuormittajiin. Viime vuosikymmeninä tapahtuneista merkittävistä päästövähennyksistä huolimatta, lähiympäristön maaperän metallipitoisuudet ovat edelleen kohonneita. Maaperään on sulattojen 60 toimintavuoden aikana kertynyt erityisesti kuparia (Cu) ja nikkeliä (Ni). Tavoitteenamme oli selvittää 1980- ja 1990-lukujen taitteessa toimeenpantujen päästövähennysten vaikutusta metsämaan metallipitoisuuksiin. Maanäytteitä kerättiin sulattojen lähimetsästä (lajittunut hiekka, podsoli) keväällä 1992 ja näytteenotto toistettiin syksyllä 2005.

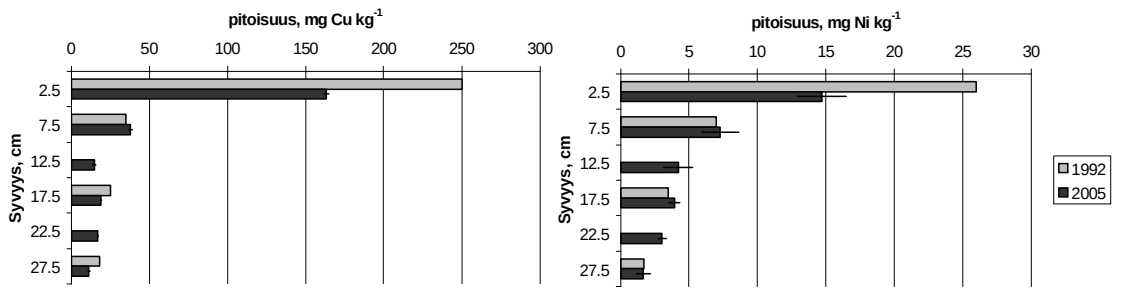
Toisena tavoitteena oli tutkia ns. ennallistamisalueelle[1] vuonna 1996 levitetyn orgaanisen kateaineen (Ämmässuon biokomposti + puuhake, pH 6.3) vaikutusta metsämaasta mitattaviin metallipitoisuuksiin. Maanäytteet kateaineella peitetyiltä aloilta otettiin syksyllä 2005. Kuivatut ja homogenisoidut orgaaniset maanäytteet märkäpoltettiin, kivennäismaanäytteet uutettiin $BaCl_2$:iin ja metallipitoisuudet mitattiin ICP-AES-laitteella.

Metallipäästöjen voimakas vähentyminen ei selkeästi heijastunut maanäytteiden raskasmetallipitoisuuksien laskuna. Orgaanisen kerroksen Cu-, alumiini- (Al) ja lyijypitoisuudet (Pb) olivat vuoden 2005 näytteissä yhtä suuria tai hieman pienempiä kuin vuoden 1992 näytteissä Kun taas Ni-, sinkki- (Zn) ja rautapitoisuudet (Fe) olivat yhtä suuria tai suurempia kuin 14 vuotta aiemmin otetuissa näytteissä (Kuva 1).



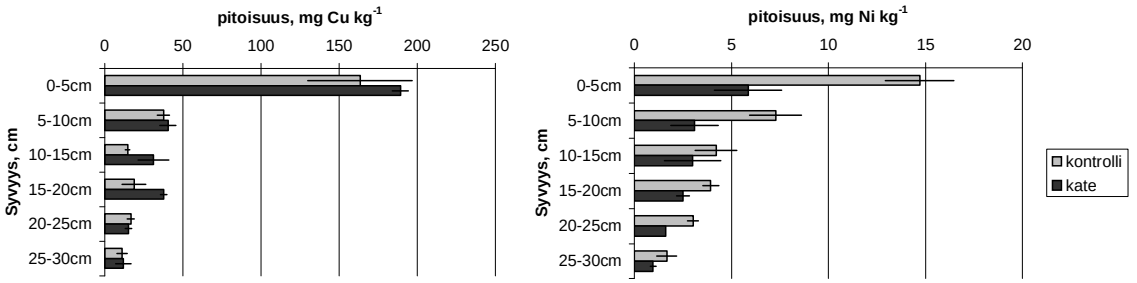
Kuva1. Metsämaan orgaanisen kerroksen raskasmetallipitoisuuksia vuosina 1992 ja 2005 otetuissa näytteissä.

Kivennäismaan pintakerroksen vaihtuvan Cu:n ja Ni:n pitoisuudet olivat sen sijaan selvästi pienempiä vuoden 2005 näytteissä kuin vuonna 1992 otetuissa, mutta syvemmissä kerroksissa ei näytteenottokertojen välillä voida havaita eroja (kuva 2).



Kuva 2. Kivennäismaan vaihtuvan Cu:n ja Ni:n pitoisuusjakauma vuonna 1992 ja 2005 otetuissa näytteissä.

Ennallistamisalueella kompostilla katettujen ruutujen kivennäismaan vaihtuvan Cu:n pitoisuudet olivat jonkun verran suurempia kuin käsittelemättömillä ruuduilla, mutta Ni:n kohdalla tilanne oli päinvastainen (Kuva 3).



Kuva 3. Kivennäismaan vaihtuvan Cu:n ja Ni:n pitoisuuksien syvyysjakauma kompostilla katetuilla ja käsittelemättömillä kontrolliruuduilla.

Tulokset antavat viitteitä siitä, että vaihtuvassa muodossa olevan Cu:n ja Ni:n määrä on kivennäismaan pintaosissa pienentynyt, vaikka orgaanisen kerroksen kokonaispitoisuus on Ni:n kohdalla suurempi vuonna 2005 kuin 1992. Kaiken kaikkiaan ei näiden näytteiden perusteella voida todeta 13 vuoden kuluessa tapahtuneen merkittävää luontaista puhdistumista.

Orgaanisen kateaineen 10 vuoden jaksolla aiheuttamat muutokset vaihtuvan Cu:n ja Ni:n maapitoisuuksissa olivat keskenään täysin erilaiset. Käsittelyn seurauksena vaihtuvan Cu:n määrä kivennäismaaprofiilissa kasvoi, kun taas vaihtuvan Ni:n määrä pieneni. Katekäsittelyn vaikutuksen erilaisuus selittynee Cu:n ja Ni:n sorption erilaisella pH vasteella ja niiden muodostamien orgaanisten kompleksien ominaisuuksien eroilla.

Kirjallisuus

[1] Helmisaari, H.-S., Salemaa, M., Derome, J., Kiikkilä, O., Uhlig, C. & Nieminen, T. 2007. Remediation of heavy metal-contaminated forest soil using recycled organic matter and native woody plants. *Journal of Environmental Quality* 36: 1145-1153.

Kahden ektomykorritsasienen L–aminohappo-oksidaasi –geenien tunnistus ja emäsjärjestyksen määritys

L-amino acid oxidase genes of two ectomycorrhizal fungi

Jaro T. Nuutinen[1,2], Eeva Marttinen[1,2], Kristiina Hildén[2], Rabah Soliymani[3], Sari Timonen[2,1]

[1] Helsingin yliopisto, Soveltavan biologian laitos, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto. Jaro.Nuutinen@iki.fi
[2] Helsingin yliopisto, Soveltavan kemian ja mikrobiologian laitos, Mikrobiologian osasto, PL 56, 00014 Helsingin yliopisto.
[3] Helsingin yliopisto, Biomedicum, Proteiinikemian yksikkö, PL 63, 00014 Helsingin yliopisto.

Johdanto

Metsämaassa typen saatavuus on usein puiden kasvua rajoittava tekijä. Määrällisesti metsämaassa voi esiintyä runsaasti typpeä, mutta usein ongelmana on typen biosaatavuus. Valtaosa maaperän typpivarannoista esiintyy orgaanisessa muodossa. Orgaanisiin yhdisteisiin sitoutuneen typen biosaatavuus vaihtelee merkittävästi eri yhdisteiden välillä. Aminohapot saattavat olla sekä määrällisesti että laadullisesti tärkeä typenlähde metsämaassa (1).

Metsämaan mikrobeista suuri osa on kantasieniä, jotka muodostavat mykorritsasymbioosia puiden juurien kanssa. Mykorritsasienet pystyvät hyödyntämään maaperän orgaanisia ja epäorgaanisia typenlähteitä ja siten edistävät myös isäntäpuiden typen saantia. Eräät mykorritsasienet pystyvät ottamaan kokonaisia aminohappoja maanesteestä. Aminohappoihin sitoutunut typpi voidaan myös mineralisoida ammoniumiksi: Kantasieniin kuuluvissa tympösissä (*Hebeloma* spp.) ja kangaslohisienessä (*Laccaria bicolor*) ilmeni L-aminohappo-oksidaasi -entsyymejä (LAO), jotka katalysoivat aminohappotypen mineralisaatiota (2). LAO-entsyymejä koodaavat geenit on aiemmin tunnettu vain muutamista maaperän mikrobeista, kuten *Rhococcus opacus* -aktinobakteerista ja *Neurospora crassa* -homeesta (3-4). Tämän tutkimuksen tavoitteena oli määrittää hiekkatympösen (*H. cylindrosporum*) LAO-entsyymin osittainen aminohappojakso, jonka perusteella määritettiin hiekkatympösen LAO-geenin emäsjärjestys sekä tunnistettiin kangaslohisienen perimästä LAO:a koodaava geeni.

Aineisto ja menetelmät

Hiekkatympösen rihmastoviljelmiä kasvatettiin ravinnealustoilla laboratorio-olosuhteissa. Rihmastoista uutettiin entsyymit, kokonais-RNA ja genominen DNA. Hiekkatympösen LAO-entsyymi rikastettiin kaksiuloitteisella elektroforeesilla (isoelektrinen fokusointi + polyakryyliamidi geelielektroforeesi). Geeliltä eristetty LAO-entsyymi pilkottiin proteaasilla peptideiksi, jotka eroteltiin ja pilkottiin tandem-massaspektrometrissa (MALDI-TOF/TOF; Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization - tandem Time Of Flight -massaspektrometria). Peptidien aminohappojärjestys pääteltiin niiden hajoamisspektreistä.

Aminohappojärjestysten sekä sekvenssitietokantahakujen tulosten perusteella suunniteltiin alukkeet hiekkatympösen LAO-geenin emäsjärjestyksen selvittämiseksi. Hiekkatympösen lähetti-RNA:sta syntetisoitiin cDNA:ta käänteiskopioijaentsyymillä. cDNA:sta monistettiin LAO-transkriptin 5´- ja 3´-päät RACE-PCR -menetelmällä (Rapid Amplification of cDNA Ends), ja saatujen PCR-tuotteiden emäsjärjestykset määritettiin. Niiden perusteella laadittiin alukkeita, joiden avulla monistettiin LAO-geenin kokonainen cDNA, genominen DNA sekä geenin aminohappoja koodaavan osan 5´-päässä oleva säätelyalue. Hiekkatympösen LAO-geenin emäsjärjestys pääteltiin yhdistämällä useiden limittäisten PCR-tuotteiden emäsjärjestykset. Tässä työssä selvitettyjen ja sekvenssitietokannoista etsittyjen

proteiinijaksojen sukulaisuussuhteita selvitettiin evolutiivisilla analyyseillä, ja näiden proteiinien toiminnallisia jaksoja tunnistettiin bioinformatiikan menetelmillä.

Tulokset ja tarkastelu

Hiekkatympösen rihmastouutteista erottui kaksiuloitteisessa elektroforeesissa kahdesta viiteen LAO-proteiiniläikkää. Tunnistimme vahvimmasta proteiiniläikästä MALDI-TOF/TOF -menetelmällä viisi peptidijaksoa, jotka olivat identtisiä kolmen tietokannoissa olevan ekspressoituvan sekvenssin (EST) kanssa (5). Homologiahakujen (BLAST) perusteella tunnistimme kangaslohisienen perimästä (6) LAO-geeniä koodaavan emäsjakson. LAO-geeni oli merkitty perimän kuvaukseen toiminnaltaan tuntemattomaksi geeniksi, ja sen rakenteen kuvaus oli osin puutteellinen. Määritimme lisäksi hiekkatympösen LAO-geenin cDNA:n, genomisen DNA:n ja geenin koodaavaa aluetta edeltävän säätelyalueen emäsjärjestykset. Ektomykorritsasienten LAO-geenit olivat noin 2000 emäsparin pituisia, ja ne koostuivat neljästä (hiekkatympönen) tai viidestä (kangaslohisieni) eksonista. Niiden ennustettiin koodaavan 641 ja 651 aminohapon pituisia proteiineja.

Hiekkatympösen ja kangaslohisienen LAO-proteiinijaksot olivat keskenään 77 % identtisiä, mutta ne olivat vain 20 - 24 % identtisiä sekärankaisten ja maaperämikrobien LAO-proteiinien kanssa. Tietokannoista haetut LAO-proteiinijaksot muodostivat molekyylievolutiivisissa analyyseissa useita eri ryhmiä. Löysimme hiekkatympösen ja kangaslohisienen LAO-proteiinijaksoista tälle proteiiniperheelle yhteisiä sormenjälkijaksoja (7). Tympösten ja lohisienten LAO-entsyymit siis kuuluvat samaan proteiiniperheeseen kuin muut tunnetut LAO-entsyymit, mutta ne muodostavat perheen sisällä oman evolutiivisen linjansa.

Olemme löytäneet uuden, kantasienistä aiemmin tuntemattoman aminohappojen mineralisaatioreitin, jota LAO-entsyymit katalysoivat. Tutkimuksemme on ensimmäinen LAO-proteiini- ja geenijaksojen kuvaus kantasienistä, joten se lisää merkittävästi mykorritsasienten aineenvaihdunnan tuntemusta molekyylitasolla. Tuloksemme myös tarkentavat kangaslohisienen perimän sekvenssikuvauksia.

Kirjallisuus

[1] Johnsson, L., Berggren, D. ja Kåren, O. 1999. Content and bioavailability of organic forms of nitrogen in the O horizon of a podzol. *European Journal of Soil Science* 50: 591-600.
[2] Nuutinen, J.T. ja Timonen, S. 2008. Identification of nitrogen mineralization enzymes, L-amino acid oxidases, from the ectomycorrhizal fungi *Hebeloma* spp. and *Laccaria bicolor*. *Mycological Research* 112: 1453-1464.
[3] Geueke, B. ja Hummel, W. 2002. A new bacterial L-amino acid oxidase with a broad substrate specificity: purification and characterization. *Enzyme and Microbial Technology* 31: 77-87.
[4] Niedermann, D.M. ja Lerch, K. 1990. Molecular cloning of the L-amino acid oxidase gene from *Neurospora crassa*. *Journal of Biological Chemistry* 265: 17246-17251.
[5] Lambilliotte, R. ym. 2004. Large-scale identification of genes in the fungus *Hebeloma cylindrosporum* paves the way to molecular analyses of ectomycorrhizal symbiosis. *New Phytologist* 164: 505-513.
[6] Martin, F., ym. 2008. The genome of *Laccaria bicolor* provides insights into mycorrhizal symbiosis. *Nature* 452: 88-92.
[7] Finn, R.D., Tate, J., Mistry, J., Coggill, P.C., Sammut, S.J., Hotz, H.R., Ceric, G., Forslund, K., Eddy, S.R., Sonnhammer, E.L.L., Bateman, A. 2008. The Pfam protein families database. *Nucleic Acids Research* 36: 281-288.

Hakkuutähteen korjuun vaikutus kuusikkomaan hiilen ja typen transformaatioihin

Response of soil C and N transformations in a Norway spruce stand to logging residue removal

Aino Smolander[1], Teuvo Levula[2] ja Veikko Kitunen[1]

[1]Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimusyksikkö, PL 18, 01301 Vantaa
[2]Metsäntutkimuslaitos, Parkanon tutkimusyksikkö, Kaironiementie 54, 39700 Parkano

Johdanto

Lisääntynyt bioenergian tuottamisen tarve on johtanut metsätaloudessa siihen, että hakkuutähteitä korjataan laajamittaisesti metsistä sekä harvennusten että avohakkuiden yhteydessä. Hakkuutähteen korjuussa oksa- ja latva-ainesta useimmiten vielä vihreine neulasineen viedään pois metsäekosysteemistä sen sijaan, että tämä aines päätyisi maahan hajotustoiminnan raaka-aineeksi. Siten metsämaahan tulee vähemmän sekä ravinteita, ennen kaikkea typpeä, että hiiltä. Hakkuutähteen korjuun on todettu alentavan puuston kasvua joissakin kuusikoissa ja männiköissä [1].

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää hakkuutähteen korjuun pitkäaikaisvaikutuksia metsämaan orgaanisen aineen laatuun ja hiilen ja typen kierron mikrobitoimintoihin. Orgaanisen aineen koostumuksessa keskityttiin erityisesti kahteen tärkeään kasvin sekundääriyhdisteryhmään, fenolisiin yhdisteisiin ja terpeeneihin kahdesta syystä. Ensinnäkin hakkuutähde sisältää niitä runsaasti. Lisäksi joidenkin sekundääriyhdisteiden on osoitettu voivan säädellä typen transformaatioita metsämaassa [2, 3].

Aineisto ja menetelmät

Tutkimusmetsikkö oli 40-vuotias kuusikko suhteellisen viljavalla kasvupaikalla (metsätyyppi OMT) Petäjävedellä Keski-Suomessa. Tutkimusmetsikköön oli perustettu 10 vuotta sitten olleen harvennushakkuun yhteydessä koealoja (10 m x 10 m), joilta hakkuutähteet oli joko korjattu (kokopuunkorjuu) tai levitetty käsin tasaiseksi kerrokseksi (runkopuunkorjuu) [4]. Molemmat käsittelyt olivat kolmena toistona. Kymmenen vuotta hakkuun jälkeen humuskerroksesta (F+H) otettiin näytteet edustavasti. Näytteistä määritettiin mikrobibiomassaan sisältyvän hiilen ja typen määrä sekä aerobisen hiilen mineralisaation (CO_2-tuottona), typen nettomineralisaation ja nettonitrifikaation nopeus. Lisäksi mitattiin C/N-suhde, pH, vesiliukoisten totaalifenolien ja erään tärkeän fenoliryhmän, kondensoituneiden tanniinien ja erilaisten terpeenien pitoisuudet [4].

Tulokset ja tarkastelu

Kymmenen vuotta hakkuutähteen korjuun jälkeen hiilen mineralisaatio humuskerroksessa oli merkitsevästi hitaampaa kokopuun korjuukäsittelyssä kuin runkopuun korjuukäsittelyssä [4]. Lisäksi typen nettomineralisaatio oli hitaampaa ja mikrobibiomassan hiilen ja typen määrät olivat alemmat, mutta nämä erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä.

Hakkuutähteen korjuu ei ollut vaikuttanut humuskerroksen pH:hon (pH_{H2O} 3,9 molemmissa käsittelyissä) eikä C/N-suhteeseen (28 molemmissa käsittelyissä). Hakkuutähteen korjuu oli pienentänyt sekä vesiliukoisten totaalifenolien että kondensoituneiden tanniinien pitoisuuksia, mutta seskvi-, di- ja triterpeenien pitoisuuksissa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja.

Kaiken kaikkiaan hakkuutähteen korjuu näytti vaikuttavan epäsuotuisasti ravinteiden kierron keskeisiin prosesseihin tutkittavassa kuusikossa. Nämä muutokset, sekä muutokset joissakin orgaanisen aineen ominaisuuksissa, olivat nähtävissä 10 vuoden kuluttua korjuun jälkeen. Parhaillaan tutkimuksia laajennetaan muihin kuusikoihin ja lisäksi männiköihin, jotta nähdään ovatko nämä tulokset yleistettävissä erilaisille kasvupaikoille ja selvitetään vaikutusmekanismeja tarkemmin. On epävarmaa, missä määrin joidenkin metsiköiden puuston alentunut kasvu [1] on selitettävissä ravinteiden poisviennillä vai onko hiilen ja typen kierrossa tapahtuneilla muutoksilla osuutta asiaan.

Kirjallisuus

[1] Jacobson, S., Kukkola, M., Mälkönen, E. & Tveite, B.. 2000. Impact of whole-tree harvesting and compensary fertilization on growth of coniferous thinning stands. Forest Ecology and Management 129: 41-51.

[2] Kanerva, S., Kitunen, V., Kiikkilä, O., Loponen, J. & Smolander, A. 2006. Response of soil C and N transformations to tannin fractions extracted from Norway spruce and Scots pine needles. Soil Biology & Biochemistry 38: 1364-1374.

[3] Smolander, A., Ketola, R., Kotiaho, T., Kanerva, S. Suominen, K. & Kitunen, V. 2006. Volatile monoterpenes in soil microair under birch and conifers: Effects on soil N transformations. Soil Biology & Biochemistry 38: 3436-3442.

[4] Smolander, A., Levula, T. & Kitunen, V. 2008. Response of litter decomposition and soil C and N transformations in a Norway spruce thinning stand to removal of logging residues. Forest Ecology and Management 256: 1080-1086.

Energiapuunkorjuun vaikutus elohopean ja raskasmetallien huuhtoutumiin ojitetuilla turvemailla

Liisa Ukonmaanaho[1], Tiina Maileena Nieminen[1], Mike Starr[2], Marjatta Kantola[1], Erkki Ahti[1], Juha Piispanen.[3], Markku Mäkilä[4] ja Kirsti Loukola-Ruskeeniemi[4]

[1]Metsäntutkimuslaitos, Vantaan toimintayksikkö, PL 18, 01301 Vantaa (etunimi.sukunimi@metla.fi)
[2]Helsingin yliopisto, Metsäekologian laitos, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto (etunimi.sukunimi@helsinki.fi)
[3]Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen toimintayksikkö, Kirkkosaarentie 7, 91500 Muhos
[4]Geologian tutkimuskeskus, PL 96, 02151 Espoo (etunimi.sukunimi@gtk.fi)

Tausta

Nykyisen energiapolitiikan mukaisesti hakkuut tulisi toteuttaa korjaamalla runkopuun lisäksi hakkuutähteet ja kannot. Hakkuutähteiden talteenoton ja kantojen noston ekologisia vaikutuksia on tutkittu lähes yksinomaan kivennäismailla, turvemailta tietoa on olemassa hyvin vähän. Hakkuutähteen talteenotto pienentää olennaisesti hakkuualueelle jäävän hajoavan karikkeen määrää ja hajoamisessa vapautuvia ravinteita, siten myös huuhtoutuvien ravinteiden määrä voi vähentyä. Toisaalta kaikki metsätalouden toimenpiteet rikkovat maanpinnan aiheuttaen orgaanisen aineen, ravinteiden ja maahan jo sitoutuneiden raskasmetallien huuhtoutumista lisäten vesistöjen kuormitusta. Esimerkiksi kalojen kohonneiden Hg-pitoisuuksien taustalla arvellaan olevan metsämaahan luontaisesti ja ilman epäpuhtauksien mukana varastoituneen elohopean vapautuminen metsätaloustoimenpiteiden seurauksena. Kohonneita valumavesien totaali ja MeHg-pitoisuuksia on mitattu alueilta, joissa on tehty metsänkäsittelytoimenpiteitä. Erityisen suuria huuhtoutumia on mitattu turvevaltaisilta valuma-alueilta, mikä johtunee elohopean tehokkaammasta metyloitumisesta turvemaissa.

Tavoitteet

Tavoitteena on verrata runkopuun- ja kokopuukorjuun vaikutuksia ravinteiden ja raskasmetallien huuhtoutumiseen sekä tutkia onko paikallisella kallioperällä (mustaliuske/kvartsiitti) vaikutusta erityisesti raskasmetallien huuhtoutumiin.

Menetelmät

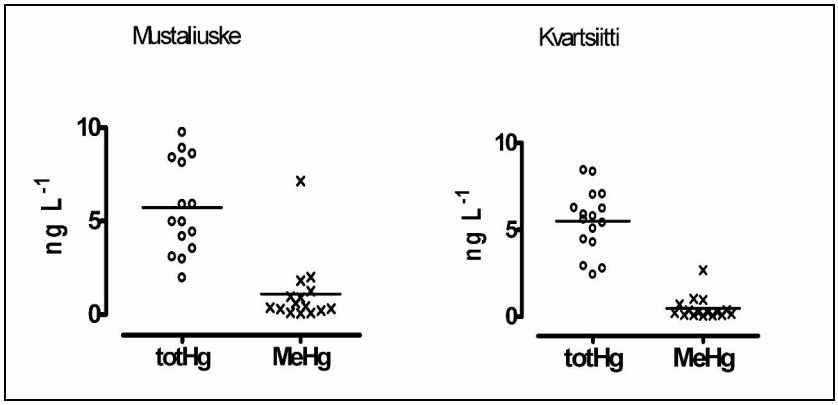
Tutkimus toteutetaan 8:lla pienehköllä (1- 5 ha), ojitetulla, turvevaltaisella valuma-alueella Kainuussa. Alueen kallioperässä on laajoja kvartsiitti- ja mustaliuskevyöhykkeitä. Puolet tutkimuksen aloista sijaitsee mustaliusketta sisältävän kallioperän päällä (helposti rapautuva, korkea raskasmetallipitoisuus) ja puolet kvartsiittipohjalla (heikosti rapautuva), jossa alueen raskasmetallipitoisuudet ovat luontaisesti pieniä, pääosin laskeumasta peräisin. Sekä mustaliuske- että kvartsiittialoilla on 3 toimenpidealuetta (avohakkuut) ja 2 referenssialaa (ei toimenpiteitä). Molemmilla kallioperäalustoilla tehdään avohakkuiden lisäksi kantojen nosto ja hakkuutähteiden korjuu. Kalibrointiaika ennen päätehakkuuta on 1 vuosi, jonka aikana mm. on otettu turve- ja neulasnäytteet aloilta, sekä seurattu valuntavesien laatua ja määrää. Hakkuiden jälkeen tilannetta seurataan vähintään 2-3 vuoden ajan. Esittelemme tässä kalibrointiajan kevätjakson purovesinäytteiden tuloksia.

Alustavat tulokset

Alustavat tulokset osoittivat eroja eri kallioperäalustalta otettujen vesinäytteiden ravinne- ja raskasmetallipitoisuuksissa, erityisesti Ca, Mg, K, SO_4, Cu ja Ni pitoisuudet olivat korkeammat mustaliuskealueen valuntavesissä (taulukko 1), sen sijaan vastaavia eroja ei havaittu kokonaiselohopean tai metyylielohopean suhteen (kuva 1).

Taulukko 1. Purovesien alkuainepitoisuuksien ja pH:n keskiarvo ($\bar{x}$) ja keskihajonta (sd) eri kallioperäalustoilla. Näytteet on otettu16.4 –29.5.2008 välisenä aikana, n=8.

		pH	DOC	Ca	Mg	K	SO4	Cd	Cr	Cu	Ni
			mg L^{-1}					µg L^{-1}			
mustaliuske											
ML7	$\bar{x}$	5,3	14,5	6,6	4,1	1,2	29,5	1,2	1,6	3,5	68,5
	sd	0,34	4,12	1,80	1,36	0,22	10,50	1,44	0,29	1,07	20,57
ML9	$\bar{x}$	5,6	17,1	2,1	0,6	0,7	4,8	0,1	1,4	0,7	1,4
	sd	0,46	9,99	0,74	1,13	0,29	0,91	-	0,22	0,83	0,46
M10	$\bar{x}$	4,4	21,4	0,5	0,3	0,4	5,8	0,1	1,8	1,1	1,4
	sd	0,21	8,20	0,09	0,05	0,14	1,65	-	0,37	2,14	0,40
ML10	$\bar{x}$	5,5	21,0	3,2	1,0	0,6	2,8	0,1	0,9	2,7	2,6
	sd	0,42	7,90	1,3	0,4	0,2	0,48	-	0,21	3,47	0,46
kvartsiitti											
KV13	$\bar{x}$	5,7	17,2	2,3	0,8	0,5	1,1	0,1	1,4	0,9	1,0
	sd	0,40	5,04	0,62	0,01	0,23	0,17	-	0,38	1,12	0,22
KV14	$\bar{x}$	5,4	31,5	2,4	1,1	0,4	0,8	0,1	1,2	1,4	1,2
	sd	0,43	3,28	0,71	0,34	0,18	0,15	-	0,46	1,17	0,46
KV22	$\bar{x}$	5,6	17,5	1,2	0,6	0,3	1,1	0,1	1,5	1,7	1,9
	sd	0,29	2,09	0,18	0,01	0,11	0,26	-	0,28	1,41	0,45
S24	$\bar{x}$	5,0	17,7	0,7	0,3	0,3	1,5	0,1	1,2	1,7	1,2
	sd	0,40	3,7	0,1	0,1	0,0	0,15	-	0,23	0,98	0,40



Kuva 1. Puroveden kokonais- (totHg) ja metyylielohopean (MeHg) pitoisuudet mustaliuske- ja kvartsiitti aloilla.

Kasvien bioottisen ja abioottisen stressin torjunta kompostin avulla

Use of compost for control of biotic and abiotic stress of crops

Mauritz Vestberg[1], Sanna Kukkonen[1], Saija Rantala[1], Petr Prochazka[1], Saara Tuohimetsä[1], Päivi Parikka[2], Dan Yu[3], Jukka Kurola[3], Martin Romantschuk[3] ja Heikki Setälä[3]

[1] MTT/ Kasvintuotannon tutkimus, Taimistoryhmä, Antinniementie 1, 41330 Vihtavuori
[2] MTT/ Kasvintuotannon tutkimus, kasvinsuojelu, 31600 Jokioinen
[3] Helsingin Yliopisto, Ympäristöekologian Laitos, Niemenkatu 73, 15140 LAHTI

Johdanto

Komposti on maanparannusaine, jonka vaikutukset ovat moninaisia. Se vaikuttaa maaperän ja kasvualustan ravinnepitoisuuteen, rakenteeseen, huokoisuuteen, orgaaniseen ainekseen, vedenpidätyskykyyn ja taudinestokykyyn [1]. Kompostien käyttöä kasvitautien torjunnassa on Suomessa tutkittu vähän. Ilmiön selittäjiksi on ehdotettu erilaisia fysikaalisia, kemiallisia ja biologisia mekanismeja [2], kuten (1) kilpailua ravinteista, (2) humus- tai fulvohappo-vaikutusta, kompostien mikrobipopulaatioiden aikaansaamaa (3) loisintaa, (4) antibiosista tai (5) kasvin systeemisesti virittynyttä kestävyyttä taudinaiheuttajia vastaan. On myös havaittu, että kompostin luontainen mikrobisto on pystynyt vähentämään *Pythium*- [3], *Phytophthora* [2], *Rhizoctonia* [4] ja *Fusarium* -sienten [5] aiheuttamia juuristotauteja. Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää onko Suomessa tuotetuissa ja Elintarviketurvallisuusviraston (Evira) hyväksymissä laitoskomposteissa kasvien kuivuus- ja juuristotautistressiä vähentäviä ominaisuuksia. Mikäli näitä toivottuja ominaisuuksia esiintyy, jatkotukimukissa on tarkoitus selvittää onko kompostien taudin- ja kuivuudenestokyvyn takana biologinen ja/tai fysikaalis-kemiallinen mekanismi.

Aineisto ja menetelmät

Kokeissa on ollut mukana 21 kompostierää, jotka ovat peräisin kompostointilaitoksilta ympäri Suomea. Kompostit ovat biojäte-, puutarhajäte-, liete- ja lantakomposteja. Kompostien vaikutuksia kasvien kuivuudensietokykyyn tutkittiin kasvihuonekurkulla. Koe kesti 6 viikkoa. Kuivuusstressiä arvioitiin mittaamalla lehtivihreän fluoresenssia useina päivinä kastelun lopettamisen jälkeen sekä määrittämällä kasvien vesipitoisuus ja verson kuivapaino (kasvu) kokeen lopuksi. Kompostien taudinestokykyä tutkittiin mansikan tyvimätää (aiheuttaja *Phytophthora cactorum*) vastaan. Kokeen kesto oli 6 viikkoa, jolloin versojen kuntoa seurattiin viikottain asteikolla 0-5 (0 = lakastunut, 5 = täysin oireeton). Kokeen lopussa määritettiin myös tainten juurakon ruskettuneisuus asteikolla 0-1 (0 = oireeton, 1 = voimakkaasti ruskettunut), *Phytophthora*-munaitiöiden määrä hiusjuurissa sekä versojen tuore- ja kuivapaino. Jatkotutkimuksiin valitusta kompostieristä tutkitaan myös mikrobipopulaatioita.

Tulokset ja niiden tarkastelu

Yleisesti stressimittarina käytetty lehtivihreän fluoresenssiarvo Fv/Fm ei soveltunut kurkun kuivuusstressin mittaukseen (eikä mikään fluoresenssimittauksen parametri), koska se ei reagoinut kuivuuskäsittelyyn toivotulla tavalla. Silmin nähden nuutuneet ja kuivuudesta kärsivät kurkut eivät mittausten mukaan kärsineet stressistä. Kuivuusstressin vaikutusta jouduttiin arvioimaan pelkästään kurkun verson kasvun avulla. Kuivuuskäsittely vähensi tainten kasvua yleisesti ottaen, mutta suurimmassa osassa komposteista kasvun vähenemä ei ollut merkittävä. Komposteissa 2, 5, 9, 12 ja 19 kuivuuden vaikutus oli merkittävä.

Tulosten (Taulukko 1) perusteella on alustavasti valittu 10 kompostia jatkotutkimuksiin. Näistä seitsemällä biojäte- ja puhdistamolietepohjaisella kompostilla (nro 3, 5, 7, 8, 11, 14, 17) on mahdollisesti tautisuppressiivisia vaikutuksia. Jatkoon valittiin myös kaksi kompostia (nro 13, 20), joilla ei havaittu olevan selviä mansikan tyvimätäoireita vähentäviä vaikutuksia sekä yksi komposti (nro 19), joka näytti lisäävän oireita. Näiden kaikkien jatkotutkimuksiin valittujen kompostien mikrobiyhteisöjä - bakteereja, sieniä ja sädesieniä - tutkitaan molekyylibiologisten menetelmien (qPCR, DGGE ja DNA sekvensointi) avulla**.** Kompostien valintaa tarkistetaan vielä alkuvuonna 2009 kurkulla tehtävän *Pythium ultimum*-tautisuppressiivisuustestin perusteella.

Taulukko 1. Laitostuotettujen kompostien vaikutus kurkun kuivuudensietokykyyn ja tyvimädän ilmenemiseen mansikalla. Tulokset suhteutettuna kontrolliin, jossa ei ole kompostia (+ = positiivinen vaikutus, - = negatiivinen vaikutus). yläpuolelle.

	Kuivuusstressikoe kurkulla		*P. cactorum* –koe mansikalla			
Komposti nro	Kuivapaino	Lehtivihreän fluoresenssiarvo (Fv/Fm)[1]	Kuivapaino	Verson kunto 0 - 5	Juurakon ruskettuminen 0 - 1	*P. cactorum* Itiöitä[2]
1	+ 9.7	- 0.1	- 6.5	- 1.4	- 0.18	+
2	- 17.8	- 0.2	+ 5.0	- 0.4	+ 0.02	+
3	- 8.0	+ 0.5	+ 14.7	+ 0.6	+ 0.22	-
4	- 5.5	- 0.3	+ 6.7	+ 0.8	+ 0.16	-
5	- 22.1	+ 0.4	+ 25.3	+ 0.6	+ 0.06	-
6	- 7.4	- 0.6	+ 7.7	+ 0.4	+ 0.16	-
7	- 14.0	- 0.5	+ 15.5	+ 0.8	+ 0.18	+
8	- 6.0	+ 0.8	+ 18.0	0.0	+ 0.06	-
9	- 20.9	- 0.1	- 8.4	+ 0.2	0.0	+
10	+ 13.8	+ 0.4	+ 0.8	+ 0.6	+ 0.10	+
11	- 9.6	- 0.6	+ 8.3	+ 0.8	+ 0.24	-
12	- 17.0	+ 0.2	- 5.8	- 0.8	- 0.16	+
13	- 2.7	0.0	+ 5.2	+ 0.2	+ 0.04	+
14	- 3.8	- 0.5	+ 15.6	+ 0.2	+ 0.14	-
15	- 6.8	- 0.8	+ 12.8	- 0.4	+ 0.02	-
16	- 9.2	- 0.2	- 1.3	- 0.4	0.0	+
17	- 8.6	- 0.2	+ 14.0	+ 0.8	+ 0.24	-
18	- 4.1	- 0.3	- 2.3	+ 0.4	+ 0.12	-
19	- 17.0	- 0.2	- 43.8	- 3.2	- 0.54	-
20	- 10.4	- 0.2	+ 12.6	+ 0.2	0.0	+
21	- 4.8	+ 0.4	-5.4	- 1.0	- 0.02	-

[1] Mitattu kahden kuivuusjakson (4 ja 5 vrk) jälkeen. [2] Itiöitä löytyi (+) tai ei löytynyt (-).

Kirjallisuus

[1] Itävaara, M., Vikman, M. ja Venelampi, O. 1997. Windrow composting of biodegradable packing materials. *Compost Science and Utilization* 5: 84-92.

[2] Hoitink, H.A.J. ja Boehm, M.J. 1999. Biocontrol within the context of soil microbial communities: a substrate-dependent phenomenon. *Annual Review of Phytopathology* 37: 427-446.

[3] McKellar, E. ja Nelson, E.B. 2003. Compost-induced suppression of *Pythium* damping-off is mediated by fatty-acid-metabolizing seed-colonizing microbial communities. *Applied and Environmental Microbiology* 69: 452-460.

[4] Nakasaki, K., Hiraoka, S. ja Nagata, H. 1998. A new operation for producing disease-suppressive compost from grass clippings. *American Society for Microbiology* 64: 4015-4020.

[5] Suárez-Estrella, F., Vargas-García, C., López, M.J., Capel, C. ja Moreno, J. 2007. Antagonistic activity of bacteria and fungi from horticultural compost against *Fusarium oxusporum* f.sp. *melonis*. *Crop Protection* 26: 46-53.

Puiden ja varpujen juurten lajikohtainen massasuhteiden määrittäminen infrapunaspektroskopian avulla

Quantification of species-specific mass-proportion of tree and shrub roots with near infrared spectroscopy (NIRS)

Noora Ilola[1], Petra Vávřová[1] ja Raija Laiho[1]

[1]Metsäekologian laitos, Helsingin yliopisto, PL 27 (Latokartanonkaari 7), 00014 Helsingin yliopisto. Sähköposti noora.ilola@helsinki.fi

Johdanto

Työn tarkoituksena oli selvittää, onko juurten tunnistaminen useamman lajin sekanäytteistä lajilleen ja massasuhteilleen mahdollista infrapunaspektroskopian avulla. Juurten määrittäminen perinteisin menetelmin on työlästä ja hankalaa. Siksi tutkittaessa juurten biomassaa ja tuotosta maasto-olosuhteissa on yleensä esitetty vain kokonaistuloksia tai karkeita ryhmätason tuloksia. Lajitason tietoa kuitenkin tarvittaisiin esimerkiksi ekosysteemimallien kehittämiseen.

Infrapunaspektroskopian on todettu olevan nopea, yksinkertainen ja helppo menetelmä erilaisten aineiden kemiallisen koostumuksen määrittämiseen [1,4]. Maatalouden ja elintarviketeollisuuden piirissä infrapunaspektroskopian käyttö on rutiininomaista esimerkiksi ravintotalousteollisuuden laadunvalvonnassa [4]. Ekologista soveltamista on tutkittu mm. maaperän biologisten ja kemiallisten ominaisuuksien määrittämisen apuvälineenä. Tästä saadut tulokset ovat lupaavia [7]. Tulokset aiemmista juurten infrapunaspektroskooppisista tutkimuksista ovat myös lupaavia [2,5,6], vaikka lukumäärältään vähäisiä. Monilajisten puuvartisten kasvien sekanäytteisiin menetelmää ei ole aikaisemmin sovellettu.

Aineisto ja menetelmät

Työssä käytettiin 6 varpu- ja 2 puulajin eläviä juuria läpimittaluokissa 0-2 mm ja 2-5 mm sekä mesotrofista saraturvetta. Juuret kerättiin nostamalla maasta kasviyksilöitä juuristoineen. Turve ja puhdistetut juuret ilmakuivattiin ja jauhettiin homogeeniseksi massaksi, laji- ja kokoluokkakohtaisesti. Juurijauheista koostettiin erilaisia 1- 6 kasvilajia sekä turvetta sisältäviä yhdistelmiä, joista kuvattiin spektrit aallonpituusvälillä 650-4000 nm.

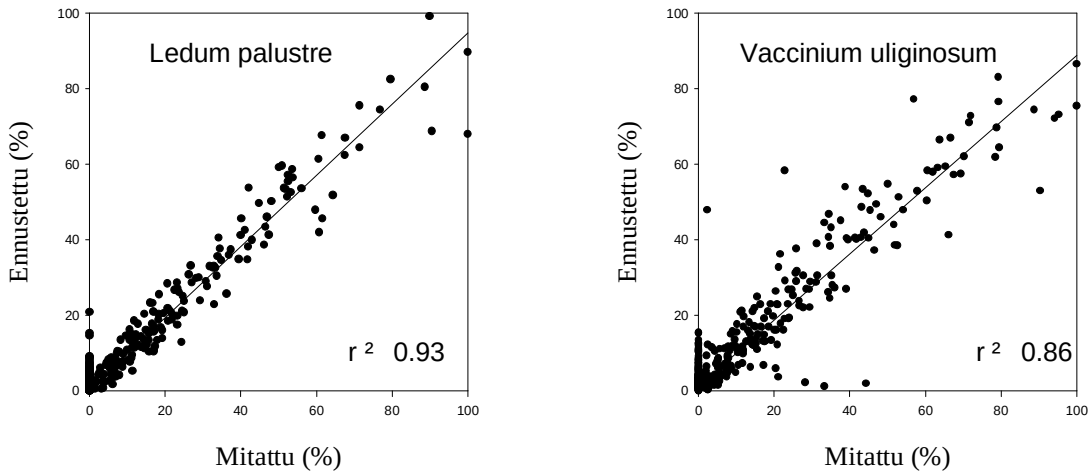
Aineistoon kokeiltiin erilaisia esikäsittelymenetelmiä. Näillä pyrittiin saamaan spektrikäyrien merkitsevät erot paremmin esille. Esikäsittelemättömälle, liikkuvien keskiarvojen menetelmällä segmenttikoolla 2 sekä Savitzky-Golay'n ensimmäisen derivaatalla käsitellylle aineistolle luotiin kalibrointimallit sekä PLS1- että PLS2-menetelmillä. Mallit luotiin läpimittaluokille 0-2 mm ja 2-5 mm sekä lajitasolle ilman jakoa läpimittaluokkiin. PLS1-menetelmä laskee mallin yhdelle muuttujalle muita huomioimatta, kun PLS2-menetelmä kykenee ottamaan huomioon useampia muuttujia samanaikaisesti [3]. Kalibrointimallien suorituskykyä arvioitiin keskivirheen ja selitysasteen perusteella. Lisäksi huomioon otettiin selittävien pää-komponenttien määrä. Mallit luotiin The Unscrambler 9.2 -ohjelmistolla.

Tulokset ja tarkastelu

Saatuja tuloksia voidaan pitää riittävän hyvinä lajikohtaisten massasuhteiden määrittämiseen. Spektriaineiston esikäsittelyn vaikutus ei ollut kovin suuri, mutta esikäsittely paransi tulosta erityisesti selittävien pääkomponenttien määrän suhteen. Parhaan tuloksen antava esikäsittelymenetelmä vaihteli jonkin verran lajista riippuen, mutta yleisesti pätevin oli Savitzky-Golay'n ensimmäinen derivaatta. Saaduilla malleilla keskivirheet nousivat aiempiin tutkimuksiin verrattuna korkeammiksi, selitysasteet jäivät matalammiksi sekä pääkomponenttien

määrä oli joillakin lajeilla huomattavasti suurempi. Mallien heikompaa suorituskykyä voidaan selittää tutkittavien lajien suurella määrällä.

Parhaan mallinnusmenetelmän arviointi ei ole yksiselitteistä vaan vaihtelee käyttötarkoituksen ja arvioinnin painotusten mukaan. PLS1-menetelmä antaa useimmilla lajeilla ja esikäsittelyvaihtoehdoilla tarkemman mallin kuin PLS2-menetelmä. Tulosten mukaan molempien menetelmien malleja on mahdollista käyttää sekä juurimateriaali erotettuna läpimittaluokkiin (0-2 mm ja 2-5 mm) että lajikohtaisessa tarkastelussa (0-5 mm). PLS2-malleisssa pääkomponenttien määrä kohoaa kuitenkin korkeaksi, erityisesti kun juuret on erotettu läpimittaluokkiin. Tämä johtuu muuttujien suuresta määrästä. Kokonaisuudessaan pidämme menetelmää lupaavana metsäekosysteemin juuriston lajisuhteiden selvittämiseen.



Kuva 1. *Ledum palustren* ja *Vaccinium uliginosumin* kalibroinnin regressiosuorat PLS1-menetelmällä Savitzky-Golay'n 1. derivaatan esikäsittelyllä.

Kirjallisuus

[1] Brimmer, P. J. & Hall, J. W. 2001. Method development and implementation of Near-Infrared Spectroscopy in industrial manufacturing support laboratories. Teoksessa: Williams, P. & Norris, K. (toim.) *Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries*. American Association of Cereal Chemists Inc. St. Paul, Minnesota, s. 187-198.

[2] Crouzet, G., Harmand, J-M., Joffre, R., Siles, P. & Dambrine, E. 2007. Quantifying fine root biomass distribution of coffee and tree in a *Coffee arabica - Inga densiflora* assosiation using near infrared spectroscopy (NIRS). *Second International Symposium on Multi-Strata agroforestry systems with perennial crops: Making ecosystem services count for farmers, consumers and the environment*, September 17-21, 2007 Turrialba, Costa Rica.

[3] Martens, H. & Næs T. 1991. *Multivariate Calibration*. John Wiley & sons, Chichester.

[4] Osborne, B. G. 2000. Near-infrared Spectroscopy in Food Analysis. Teoksessa: Meyers, R. A. (toim.). *Encyclopedia of analytical chemistry applications, theory and instrumentation*. John Wiley & sons, Chichester.

[5] Roumet, C., Picon-Cochard, C., Dawson, L. A., Joffre, R., Mayes, R., Blanchard, A. & Brewer, M. J. 2006. Quantifying species composition in root mixtures using two methods: near infra-red reflectance spectroscopy and plant wax marker. *New Phytologist* 170: 631-638.

[6] Rumbaugh, M. D., Clark, D. H. & Pendery, B.M. 1988. Determination of root mass ratios in alfalfa-grass mixtures using near infrared reflectance spectroscopy. *Journal of Range Management* 41: 488-490.

[7] Terhoeven-Urselmans, T., Schmidt, H., Joergensen, R. G. & Ludwig, B. 2008. Usefulness of near-infrared spectroscopy to determine biological and chemical soil properties: Importance of sample pre-treatment. *Soil Biology and Biochemistry* 40: 1178-1188.

Relations of soil age, soil properties and forest vegetation on Olkiluoto Island

Anne-Maj Lahdenperä[1], Reija Haapanen[2], Lasse Aro[3] and Ari Ikonen[4]

[1]Pöyry Environment Oy, Vantaa,
[2]Haapanen Forest Consulting, Vanhakylä,
[3]Finnish Forest Research Institute, Parkano,
[4] Posiva Oy, Eurajoki

Spent nuclear fuel is planned to be disposed of in a repository located on Olkiluoto Island, which is situated on the Finnish coast of the Baltic Sea. The island has been under intensive and diverse environmental studies for years due to the repository programme and construction works on the island. This means, that plenty of data are now available for cross-disciplinary research. The data sources include e.g. some bedrock investigation trenches and deep soil pits dug by an excavator, a grid of shallow groundwater observation tubes, a systematic (1/ha) forest inventory grid and its sub-sample from which soil and vegetation survey data are available, a wet deposition monitoring grid, and as many as three intensively monitored forest plots corresponding to Level II plots in Pan-European Programme for Intensive and Continuous Monitoring of Forest Ecosystems. In this study, we took advantage of this unique situation, and studied the relationships of soil age, soil properties and forest vegetation on the island. We were interested in spatial prediction over the studied area. i.e. wall-to-wall maps of the central soil and vegetation parameters.

Owing to the relatively rapid land up-lift (6 mm/y) and flat topography, the soils are 0-2500 years old – the higher location, the longer time from the emergence from the sea. The overburden is mainly sandy till, the other terrestrial sediment types being, in order of abundance, fine sand, silt and clay. The soils are stony. The thickness of the overburden is usually 2-5 m. Owing to the young age, the soils are on average more fertile than in Southwest Finland. Spruce is the main tree species (climax species on these till dominated soils), but intensive forest management has somewhat disturbed the natural conditions, which is seen in an increased proportion of pine in younger age classes. Black alder typically forms a belt right behind the treeless shore vegetation zones, but the width of this belt often corresponds to just one tree, due to the unsuitable soil types.

We used the intensively measured sub-sample of the forest inventory grid. Comprehensive soil analyses were available from 76 forested mineral soil plots, distributed on different forest types in an area covering about 500 ha. Soil ages at different locations were predicted from a digital elevation model. A time series of aerial photographs, stretching from present to year 1946, was used to estimate human impact on the area. Forest site type classification of the systematic forest inventory grid was used to study the relations between forest vegetation and soil properties.

Variograms of age-related soil properties (e.g., C, N and C/N relation in organic layer and the uppermost mineral soil layer) were calculated and interpreted. The differences in physical and chemical properties, in relation to the location on the island were visible in the produced variograms. There was greater variation with increasing between plot distance in directions 0, 45 and 90º, but generally not in direction 135º, which corresponds to the main axis of the island, having emerged from the sea at about same time, and probably been exposed to similar soil-forming processes. The humus layer showed greater spatial correlation than the 0-10 cm soil layer. Part of the spatial variation has been caused by other processes than land up-lift (distribution of fines due to ice age and following sea phases). Continuous surfaces of the studied soil properties were created with spatial prediction. An example is shown in Fig. 1,

where the measured C/N values (0-10 cm layer) are plotted on the predicted surface. There was no clear relation between the forest site type (derived from ground vegetation) assessed in the field and estimated surfaces of basic variables.

It can be concluded that the network of the 76 plots measured in great detail can be considered too sparse to serve as basis for spatial prediction. Furthermore, the intensive forest management has disturbed the natural vegetation succession and affected the soil properties after the emergence from the sea, making prediction more complicated

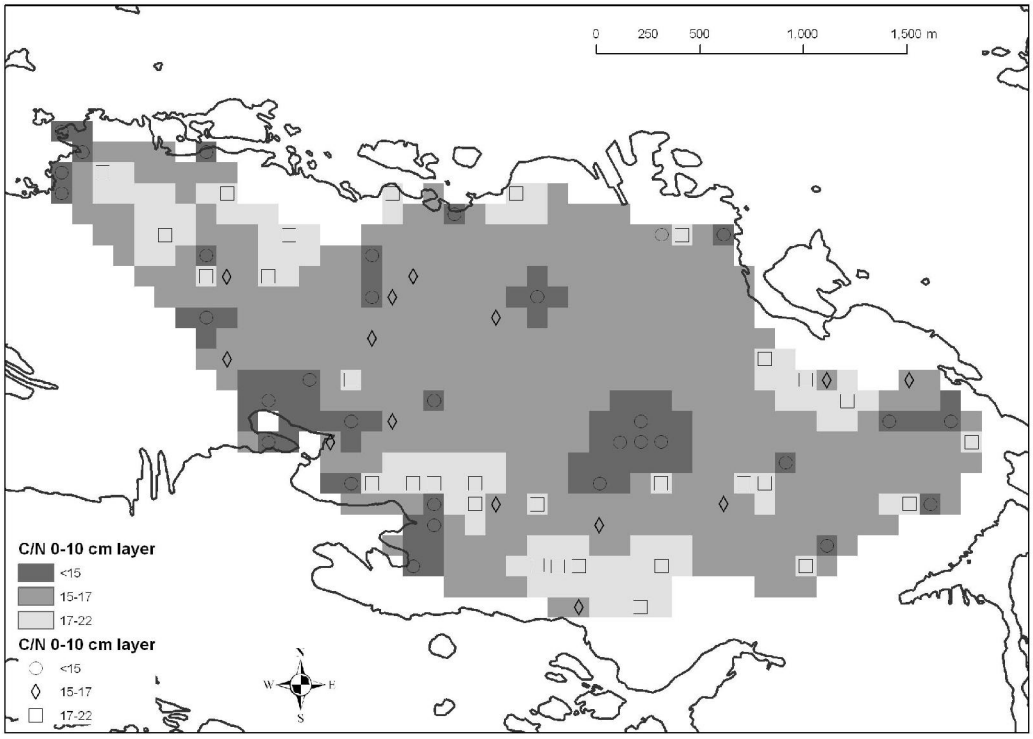


Figure 1. Measured C/N values (0-10 cm layer) plotted over the predicted C/N surface (coastline: Nautical map (c) Finnish Maritime Administration, permit 925/721/2005).

Maaperän paksuus metsämailla

Soil thickness in forest areas

Hannu Mannerkoski[1], Kari T. Korhonen[2] ja Ari Laurén[2]

[1] Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta, PL 111, 80101 Joensuu
[2] Metsäntutkimuslaitos, Joensuun toimintayksikkö, PL 68, 80101 Joensuu

Johdanto

Alueita, joilla kallioperän päällä oleva maakerros on ohut (< 1 m paksu), kutsutaan maaperägeologiassa kalliomaiksi ja niitä on Geologian tutkimuskeskuksen maaperäkartan tietojen mukaan 13,4 % maa-alasta [2]. Metsämaina ne kuuluvat joko metsä-, kitu- tai joutomaihin. Yleensä maa-aines on näissä tapauksissa moreenia. Täysin paljaan kallion pinta-alaosuudeksi on arvioitu 5 % [3]. Kansainvälisissä maannosluokituksissa ohuet maapeitteet erotetaan omina luokkinaan. Soil Taxonomy käyttää maan paksuutta alaryhmä(subgroup)-tasolla eli hierarkian neljännellä luokitustasolla ja rajana on 50 cm, jota ohuempi maakerros saa lithic tunnuksen [4]. WRB:n luokituksessa ohuet maat muodostavat oman pääluokkansa, Leptosolit (kalliomaat) ja rajana on 25 cm [7]. Niissä voidaan vielä erottaa lithic lisämääreellä alle 10 cm:n maakerrokset ja avokalliot (nudilithic). Muissakin pääluokissa ohuita maita, jotka siis ovat kuitenkin yli 25 cm paksuja, voidaan erottaa leptic-tunnuksella, joka tarkoittaa < 100 cm:n paksuutta ja joka voidaan jakaa < 50 cm (epileptic) ja 50 cm – 100 cm luokkiin (endoleptic). Metsämaana metrin paksuinen maakerros ei yleensä vielä ole puiden kasvua rajoittava, mutta 25 cm–50 cm paksuiset ja varsinkin ohuemmat kerrokset kyllä alkavat olla. Leptosolien esiintymistä Suomessa on kuvattu hiljattain [5]. Tässä työssä on tavoitteena tarkentaa ohuiden maakerrosten esiintymistä ja metsätaloudellista merkitystä Suomessa.

Aineisto ja menetelmät

Tutkimusaineistona käytettiin valtakunnan metsien 10. inventoinnin (VMI10) vuosien 2004 – 2007 maastoaineistoa [1]. VMI10-aineisto on ryvästetyllä systemaattisella otannalla kerätty tilastollinen otos Suomen metsistä. Kolmen pohjoisimman kunnan (ns. Ylä-Lapin) alueella aineistona käytettiin VMI9:n vuoden 2003 aineistoa [6]. VMI:n mittauksissa havaintoja tehdään puustokoealoilta ja koealakuvioilta, joille puustokoeala ulottuu. Tutkimuksessa käytetty aineisto koostuu 45 029:stä metsä-, kitu- ja joutomaan keskipistekuviosta. Kasvupaikkaa ja puustoa kuvaavat tunnukset on määritetty pääosin koko metsikkökuviota koskevina, mutta maaperätunnukset kullekin puustokoealalle (maksimisäde Etelä-Suomessa 12,52 m ja Pohjois-Suomessa 12,45 m) kuvioittain. Maaperätunnuksia ovat orgaanisen kerroksen laatu ja paksuus, maalaji, keskiraekoko ja maaperän paksuus. Maaperän paksuus arvioidaan VMI:ssä luokkamuuttujana luokin: alle 10 cm, 10 – 30 cm, yli 30 cm. Maaperään luetaan kallioperän päällä oleva kivennäismaa ja orgaaninen kerros. Arviointi tehdään kivirassin avulla silmävaraisesti. Koealojen edustavuudet on laskettu metsäkeskuksittaisten maapinta-alojen ja maalle osuneiden koealakeskipisteiden lukumäärien osamääränä [1].

Tulokset ja tarkastelu

VMI10 tulosten mukaan ohuita maapeitteitä (paksuus < 30 cm) esiintyy metsätalouden maalla koko Suomessa lähes 2,5 miljoonaa hehtaaria eli 9,5 % pinta-alasta ja erittäin ohuita (paksuus < 10 cm) maitakin on lähes miljoona hehtaaria. (3,7 %) (taulukko 1). Mukana ovat myös kitu- ja joutomaat ja pois jäävät vain muu metsätalousmaa (esim. metsätiet), rakennetut maat sekä pellot, joilla kallio harvoin on lähellä pintaa. Saatu tulos on hyvin yhteensopiva alle metrin paksuisten maiden arvioidun määrän (13,4 % koko maa-alasta) kanssa [2]. Suhteellisesti eniten ohuita maita esiintyy luonnollisesti metsä-, kitu- ja joutomaiden kalliomaat ja hietikot kasvupaikkaluokassa (< 10 cm 70 % – 80 %, < 30 cm 90 % – 100 %). Karukkokankaista noin

Taulukko 1. Maan paksuusluokkien pinta-alat (km^2) ja suhteelliset osuudet metsätalouden maan eri maaluokilla sekä erikseen kangasmailla.

Maa-luokka	Pää-tyyppi	Maan paksuus						Yhteen-sä
		< 10 cm		10 cm - 30 cm		> 30 cm		
		km^2	%	km^2	%	km^2	%	km^2
Metsämaa	Kangas	4274	2,8	11862	7,8	135967	89,4	152103
	Yhteensä	4348	2,2	12237	6,1	184910	91,8	201494
Kitumaa	Kangas	2971	31,9	1339	14,4	5010	53,8	9319
	Yhteensä	3095	11,3	1560	5,7	22665	83,0	27319
Joutomaa	kangas	2134	20,8	1149	11,2	6963	68,0	10246
	Yhteensä	2218	6,9	1228	3,8	28785	89,3	32231
Yhteensä		9660	3,7	15024	5,8	236360	90,5	261044

40 %:ssa maata oli < 30 cm (27 % < 10 cm), kuivista kankaista 18 %:ssa (7 %), kuivahkoista kankaista 13 %:ssa (4 %), tuoreista kankaista 9 %:ssa (2 %) ja lehdoista ja lehtomaisista kankaista 6 %:ssa (1 %). Ohuiden maiden esiintyminen tuloksissa satunnaisesti myös rehevimmissä kasvupaikkaluokissa selittyy sillä, että VMI:ssä kasvupaikkaluokka arvioidaan kuviokohtaisena ja maaperätunnukset koealakohtaisina. Ohuiden maiden suhteellisen osuuden alueellinen jakautuminen oli nyt hyvin samanlainen kuin VMI9:n tuloksista laskettu Leptosolien esiintyminen [5]. Ohuilla mailla humuskerroksen keskimääräinen paksuus oli pienin, sillä metsämaan kankailla se oli maakerroksilla < 10 cm 2,8 cm, 10 cm – 30 cm 4,3 cm ja > 30 cm 5,3 cm. Kuivilla kankailla ja varsinkin karukkokankailla humuskerros oli muita ohuempi < 10 cm:n (2,4 cm ja 1,6 cm) ja > 30 cm:n (3,5 cm ja 2,1 cm) maanpaksuusluokissa.

Kun maakerros on < 10 cm paksu, ei maanmuokkausta enää voi käyttää ja uudistaminen on yleensä tehtävä luontaisesti. Metsämaan alasta näitä on vajaa 3 % eli noin 430 000 ha. Pääosa on mäntyvaltaisia metsiä, mutta noin 70 000 ha on kuusi- ja lehtipuuvaltaisia. Kuusi- ja lehtipuuvaltaisia on vielä suhteellisesti enemmän 10 cm – 30 cm paksuilla mailla (293 000 ha 1 186 000 ha:sta), jotka nekin ovat kuuselle ja lehtipuille riskialttiita, sillä maan vesivarasto ei niissä riitä kuivina kesinä näille puulajeille puuston varttuessa, mikä näkyy puiden kunnossa.

Käytetyt rajat 10 cm ja 30 cm eivät täysin vastaa kansainvälisten maannosluokitusten rajoja (10 cm, 25 cm, 50 cm ja 100 cm) [4, 7]. Näistä 100 cm:n raja vastaa geologisen maaperäkartan rajaa [2] ja 30 cm voi hyvin rinnastaa 25 cm:iin, kuten on tehtykin [5]. Näin voidaan arvioida Suomessa olevan noin 2,5 miljoonaa hehtaaria Leptosoleja.

Kirjallisuus

[1] Korhonen, K.T., Ihalainen, A., Heikkinen, J., Henttonen, H. ja Pitkänen, J. 2007. Suomen metsävarat metsäkeskuksittain 2004-2006 ja metsävarojen kehitys 1996-2006. *Metsätieteen aikakauskirja* 2B/2007: 149-213.

[2] Kujansuu, R. ja Niemelä, J. 1990. Maaperämuodostumat. Teoksessa: Alalammi, P. (toim.) Maaperä. *Suomen kartasto* 124: 9-10.

[3] Lindroos, P. 2003. Maaperä. Teoksessa: Mälkönen, E. Metsämaa ja sen hoito. Metsälehti Kustannus. s. 7-38.

[4] Mokma, D.L. & Yli-Halla, M. 2000. Keys to Soil Taxonomy for Finland. *United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service*. 31 s.

[5] Tamminen, P. & Tomppo, E. 2008. Finnish forest soils. *Working Papers of the Finnish Forest Research Institute* 100. 21 s.

[6] Tomppo, E., Tuomainen, T., Heikkinen, J., Henttonen, H., Ihalainen, A., Korhonen, K.T., Mäkelä, H. ja Tonteri, T. 2005. Lapin metsäkeskuksen alueen metsävarat 1970-2003. *Metsätieteen aikakauskirja* 2B/2005: 199-287.

[7] World reference base for soil resources 2006. *FAO, World Soil Resources Reports* 103. 128 s.

Do the nutrient concentrations in percolation water and organic layer explain the respective element concentrations in Scots pine and Norway spruce needles?

Selittävätkö maaveden ja maan orgaanisen kerroksen ravinnepitoisuudet männyn ja kuusen neulasten ravinnepitoisuuksia?

Päivi Merilä[1] and John Derome[2]

[1]Parkano Research Unit, Finnish Forest Research Institute (METLA), Kaironiementie 54, Parkano, Finland, e-mail: paivi.merila@metla.fi
[2]Rovaniemi Research Unit, METLA, PL 16, 96301 Rovaniemi, Finland, e-mail: john.derome@metla.fi

Introduction

Mineral nutrients play an essential role in plant metabolism. In this study [1], we explored how the concentrations of macronutrients (Ca, Mg, K, N, P and S) and micronutrients (Zn and Mn) in percolation water and in the organic layer are reflected in the concentrations of the respective elements in Scots pine and Norway spruce needles. As a reference for these relationships, we also evaluated the dependence of needle S, P, Ca, K, Mg, Zn and Mn concentrations on the needle N concentration [2].

Material and methods

The 13 Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and 14 Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) plots belong to the European intensive forest monitoring network (Level II), established under the UN-ECE/ICP Forests monitoring programme [3, 4]. The plots were located on mineral soil sites throughout Finland, and covered Cajanderian forest site types ranging from herb-rich to xeric heath forests. The organic layer on all the sites was classified as mor. All the plots, except for the four Integrated Monitoring plots established in nature conservation areas, are located in semi-natural, managed forests.

The nutrient status of the stands was determined on the basis of plotwise mean concentrations of nitrogen (N), sulphur (S), phosphorus (P), calcium (Ca), potassium (K), magnesium (Mg), zinc (Zn) and manganese (Mn) in the current needles of 13 Scots pine and 14 Norway spruce plots collected in 1999, 2001, 2003 and 2005.

Percolation water was collected at 4-week-intervals during the snowfree period in 1999–2005 using zero tension lysimeters located immediately below the organic horizon (5–10 cm below the ground surface) in 7–8 of the pine and 6–8 of the spruce plots. The annual (1999, 2001, 2003 and 2005) mean element/ion concentrations of all the percolation water samples from each plot, weighted by the volume, were utilized in linear mixed model analyses to investigate the degree to which the mean concentration of an element (N, S, Ca, K, Mg, Zn, Mn) or ion/chemical component (NH_4-N, NO_3-N, total N, DON, SO_4-S, PO_4-P) in percolation water accounted for the variation in the concentration of the respective element (N, S, P, Ca, K, Mg, Zn, Mn) in the needles.

The organic layer was sampled for chemical analyses at the beginning of the monitoring programme during 1995–1997 on all the plots (n = 27). The nutrient concentrations were calculated as mean concentrations for each plot per dry weight and per organic matter. Linear regression analysis was applied to study the relationship between the element concentration in the needles and the concentration of the respective element in the organic layer. Similarly,

linear regression analysis was used to test the dependence of needle P, K, Ca, Mg, S, Zn and Mn concentrations on the needle N concentration.

Results and discussion

The nutrient concentrations in percolation water and in the current needles showed significant relationships more consistently on the spruce than on the pine plots, whereas the ratios between N and the other nutrients appeared to be more constant in the pine needles than in spruce needles. The results suggest that plant metabolism, i.e. internal translocation and/or uptake of nutrients driven by nutrient demand, i.e. the sink strength of the growing meristems, regulates the nutrient concentrations in the current needles more strongly in pine than in spruce, whereas the supply of soil nutrients is more clearly reflected in the nutrient concentrations of spruce. This difference between pine and spruce could reflect the adaptation of Scots pine to conditions of low nutrient and water availability. The variation in percolation water chemistry did not explain the year-to-year variation in needle chemistry, suggesting that fluctuations in environmental conditions (temperature, moisture) and in annual biomass production may influence the year-to-year variation in needle chemistry more than the supply of nutrients. The patterns in the relationships between the nutrient concentration in the organic layer and in the needles appeared to be more similar between pine and spruce than in the case of the relationships between the needles and percolation water, indicating a strong interdependence between the nutrient status of the organic layer and needles, which are the two important nutrient pools in boreal forest ecosystems. For both tree species, the highest covariation ($R_{adj}^2 \geq 0.73$) between nutrient concentrations in the organic layer and in the needles was found for N and Ca, both of which are essential macronutrients and strong determinants of site fertility.

References

[1] Merilä, P. & Derome, J. 2008. Relationships between needle nutrient composition in Scots pine and Norway spruce stands and the respective concentrations in the organic layer and in percolation water. Boreal Environment Research 13 (suppl. B): 35–47.

[2] Ingestad, T. 1979. Mineral nutrient requirements of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* seedlings. Physiologia Plantarum 45: 373–380

[3] Derome J., Lindgren M., Merilä P., Beuker E. & Nöjd P. 2007. Forest condition monitoring under the UN/ECE and EU programmes in Finland. In: Merilä P., Kilponen T. & Derome J. (eds.), Forest Condition Monitoring in Finland – National report 2002–2005. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 45, pp. 11–20. Available at: http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2007/mwp045.htm

[4] Merilä P. 2007. Needle chemistry on the intensive monitoring plots 1995–2003. In: Merilä P., Kilponen T. & Derome J. (eds.), Forest Condition Monitoring in Finland – National report 2002–2005. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 45, pp. 46–62. Available at: http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2007/mwp045.htm

Eroosiota ja sedimentin kulkeutumista kuvaavan INCA-SED mallin sovellus neljälle valuma-alueelle Suomessa

Application of catchment scale erosion and sediment delivery model INCA-SED to four small study catchments in Finland

Katri Rankinen[1], Marie Thouvenot-Korppoo[2] ja Daniel Butterfield[3]

[1] Suomen ympäristökeskus, PL 140, FI-00251 Helsinki, Finland, katri.rankinen@ymparisto.fi
[2] Teknillinen korkeakoului PL 1000, FI-02015 TKK, Finland
[3] The Aquatic Environments Research Centre, Reading, UK

Johdanto

Ravinteita kulkeutuu vesistöihin valumavesien mukana kiinnittyneenä maa-ainekseen. Suomessa tärkeimmät eroosion mekanismit ovat sadepisaroiden iskut maan pintaan, sekä erityisesti savimailla hiukkasten diffuusio kiinteästä maasta veteen [1]. Lisäksi maahiukkasten kulkeutumiseen vaikuttavat uomassa tapahtuvat prosessit [2]. Termillä 'sedimentin kulkeutuminen' kuvataan sekä maa-alueilla tapahtuvaa eroosiota että maahiukkasten kulkeutumista uomia pitkin valuma-alueen purkupisteeseen.

Aineisto ja menetelmät

Matemaattisessa sedimentin kulkeutumista kuvaavassa INCA-SED (Integrated Nutrients from CAtchment- Sediment) mallissa on osittain (tai näennäisesti) hajautettu rakenne. Malli yhdistää saatavissa olevan havaintoaineiston hydrometeorologiasta, maankäytöstä, eroosioherkkyydestä sekä valuma-alueen että uoman morfologiasta [3]. Mallissa joen pääuoma jaetaan osiin, ja näille osille määritellään osavaluma-alueet. Mallinnuksen perusyksikkö on siten maankäyttöluokka osavaluma-alueella.

INCA-SED mallista tehtiin sovellukset neljälle pienelle valuma-alueelle Suomessa. Valuma-alueista kolme sijaitsee Etelä-Suomessa Pääjärven ympärillä. Mustajoki, Haarajoki ja Luhdanjoki eroavat morfologialtaan selvästi toisistaan. Alueen maalajit ovat suhteellisen karkeita, lähinnä moreenia ja hiesua (Taulukko 1). Mustajoen ja Haarajoen valuma-alueista suurin osa on talousmetsää. Luhdanjoen valuma-alueesta viljeltyä on kolmannes. Neljäs valuma-alue Savijoki sijaitsee Lounais-Suomen intensiivisesti viljellyllä alueella. Valuma-alueen pellot sijaitsevat jokivarressa savimailla.

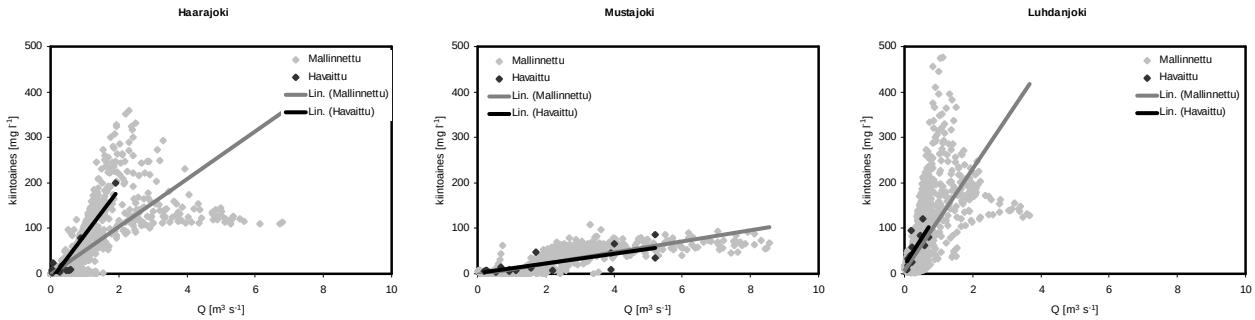
INCA-SED mallin kalibroinnissa käytettiin SYKEn kaukokartoitusaineistoa ja virtaaman- ja vedenlaadun havaintorekisterin aineistoa. Hydrologiset syötetiedot saatiin SYKEn Vesistömallijärjestelmästä.

Taulukko 1. Valuma-alueiden maankäyttö ja maalajit

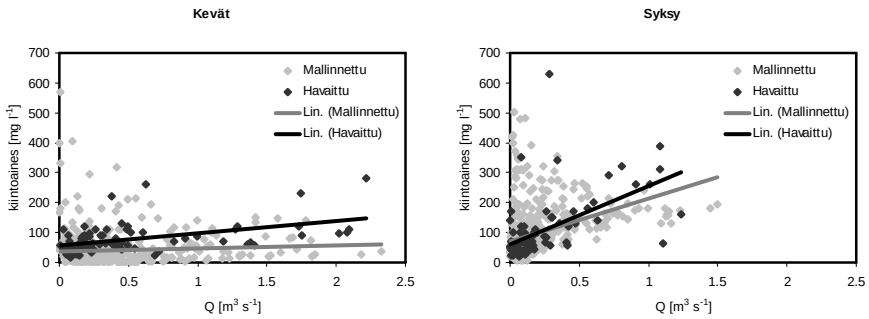
Valuma-alue	Pinta-ala	Vuosivalunta	Maankäyttö			Maalajit		
			Pelto	Kesanto	Metsä	Mr ja KHt	HHt	Sa
	km^2	mm	%	%	%	%	%	%
Haarajoki	58	212	12	11	71	64	18	0
Mustajoki	78	234	13	19	68	68	11	1
Luhdanjoki	25	-	33	19	48	42	34	10
Savijoki	15	369	36	3	61	51	0	49

Tulokset ja niiden tarkastelu

INCA-SED malli kykeni simuloimaan sekä joen kiintoainekonsentraation oikean tason että kausivaihtelun (Kuvat 1 ja 2) sekä savimailla että karkeammilla maalajeilla. Lisäksi mallinnettu sedimentin kulkeutuminen eri maankäyttöluokista vastasi Suomessa mitattuja arvoja. Esimerkiksi mallinnettu eroosio maankäyttöluokassa 'viljakasvit savimaalla' oli 806 kg ha^{-1} a^{-1}, kun mitattu arvo vaihteli välillä 760-1500 kg ha^{-1} a^{-1} [4]. Kiintoaineskonsentraation ja virtaaman välinen korrelaatio vaihteli selvästi eri joissa. Tämä ero selittyi INCA-SED mallissa valuma-alueiden maankäytöllä ja jokien erilaisella morfologialla. Mallinnetut piikit kiintoaineskonsentraatiossa olivat yleensä korkeampia kuin havaitut ja tapahtuivat yleensä juuri virtaaman alkaessa nousta. Yleensä näiden tapauksien havainnot puuttuivat. Tämän perusteella voi päätellä, että nykyinen vedenlaadun havainnointiohjelma ei välttämättä anna oikeaa tasoa kiintoaineksen kulkeutumiselle.



Kuva 1. Simuloitu ja havaittu kiintoaineskonsentraation ja virtaaman välinen korrelaatio Haarajoessa, Mustajoessa ja Luhdanjoessa



Kuva 2. Simuloitu ja havaittu kiintoaineskonsentraation ja virtaaman välinen korrelaatio Savijoessa eri vuodenaikoina

Kirjallisuus

[1] Aura, E., Saarela, K. ja Räty, M. 2002. Savimaiden eroosio. MTT:n selviytyksiä 118. 32 s.
[2] Day, S. 2007. Lecture note on sediment transport and scour. Departmet of Civil Engineering, Indian Institute of Technology. 172 p.
[3] Jarritt, N.P. and Lawrence, D.S.L. 2007. Fine sediment delivery and transfer in lowland catchments: modeling suspended sediment concentrations in response to hydrological forcing. *Hydrological Processes* (21): 2729-2744.
[4] Ekholm, P., Turtola, E., Grönroos, J., Seuri, P. and Ylivainio, K. 2005. Phosphorus loss from different farming systems estimated from soil surface phosphorus balance. *Agriculture Ecosystems & Environment* (110):266-278.

Savimaan kutistumisominaisuuksista

Shrinkage properties of clay soils

Kimmo Rasa[1], Rainer Horn[2], Mari Räty[1], Markku Yli-Halla[1] ja Liisa Pietola[3]

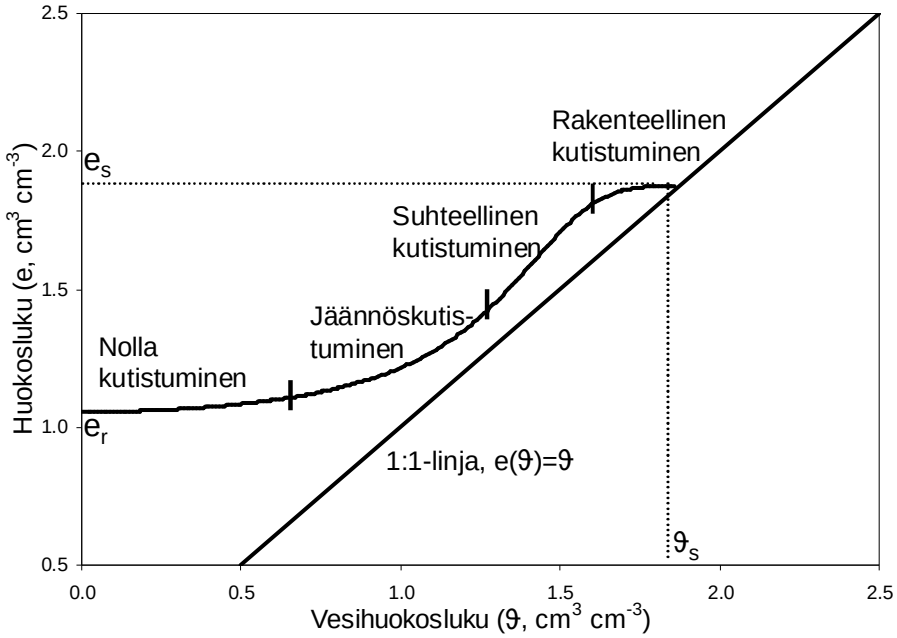
[1]Soveltavan kemian ja mikrobiologian laitos, Latokartanonkaari 11, 00014 Helsingin yliopisto.
[2]Institute of Plant Nutrition and Soil Science, Olshausenstrasse 40, 24118 Kiel, Christian-Albrechts-Universität, Germany.
[3]Research Centre Hanninghof/Yara Suomi Oy, Mechelininkatu 1 a, 00180 Helsinki

Johdanto

Boreaalisella ilmastovyöhykkeellä maan kosteustila vaihtelee huomattavasti vuoden aikana kesän kuivuudesta kevään ja syksyn lähes veden kyllästämiin ja edelleen talven jäätyneisiin olosuhteisiin. Paisumisominaisuuden omaavissa savimaissa tästä seuraa muutoksia sekä maan rakenteessa että huokostossa. Muutosten oletetaan olevan suuria etenkin keväällä, sillä maan kyllästyminen vedellä sekä sulaminen ja jäätyminen muuttavat maan rakennetta ja lujuusominaisuuksia.

Aineisto ja menetelmät

Tutkimme kuuden eri tavoin hoidetun savimaan (Jokioinen, Vertic Cambisol, savesta 51 %) kutistumisominaisuuksia. Koejäsenet olivat kynnetty pelto, niittämällä (3 v. ja 14 v.) tai laiduntamalla (3 v. ja 14 v.) hoidettu sekä hoitamaton suojavyöhyke (14 v.). Häiriintymättömät 100 cm^3:n sylinterinäytteet otettiin keväällä 2005 syvyyksiltä 0-5 ja 5-10 cm. Näytteet kyllästettiin vedellä laboratoriossa ja kuivattiin asteittain. Näytteen korkeus mitattiin jokaisen kuivauskosteuden jälkeen ja maan tilavuus laskettiin olettaen kutistumisen olevan isotrooppista. Kutistumiskäyrä ja kutistumisalueiden määritys (Kuva 1) tehtiin käyttäen Pengin ja Hornin [2] menetelmää, jossa käyrän muoto on vastakkainen Van Genuchtenin vedenpidätyskäyrälle.



Kuva 1. Kaavamainen esitys kutistumiskäyrästä ja kutistumisalueista Pengin ja Hornin (2005) mukaan. Vaaka-akselilla vesihuokosluku ϑ ja pystyakselilla huokosluku e. Alaindeksi s merkitsee vedellä kyllästettyä tilaa ja r kuivaa (+105 C°) tilaa. Teoreettisella 1:1-linjalla veden poistuminen ja tilavuuden muutos ovat yhtä suuria.

Tulokset ja tarkastelu

Kokonaiskutistuminen vaihteli välillä 5,2–10,5 % maan kokonaistilavuudesta. Rakenteellisen kutistumisen alue oli merkittävä, 18–48 % veden kokonaispoistumasta. Yleisesti muutos rakenteelliselta kutistumisalueelta suhteellisen kutistumisen alueelle tapahtui hyvin kosteassa maassa, matriisipotentiaalin ollessa noin -60 hPa. Kutistumiskäyrille oli tyypillistä pieni suhteellisen kutistumisen alue ja suuri jäännöskutistumisen alue. Kahdeksassa kahdestatoista käyrästä suhteellisen kutistumisen alueen kulmakerroin on suurempi kuin teoreetisella 1:1 linjalla.

Rakenteellisen kutistumisen alueella vesi poistuu maan makrohuokosista, mutta ei aiheuta juurikaan kutistumista. Kuitenkin muutokset maan tilavuudessa alkoivat jo hyvin kosteassa maassa. Suuri kulmakerroin suhteellisen kutistumisen alueella on taas merkki kutistumisvoimien aiheuttamasta aggregaattien välisen huokostilan romahtamisesta. Sellainenkin maa, jonka rakenne oletettiin hyväksi, kesti yllättävän heikosti kutistumisvoimia talven jälkeen. Tähän lienee syynä jäätymisen muodostamat helposti luhistuvat huokoset ja märkyyden aiheuttama maan rakenteen heikkeneminen. Toisaalta merkittävä jäännöskutistumisen alue kertoo maassa olevan myös stabiileja rakenteita. Kutistumis-paisumis-syklien määrän lisääntyessä kutistumisominaisuudet muuttuvat merkittävästi ja oletettavasti maan kyky kestää kutistumisvoimia paranee. Tuloksia tulkittaessa tuleekin ottaa huomioon maan kutistumisominaisuuksiin vaikuttavat vuodenaikaisvaihtelut.

Tulokset osoittavat maassa tapahtuvan merkittävää partikkelien uudelleen järjestäytymistä ja rakenteellisia muutoksia, jotka vaikuttavat maan hydraulisiin ominaisuuksiin osin palautumattomasti. Veden liikkeiden mallinnuksessa tämä tulee ottaa huomioon käytettävää yhtälöä valittaessa, sillä esimerkiksi Richardsin kaavan taustaoletus muuttumattomasta huokosrakenteesta ei toteudu maan kuivuessa [1].

Kiitokset
Tätä tutkimusta ovat rahoittaneet Maa- ja metsätalousministeriö, Maj ja Tor Nesslingin Säätiö sekä Maa- ja vesitekniikan tuki ry.

Viitteet

[1] Clothier, B. & Scotter, D. 2002. Unsaturated water transmission parameters obtained from infiltration. In *Method of soil analysis. Part 4-Physical methods* (Eds. Dane, J.H. & Topp, G.C.). Soil Science Society of America, Inc. Madison Wisconsin USA, s. 879-898.

[2] Peng, X. & Horn, R. 2005. Modeling soil shrinkage curve across a wide range of soil types. *Soil Science Society of America Journal*, 69, 584-592.

TEHO-hanke panostaa maatalouden vesiensuojeluun

More effective agricultural water protection

Kimmo Rasa, Sami Talola ja Airi Kulmala

TEHO-hanke, Lounais-Suomen ympäristökeskus, PL 47, 20801 Turku.

TEHO-hanke

Satakunnan ja Varsinais-Suomen tuottajaliitojen sekä Lounais-Suomen ympäristökeskuksen toteuttamassa Tehoa maatalouden vesiensuojeluun (TEHO) -hankkeessa (v. 2008 - 2010) kehitetään ja toteutetaan käytännön vesiensuojelutoimenpiteitä yhteistyössä lounaissuomalaisten maatalousyrittäjien kanssa. Hankkeen rahoittavat maa- ja metsätalousministeriö sekä ympäristöministeriö.

Maatalouden vesiensuojelu on haasteellista, koska maatalous on hyvin monimuotoista ja monet ympäristötekijät vaikuttavat toimien onnistumiseen. Hankkeessa pyritään löytämään keinoja vesiensuojelun tehostamiseen tilakohtaisten ratkaisujen kautta. Lisäksi tehdään tilakohtaisia kokeiluja eri yhteistyötahojen kanssa. Kokeilutoimintaa on käynnistynyt esimerkiksi lannanlevitykseen ja -käsittelyyn, täsmäviljelyyn sekä kipsin käyttöön fosforin sitojana liittyen.

Yhteistyötä viljelijän ja tutkijoiden välillä

TEHO-hankkeen yhtenä tavoitteena on lisätä yhteistyötä ja tiedonvaihtoa viljelijöiden ja tutkijoiden välillä. Tähän mennessä saadun kokemuksen perusteella viljelijät ovat suhtautuneet kokeilu- ja tutkimustoimintaan positiivisesti ja tuoneet arvokasta osaamistaan mukaan kokeilujen tekniseen toteutukseen. Viljelijät ovat omien peltolohkojensa asiantuntijoita. Tätä voidaan hyödyntää, kun etsitään tutkimuskohteita tutkimuslaitosten koekenttien ulkopuolelta. Tämä edistää myös maantieteellisesti laajan koekenttäverkoston ylläpitämistä tutkimusasemien supistamispaineiden alla. Lisäksi TEHO-hanke välittää viljelijöiden keskuudesta nousseita tutkimusaiheita tai -tarpeita tiedeyhteisölle.

Yhteistyö perustuu vuorovaikutukseen. Viljelijät ovat kiinnostuneita siitä, mitä heidän pelloillaan tehdään tai mitä näytteistä analysoiduista tuloksista on saatu selville. Tutkijoiden osallistuminen erilaisiin viljelijätapahtumiin ja -koulutuksiin on tiedonkulun kannalta erittäin tärkeää. Soveltavan tutkimuksen tulokset on tieteellisten julkaisujen lisäksi saatettava nopeasti kansantajuiseen muotoon ja esitettävä laajalle kuulijakunnalle. Viljelijätilaisuudet tarjoavat tutkijoille hyvän foorumin tulosten käytännön sovellusten esittämiseen ja suoran palautteen saamiseen. Kolmivuotisen toimintakautensa aikana hanke järjestää koulutus- ja tiedotustilaisuuksia, joihin pyritään saamaan mukaan myös tutkimuksen näkökulmaa. Ravinnekuormituksen osalta maaperä- ja muiden ympäristötieteiden edustajien toivotaan aktiivisesti tarjoavan viljelijöille ajankohtaista tietoa päätöksenteon avuksi.

TEHO-hankkeeseen osallistuu noin 150 tilaa, joilta kerätään tarkkoja tietoa mm. tilan toiminnasta, viljelykasveista ja -käytännöistä ja maan viljavuudesta. Näiden tietojen avulla hanke voi auttaa tutkijaa löytämään tutkimustarpeisiin soveltuvan tilan sekä auttaa myös yleisesti kontaktien luomisessa viljelijöihin. Hankkeessa ollaan avoimia innovaatioille sekä kokeilutoiminnalle. Joustava yhteistyö ja tiedonkulku ovat tehokkaan vesiensuojelun edistämisen peruspilareita.

Haasteena ympäristötukijärjestelmän kehittäminen

TEHO-hankkeen keskeisiin tavoitteisiin kuuluu nykyisen ympäristötukijärjestelmän toimenpiteiden tarkoituksenmukainen kohdentaminen alueille, joissa vesistökuormitusriski on suuri. Kohdentamisehdotukset tehdään yhdistämällä tiloilta kerättyä tietoa sekä

tutkimustietoa. Tehtävän tekee haasteelliseksi se, että samanaikaisesti tulee arvioida erilaisia riskitekijöitä kuten eroosioalttiutta, typen ja fosforin eri muotojen huuhtoutumista sekä myös käytettävissä olevia menetelmiä ja niiden kustannuksia. Tilalta kerätty tieto ja ehdotukset kootaan kunkin tilan ympäristökäsikirjaksi. Hyväksi havaitut käytännöt ja kehittämistarpeet pyritään saamaan tärkeysjärjestykseen viljelijän ympäristönhoidon kehittämisen avuksi. Hankkeessa tehtävä työ tukee osaltaan myös uudeksi ympäristötukimalliksi ehdotetun luonnonarvokauppaan perustuvan tarjouskilpailumallin testaamiseen tarvittavan ympäristöhyötyindeksin kehittämistä [1]. Indeksin kehittäminen vaatii tieteiden välistä yhteistyötä. Tässä työssä maaperän prosessien ja ravinteiden maaperäkäyttäytymisen tuntemusta tarvitaan riskialttiiden alueiden tunnistamiseksi ja saavutettavien ympäristöhyötyjen arvioimiseksi.

Kirjallisuus

[1] Työryhmämuistio MMM 2008:9. Maatalouden ravinnekuormitus ja sen tehokkaat vähentämistoimenpiteet. Loppuraportti. Helsinki. 22 s.

Savimaan lujuusominaisuudet eri tavoin hoidetuilla suojakaistoilla

Compressive behaviour of clay soil under different management practices of buffer zones in Finland

Mari Räty[1], Rainer Horn[2], Kimmo Rasa[1], Markku Yli-Halla[1] ja Liisa Pietola[3]

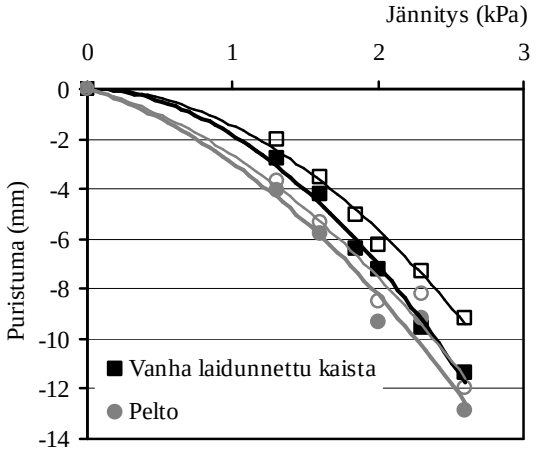
[1] Soveltavan kemian ja mikrobiologian laitos, Maaperä- ja ympäristötiede, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto
[2] Institute of Plant Nutrition and Soil Science, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Olshausenstrasse 40, 24118 Kiel, Germany
[3] Research Centre Hanninghof/Yara Suomi Oy, Mechelininkatu 1 a, 00180 Helsinki

Johdanto

Suojakaistat ja -vyöhykkeet vähentävät tehokkaasti viljelymaalta valumavesien mukana tulevan kokonaisfosforin ja kiintoaineksen määrää myös Pohjoismaiden ilmasto-olosuhteissa [1]. Hydrologiselta kannalta suojavyöhykkeiden ja -kaistojen keskeisin toiminta-ajatus perustuu eroosion käynnistävän pintavalunnan hillitsemiseen ja imeynnän eli infiltraation edistämiseen [2]. Koska maan rakenne vaikuttaa keskeisesti suojavyöhykkeiden ja -kaistojen toimintaan, tässä tutkimuksessa tarkasteltiin suojakaistojen hoitotoimenpiteistä aiheutuvia mahdollisia muutoksia maan fysikaalisiin ominaisuuksiin ja maan kokoonpuristumisominaisuuksiin.

Aineisto ja menetelmät

Häiriintymättömät lieriönäytteet (240 cm^3) otettiin Jokioisilta savimaan (Vertic Cambisol) pintamaakerroksesta (0–3 cm; savesta > 50 %, org. C 1,8–7,0 %, pH(H_2O) 5,4–6,1) kuudelta eri-ikäiseltä suojakaistalta sekä kylvömuokatulta pellolta. Tutkittuja suojakaistojen hoitotoimenpiteitä olivat niitto ja niittojätteen poiskorjaaminen (3 v. ja 14 v.), laidunnus (3 v. ja 14 v.) sekä alueen jättäminen luonnontilaan (14 v.). Maanäytteet kyllästettiin ja tasapainotettiin hiekkapedillä (-6 kPa). Maan ilmanjohtavuus mitattiin käyttäen Hornin ym.[3] kuvailemaa menetelmää. Tämän jälkeen näytteitä kuormitettiin 7 tunnin ajan 20, 40, 70, 100, 200 ja 400 kPa:n suuruisella sylinterin akselin suuntaisella pystysuoralla normaalivoimalla, jonka jälkeen kuormitus vapautettiin (1 tunti). Jännitystilan ja vastaavan muodonmuutostilan välistä riippuvuutta eli maan kokoonpuristumisominaisuuksia tarkasteltiin puolilogaritmisella asteikolla toisen asteen polynomin mukaisesti sovitetun jännitys-puristumakuvaajan avulla (Kuva 1). Maan sisäistä lujuutta eli kykyä vastustaa ulkoapäin tulevia voimia arvioitiin ns. esitiivistysasteen avulla, joka johdettiin graafisesti ns. Casagranden menetelmällä.



Kuva 1. Jännitystilan ja vastaavan muodonmuutostilan välinen riippuvuus on esitetty vanhan laidunnetun kaistan ja pellon pintamaakerrokselle (-6 kPa) siten, että puristuma (mm) on normaaliasteikolla ja jännitys (kPa) puolilogaritmisella asteikolla.
Paksu viiva, tumma symboli = puristuma;
Ohut viiva, vaalea symboli = palautuma.

Tulokset ja tarkastelu

Suojakaistojen hoitotoimenpiteistä laidunnus aiheutti epäsuotuisia muodonmuutoksia savimaan rakenteessa. Tämän osoitti mm. heikentynyt ilmanjohtavuus niitettyihin ja luonnontilaisiin kaistoihin verrattuna (Taulukko 1). Laidunnuksen on osoitettu heikentävän myös kenttä- ja laboratorio-oloissa määritettyä maan vedenjohtavuutta (Rasa ym. 2007).

Taulukko. 1. Irtotiheys, ilmanjohtavuus ja kokonaishuokostilavuus (keskiarvo±keskihajonta).

Koejäsen	Irtotiheys ($g\ cm^{-3}$)	Ilman-johtavuus ($10^{-5}\ m\ s^{-1}$)	Kokonais-huokostilavuus ($cm^3\ cm^{-3}$)
Vanha luonnonkaista; sis. pensaita, puita	1,06 ± 0,14 [ba]	22,1 ± 23,7 [ba]	0,53 ± 0,06 [bc]
Vanha ruohovartinen kaista	0,95 ± 0,07 [b]	15,0 ± 18,6 [ba]	0,60 ± 0,03 [a]
Vanha niitetty kaista	1,04 ± 0,10 [ba]	24,7 ± 11,4 [ba]	0,56 ± 0,04 [bac]
Vanha laidunnettu kaista	0,97 ± 0,09 [b]	5,1 ± 3,1 [ba]	0,59 ± 0,04 [ba]
Nuori laidunnettu kaista	1,17 ± 0,09 [a]	2,7 ± 2,4 [b]	0,51 ± 0,04 [c]
Nuori niitetty kaista	1,08 ± 0,06 [ba]	24,1 ± 16,7 [ba]	0,56 ± 0,02 [bac]
Kylvömuokattu pelto	0,94 ± 0,03 [b]	28,7 ± 13,6 [a]	0,61 ± 0,01 [a]

Samalla kirjaimella merkityt eivät eroa tilastollisesti toisistaan, Tukeyn testi, $p < 0,05$.

Kauttaaltaan alhaiset esitiivistysasteet (40–60 kPa) voivat osin selittyä varhaisella näytteenottoajankohdalla, jolloin maan rakenne on talven jäljiltä heikoin mahdollinen. Laiduntaminen vaikutti kuitenkin maan kokoonpuristumisominaisuuksiin. Vaikka nuoren laidunkaistan tiivistyminen oli jo tiiviimmästä alkutilanteesta johtuen vähäistä, puristuman kimmoinen palautuminen oli kuormituksen jälkeen myös pientä. Vanha laidunkaista oli taas helposti tiivistyvä, mutta maan pintakerrokseen kerääntynyt orgaaninen aines lisäsi kuormituksesta aiheutuvan puristuman palautumista (Kuva 1). Siten tallauksen haitallinen vaikutus ei ollut vanhalla suojakaistalla niin suuri kuin nuorella kasvustolla. Tulosten perusteella laidunnusta tulisikin välttää etenkin hiljattain perustetulla nurmella.

Kiitokset

Tätä tutkimusta ovat rahoittaneet Maa- ja metsätalousministeriö, Maj ja Tor Nesslingin Säätiö sekä Maa- ja vesitekniikan tuki ry.

Kirjallisuus

[1] Uusi-Kämppä, J. 2005. Phosphorus purification in buffer zones in cold climates. *Ecological Engineering* 24: 491−502.

[2] Dorioz, J. M., Wang, D., Poulenard, J. & Trévisan, D. 2006. The effect of grass buffer strips on phosphorus dynamics - A critical review and synthesis as a basis for application in agricultural landscapes in France. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 117: 4–21.

[3] Horn, R., Vossbrink, J. & Becker, S. 2004. Modern forestry vehicles and their impacts on soil physical properties. *Soil & Tillage Research* 79: 207–219.

[4] Rasa, K., Räty, M. & Uusi-Kämppä, J. 2007. Suojavyöhykkeen iän ja hoidon vaikutus suojavyöhykkeen toimintaan (lyhenne SUOTO). Loppuraportti. ISBN 978-952-10-4398-7 (nid.), 978-952-10-4399-4 (pdf). *Pro Terra* 34. 64 s.

Savimaiden agroekologinen parantaminen nurmikierrolla, syvämuokkauksella ja tehokalkituksella

Agroecological improvement of clay soils by perennial grasses, deep tillage and heavy liming

Into Saarela
MTT Agrifood Research Finland, Maaperä ja kasvinravitsemus, FI-31600 Jokioinen

Tiivistelmä

Kylmistä jäätikkövesistä sedimentoituneet savikot ovat luonnostaan ravinteikkaimpia maita ja niiden viljavuutta on parannettu kalkituksella ja lannoituksella. Karjattoman maatalouden tuloksena useiden savipeltojen kasvukunto on kuitenkin heikentynyt. Ravinteiden saanti tiivistyneestä, liettyneestä ja kovettuneesta mullasta vaikeutuu ja sadot pienevät sekä kuivina että sateisina kasvukausina. Pitkään viljelemättä olleesta, hyvin murustuneesta savesta viljat saivat fosforia (P) useita vuosia maan asetaattiuuttoisen P:n pitoisuuteen verrattuna helposti ja tuottivat hyviä satoja niukalla lannoituksella. Kolmivuotinen nurmi näytti parantavan savipeltojen vesi- ja ravinnetaloutta sekä satoja pitkään, kun kertaalleen käännettyä maata muokattiin vain kylvösyvyyteen. Syväkyntö alensi maan pinnan P-pitoisuutta sekä paransi viljan P:n saantia ja satoja kuivina kasvukausia. Pintaan käännetty hiesuinen maa oli lievästi haitallista sateisina kasvukausina, mutta hiesuiseen kyntökerrokseen sekoitettu aitosavijankko vaikutti joka vuosi edullisesti. Suotuisissa kosteusoloissa useiden vuosien välein tehtynä syvän muokkauksen kustannukset jäävät siedettäviksi. Viljelymaihin kertyneen lannoitefosforin saatavuus on Etelä-Suomen savissa ja savisissa hiedoissa muutenkin suhteellisen hyvä ja sitä voidaan edelleen parantaa tavallista runsaammalla kalkituksella.

Johdanto

Kymmenien lannoituskertojen ja kalkituksen tuloksena savimaiden P-tila on nykyisin aika hyvä, mutta tilanne vaihtelee alueittain. Hämeen ja Pirkanmaan pelloilla P:n niukkuus rajoittaa edelleen sadonmuodostusta melko yleisesti. Esimerkiksi Viljavuuspalvelussa 2000-luvulla tutkituista savivaltaisen Urjalan maanäytteistä kaksi kolmannesta on sijoittunut alhaisempiin kuin tyydyttävään luokkaan, joka yhdessä säännöllisen lannoituksen kanssa yleensä turvaa riittävän P:n saannin [1]. Viljelymaiden pienistä liukoisien P:n pitoisuuksista huolimatta savialueen vesistöjä pidetään liian rehevinä eikä lannoituksen lisäämistä hyväksytä. Savimaiden P-varojen käyttöä tehostavat ja lannoitustarvetta vähentävät maanhoito- ja viljelytoimet ovat siten hyödyllisiä sekä maatalouden että ympäristön kannalta.

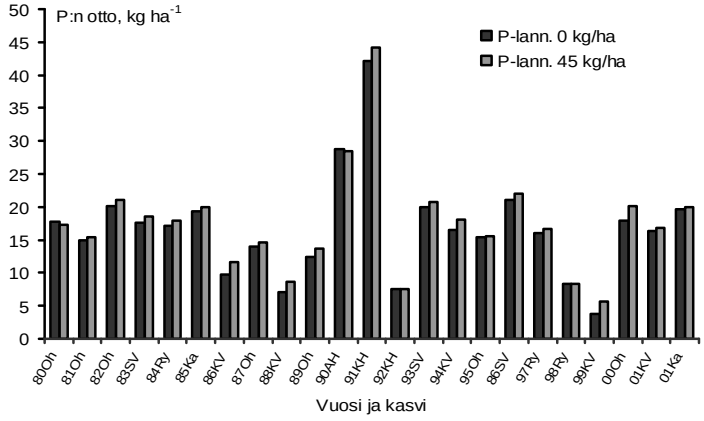
Aineisto ja menetelmät

Savimaan kasvukunnon ja biologisen P-tilan parantamista tutkittiin kolmella koekentällä. Loimijoen rantalohkon Ojaisten hiuesaven hyvin runsaita P-varoja (56 mg/l) ehdytettiin 23 vuotta käyttäen eri muokkaussyvyyksiä. Minkiön aseman viereisellä, P-tilaltaan seudulle tyypillisellä (P 4,0 mg/l) Ilolan hiuesavella tutkittin runsaan kalkituksen sekä kalkin ja P:n multaussyvyyden vaikutuksia 12-vuotisella kokeella [2]. Kolmas kenttäkoe perustettiin kemiallisesti niukkafosforiselle (0,7−3,5 mg/l) Yönin tilan aito/hiesusavelle, jolla kalkitusta (25 t ha^{-1}) ja syväkyntöä (35/23 cm) tutkittiin seitsemän viljavuoden jälkeen v. 1998-2001.

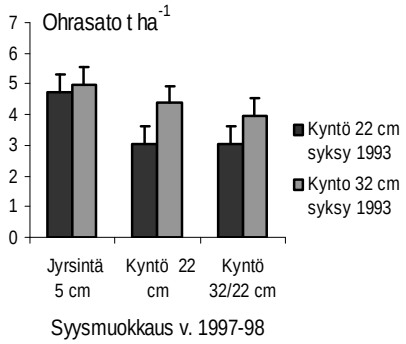
Tulokset

Poudanaralla Ojaisten hiuesavella sadot vaihtelivat kasvukauden sään takia suuresti. Kyntökerroksen ravinnetilan mukaisesti kasvien P:n saanti oli yltäkylläistä niin kauan kuin kosteutta riitti, mutta rikastetun ruokamullan kuivuessa P:n otto vaikeutui (Kuva 1). Vuonna 1999 kahden rypsin jälkeen tiivistynyt ja kovettunut maa vaikeutti oraiden juurtumista ja P:n

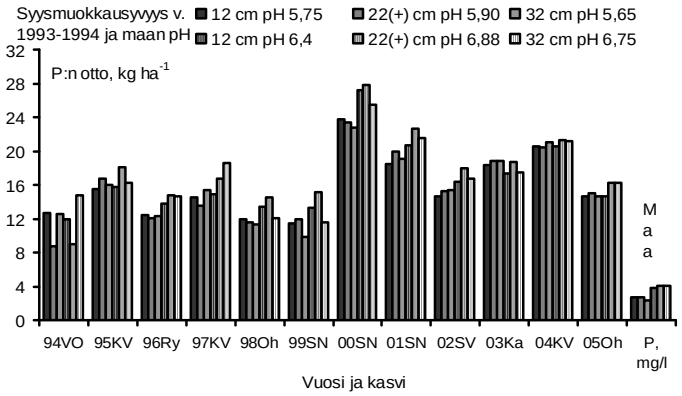
ottoa ja tuotti kehnon vehnäsadon, vaikka maan P-luokka oli edelleen korkea (27 mg/l). Samalla lohkolla ohra kasvoi kevätvehnän jälkeen kevyesti muokattaessa hyvin, koska maa pysyi olkikatteen alla muruisena ja kosteampana (Kuva 2). Kaksi peräkkäistä rypsiä ilmeisesti heikensivät P:n ottoa tehostavia mykoritsasieniä. P-tilaltaan välttävällä ja hieman vähemmän hiesuisella, esikasvinurmen jäljiltä muruisemmalla Ilolan savimaalla kasvien ravinteiden saanti vaihteli vähemmän (kuva 3). Välikasvina viljelty timotei-nurminatanurmi, joka itse kärsi vuoden 1999 kuivuudesta, näytti parantavan viljan P:n saantia ja vähentävän lannoitustarvetta. Sateisena vuonna 2004 kevätvehnän jyvien P-pitoisuus oli maan alhaiseen P-lukuun verrattuna hyvin korkea, 4,6 g kg^{-1} ka. Runsas kalkitus paransi nurmiheinienkin P:n saantia huomattavasti. Syväkyntö oli edullinen viljalla kuivina kasvukausina, mutta sateisina haitallinen. Yönin savimaalla, jonka jankko oli hyvin murustuvaa aitosavea ja pinta paikoin liettyvää hiesusavea, sekä että syväkyntö että runsas kalkitus edistivät P:n saantia (Kuva 4).



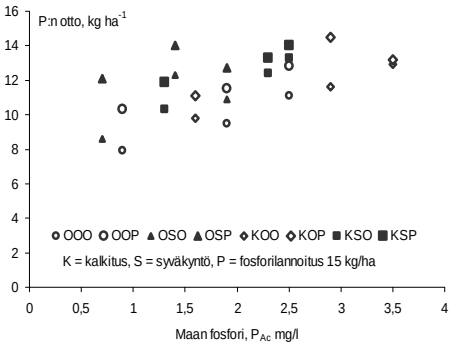
Kuva 1. Kasvien P:n otto runsasfosforisesta savimaasta 23 vuonna. Vuodesta 1995 alkaen lannoituksen P-määrä vaihteli.



Kuva 2. Ohrasato samalla lohkolla (Kuva 1) kuivana vuonna 1999.



Kuva 3. Runsas kalkitus ja rikastetun kerroksen syventäminen paransivat viljan P:n saantia kuivina vuosina. Kerran kynnetty ja sen jälkeen vain kylvösyvyyteen muokattu nurmi helpotti P-reservien saantia useita vuosia. Kyntö 22 cm vaihtui syksyllä 1997 35 cm syvämultaukseen.



Kuva 4. Ohran P:n otto edellisinä vuosina eri P-määrillä lannoitetusta savesta v. 2001. Mustat merkit osoittavat syksyn 1997 syväkynnön vaikutusta suhteessa maan fosforipitoisuuteen.

Kirjallisuus

[1] Saarela, I., Salo, Y. ja Vuorinen, M. 2006. Effects of repeated phosphorus fertilisation on field crops in Finland. 1. Yield responses on clay and loam soils in relation to soil test P values. *Agricultural and Food Science* 15: 106-123.

[2] Saarela, I., Kakkonen, K. ja Salo, Y. 2000. Savimaan fosforin saatavuuden parantaminen runsaalla kalkituksella sekä ruokamullan ja fosforin syvämultauksella. *Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja, Sarja A* 87. 51 p. +app.

Weathering rates of Ca and Mg within a small forested catchment: variation and magnitude compared to deposition loads

Kalsiumin ja magnesiumin rapautumishävikki pienellä valuma-alueella: vaihtelu ja suuruus verrattuna laskeumaan

Mike Starr[1], Antti-Jussi Lindroos[2] and Timo Tarvainen[3]

[1]Department of Forest Ecology, University of Helsinki, P.O.Box 27, 00014 University of Helsinki, Finland
[2]Vantaa Research Unit, Finnish Forest Research Institute, P.O.Box 18, FI-01301 Vantaa, Finland
[3]Geological Survey of Finland, P.O.Box 96, FI-02151 Espoo, Finland

Introduction

Chemical weathering results in the release of calcium (Ca) and magnesium (Mg) from primary minerals in the soil. In doing so, protons (H^+ ions) are consumed and important mineral nutrients made available to plants, adsorbed to cation exchange sites and leached. The consumption of H^+ in the weathering process therefore neutralizes acidity associated with sulphate deposition, and Ca and Mg, as exchangeable base cations, are further used in acid buffering reactions. Weathering therefore plays a central role in the functioning of soils and ecosystems. However, little is known about how much weathering rates vary across the landscape. While average weathering rates can be estimated from catchment input/output (deposition/runoff) mass balances, rates can be expected to vary within the catchment.

In this study we have determined the annual weathering rates (mass losses) of Ca and Mg for 11 soil profiles located in Hietajärvi, a small (464 ha) forested catchment in eastern Finland (63° 10’ N, 30° 43’ E). This catchment is one of the Finnish Integrated Monitoring catchments and ICP Forest level II sites [1, 2]. Deposition and its fate have been monitored at Hietajärvi now for nearly 20 years. We show how weathering rates differ between types of deposit (till *vs.* glacio-fluvial) within the catchment and compare the annual weathering rates to current (2001-2004) deposition loads of sulphate (SO_4), Ca and Mg.

Material and methods

Long-term average weathering rates for a soil profile can be estimated using so-called depletion methods [3]. Accordingly, elemental weight losses from more easily weatherable primary minerals are compared to amounts of zirconium (Zr), which is only found in the highly resistant mineral, zircon. We determined the long-term mean annual weathering losses (mass depletion) of Ca and Mg ($mmol_c\ m^{-2}\ yr^{-1}$) from the uppermost soil layers (E and Bs horizons) of the soil profiles using Zr as the internal standard. Soil cores were taken to a depth of 3.5 m and elemental concentrations in the <2 mm fraction of the E, Bs and upper C horizons and in 0.5 m thick layers from 1 m depth onwards were determined using XRF. Stone content (m^3/m^3), determined using Viro's rod penetration method, was taken into account in calculating the weathering losses.

Results and discussion

The annual weathering losses of Ca+Mg varied from 7.1 to 29.4 $mmol_c\ m^{-2}\ yr^{-1}$ (Fig. 1). The weathering losses associated with the glacio-fluvial sand deposits (mean 17.2 $mmol_c\ m^{-2}\ yr^{-1}$) were greater than those associated with the till deposits (mean 13.3 $mmol_c\ m^{-2}\ yr^{-1}$). This was due to the greater thickness of the E+Bs horizons (mean of 22.3 and 17.7 cm for glacio-fluvial and till, respectively), as the per cm loss of Ca+Mg was similar for both types of deposit (0.8

$mmol_c\ m^{-2}\ yr^{-1}$). We attribute the greater weathering loss from the glacio-fluvial sand deposits to a greater transport of water (and therefore of weathering agents and products) through this more permeable type of deposit. There was no relationship between weathering losses and elevation, but the relative relief of the catchment was only 49 m and slopes are relatively shallow. Annual deposition of SO_4 has declined over the monitoring period and current throughfall (total SO_4 deposition) loads average 13.4 $mmol_c\ m^{-2}\ yr^{-1}$ [1,2]. The consumption of H^+ ions associated with the weathering rates are shown to be clearly sufficient to neutralize the SO_4 acidity of the deposition. Furthermore, the SO_4 deposition load is accompanied by an equivalent load of Ca and Mg (Fig. 1).

In conclusion, the amounts of Ca and Mg released through weathering and deposition are clearly sufficient to neutralize acid deposition loads at Hietajärvi. At the current (and declining) deposition loads, soil acidification due to air pollution is therefore unlikely to occur.

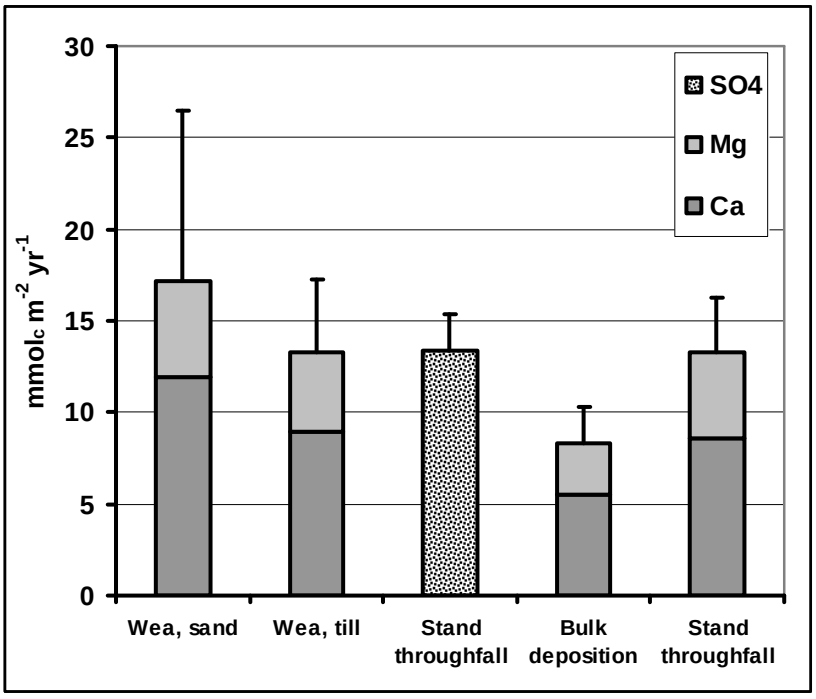


Figure 1. Mean (and standard deviation) annual fluxes of Ca and Mg associated with weathering (Wea) and deposition (and SO_4) at Hietajärvi.

References

[1] Starr, M., Forsius, M., Hatakka, T., Niinioja, R., Ruoho-Airola, T., Ukonmaanaho, L. and Vuorenmaa, J. 2007. Hietajärvi – long-term results from a Finnish ICP Integrated Monitoring (IM) catchment. In: Merillä, P., Kilponen, T. & Derome, J. (eds). Forest Condition Monitoring in Finland. National report 2002-2005. *Working Papers of the Finnish Forest Research Institute* 45: 147-166.

[2] Lindroos, A-J., Derome, J. and Derome, K. 2007. Open area bulk deposition and stand throughfall in Finland during 2001-2004. In: Merillä, P., Kilponen, T. & Derome, J. (eds). Forest Condition Monitoring in Finland. National report 2002-2005. *Working Papers of the Finnish Forest Research Institute* 45: 81-92.

[3] Starr, M., Lindroos, A-J., Tarvainen, T. and Tanskanen, H. 1998. Weathering rates in the Hietajärvi Integrated Monitoring catchment. *Boreal Environment Research* 3: 275-285.

Lumen sulamisveden valuminen roudan läpi

Raimo Sutinen[1], Pekka Hänninen[2], Ari Venäläinen[3] ja Marja-Liisa Sutinen[4]

[1]Geologian tutkimuskeskus, P.O. Box 77, FIN-96101 Rovaniemi,
[2]Geologian tutkimuskeskus, Betonimiehenkuja 4, FIN-02150 Espoo,
[3]Ilmatieteen laitos, P.O. Box 503, FIN-00101 Helsinki,
[4]Metsäntutkimuslaitos, Eteläranta 55, 96300 Rovaniemi

Lumen sulamisajankohta on kasvun kannalta kriittinen tekijä korkeilla leveyksillä. Juurivyöhykkeen kevätaikaisesta veden saatavuudesta on kuitenkin varsin niukalti tietoa. Tutkimme lumipeitteen paksuutta, maan lämpötilaa ja maan vesipitoisuutta Naruskassa (67˚09'N, 29˚10'E) jakson 2004-2007 ajan. Tutkimuspaikan männikkö sijaitsee jokihiekka-kerrostumalla, jonka hiekka-, siltti- ja savifraktiot ovat 60, 38, and 2% ja maannostyyppinä on (Haplic) podsoli. Maan lämpötila- ja vesipitoisuusanturit asennettiin 20-cm:m välein alkaen 10 cm:stä ja mittaus ja tiedon tallennus tapahtui Campbell CR10X data-loggerilla 3:n tunnin välein. Maksimissaan lumenpaksuus vaihteli 45 cm:stä (vuonna 2005) to 90 cm:iin (vuonna 2007). Maan vesipitoisuus (30 cm:n syvyydessä) kohosi merkittävästi 10:stä (vuonna 2004) 39:een päivään (vuonna 2007) ennen lumen lopullista häviämistä. Lumen sulamisvesi valui roudan läpi siten, että 10 cm:n syvyydessä merkittävä vesipitoisuuden nousu tapahtui 26-58 päivää ennen kuin maan lämpötila saavutti 0˚C. Männyn verson pituuskasvu alkoi samanaikaisesti lumen häviämisen kanssa. Sitä vastoin, maan lämpötilan kohoaminen (10 cm syvyydessä) yli 0˚C:n tapahtui niinkin myöhään kuin 18:sta 33:een päivään pituuskasvun alkamisesta. Tulokset viittaavat siihen, että ei niinkään maan lämpötila, vaan veden saatavuus yhdessä ilman lämpötilan nousun kanssa ovat ratkaisevassa roolissa kasvun alkamisen kannalta subarktisissa oloissa.

DGT- menetelmien soveltaminen ravinteiden ja raskasmetallien biosaatavuuden määritykseen metsämaassa

Application of DGT –method for determination of nutrients and trace element bioavailability in forest soil

Marita Turunen[1], Tiina Nieminen[1], Liisa Ukonmaanaho[1], Marjatta Kantola[1] ja Arja Tervahauta[1]

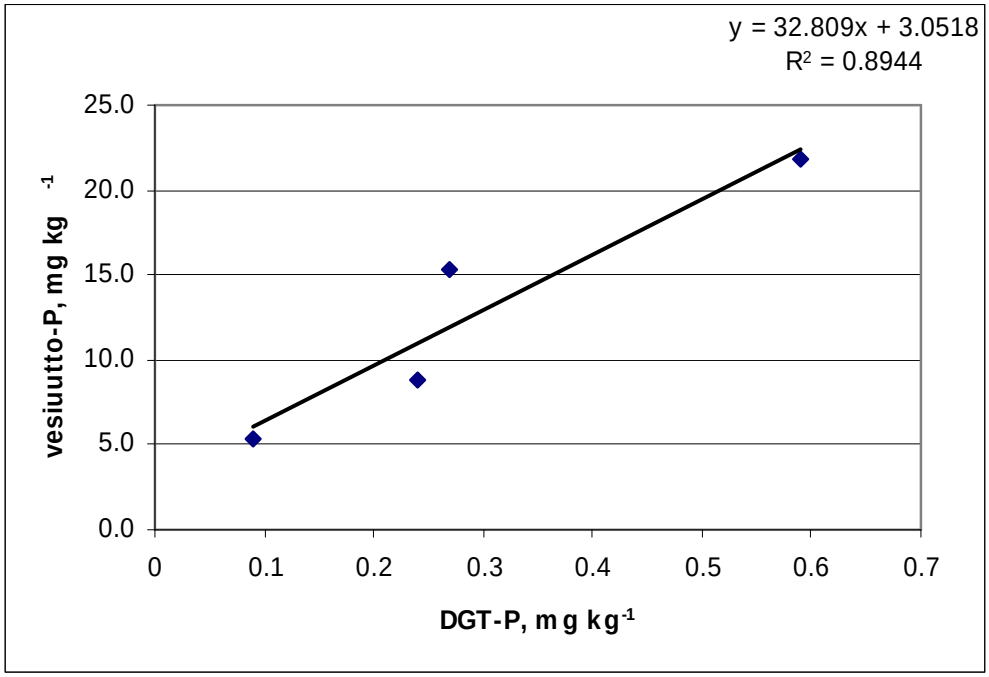
[1]Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus, PL 18, 01301 Vantaa

Maa- ja vesinäytteiden ravinteiden tai haitallisten alkuaineiden kokonaispitoisuudet eivät suoraan kuvaa kasveille käyttökelpoista tai haitallista määrää. Lisäksi erilaiset metsänkäsittelyt, kuten tuhkalannoitus tai hakkuu voivat aiheuttaa muutoksia ravinteiden tai raskasmetallien liikkuvuuteen. Kokonaispitoisuuksien määrityksen avulla ei voida kuvata luotettavasti ravinteiden ja raskasmetallien liikkuvuutta. Liikkuvaa ja biosaatavaa osuutta kuvaamaan käytetään nykyisin erilaisia standardiuuttoja, ($BaCl_2$, hapan ammoniumasetaatti) jotka kuitenkin uuttavat metsämaasta vain heikosti kasveille käyttökelpoista tai liikkuvaa ainemäärää kuvaavan osuuden.

DGT (Diffusive Gradient in Thin Films) on Davisonin ja Zhangin [1] kehittämä menetelmä, jossa pyritään jäljittelemään kasvien ravinteiden ja raskasmetallien ottoa. Menetelmä perustuu metallien keräämiseen sidosaineena toimivaan hartsiin diffuusiokerroksen (hydrogeeli) läpi. DGT -menetelmät on kehitetty viljelysmaille, eikä metsämaiden osalta ole juurikaan tehty analyysien sovellustyötä.

DGT -menetelmää testattiin laboratoriossa turvenäytteillä sekä fosfaatin että raskasmetallien osalta. DGT -menetelmällä saatua fosfaattipitoisuutta verrattiin uutoilla (vesi: 1:200 ja 1:60) sekä rautaoksidi -diffuusiomenetelmällä [2] määritettyihin pitoisuuksiin. Raskasmetallit määritettiin DGT -menetelmällä ja tuloksia verrattiin NH_4AC-EDTA -uutoilla määritettyihin (pH 4.65) pitoisuuksiin. Seuraavassa vaiheessa menetelmää testataan astiakokeilla, tutkimuksen kolmannessa vaiheessa on tarkoitus siirtyä maastoon *´in situ´* kokeisiin.

Alustavat tulokset osoittavat, että DGT -menetelmä soveltuu hyvin fosfaatin ja ravinteiden määrittämiseen myös metsämaanäytteillä. DGT -menetelmällä mitatut fosfaattipitoisuudet korreloivat vesiuutto (1:200) ja rautaoksidi-diffuusio menetelmillä mitattujen pitoisuuksien kanssa (kuva 1). DGT:llä mitatut raskasmetallipitoisuudet jäivät alle määritysrajojen, ainoastaan sinkkiä kerääntyi hartsiin mitattavia pitoisuuksia. Menetelmän testausta jatketaan sekä laboratorio-olosuhteissa että myöhemmin astiakokeilla.



Kuva 1. DGT- menetelmällä ja vesiuutolla (1:200) määritettyjen fosforipitoisuuksien välinen korrelaatio, mg kg^{-1}.

Kirjallisuus

[1] Davison, W. ja Zhang, H. 1994. *In situ* speciation measurements of trace components in natural waters using thin-film gels. Nature 367: 546-548.
[2] Saarela, I. 1992. A simple diffusion test for soil phosphorus availability. Plant and Soil 147: 115-126.

Pohjaveden korkeuden vaikutus happamien sulfaattimaiden maaveden sähkönjohtavuuteen

The impact of ground water level on the electrical conductivity of soil water in acid sulpate soils

Seija Virtanen[1], Asko Simojoki[1], Olga Nikolenko[1] ja Markku Yli-Halla[1]

[1]Soveltavan kemian ja mikrobiologian laitos, PL 11(Latokartanonkaari 11), 00014 Helsingin yliopisto, seija.virtanen@helsinki.fi, asko.simojoki@helsinki.fi , markku.yli-halla@helsinki.fi

Johdanto

Hapanta sulfaattimaata olevien peltojen kuivatuksen tehostaminen on nopeuttanut maan happamoitumista ja aiheuttanut niiltä purkautuvassa valumavedessä ajoittain erittäin alhaisia pH-arvoja ja runsasta metallikuormitusta [1]. Tämä on ollut syynä kalakuolemiin ja vesistöjen tilan huononemiseen Pohjanmaalla. Yksi ratkaisu tähän ongelmaan voi olla kuivatussyvyyden pienentäminen. Tavallisten viljelykasvien kasvu ja viljelytoimenpiteet edellyttävät tehokasta maan kuivatusta, joka lisäksi estää happamien sulfaattimaiden alunasuolojen kapillaarisen nousun muokkauskerrokseen. Ruokohelven kaltaiset vähäistä kuivatussyvyyttä vaativat bioenergiakasvit saattaisivat sopia viljelykasveiksi näille alueille. Helsingin yliopiston maatalous-metsätieteellisessä tiedekunnassa aloitettiin vuonna 2007 peltobioenergian tutkimushanke, jonka osana tutkitaan ruokohelven kasvua happamilla sulfaattimailla ja korkean pohjaveden vaikutusta valumavesien laatuun. Tutkimuksessa tehdään kenttämittauksia sekä maamonoliitti- ja inkubaatiokokeita.

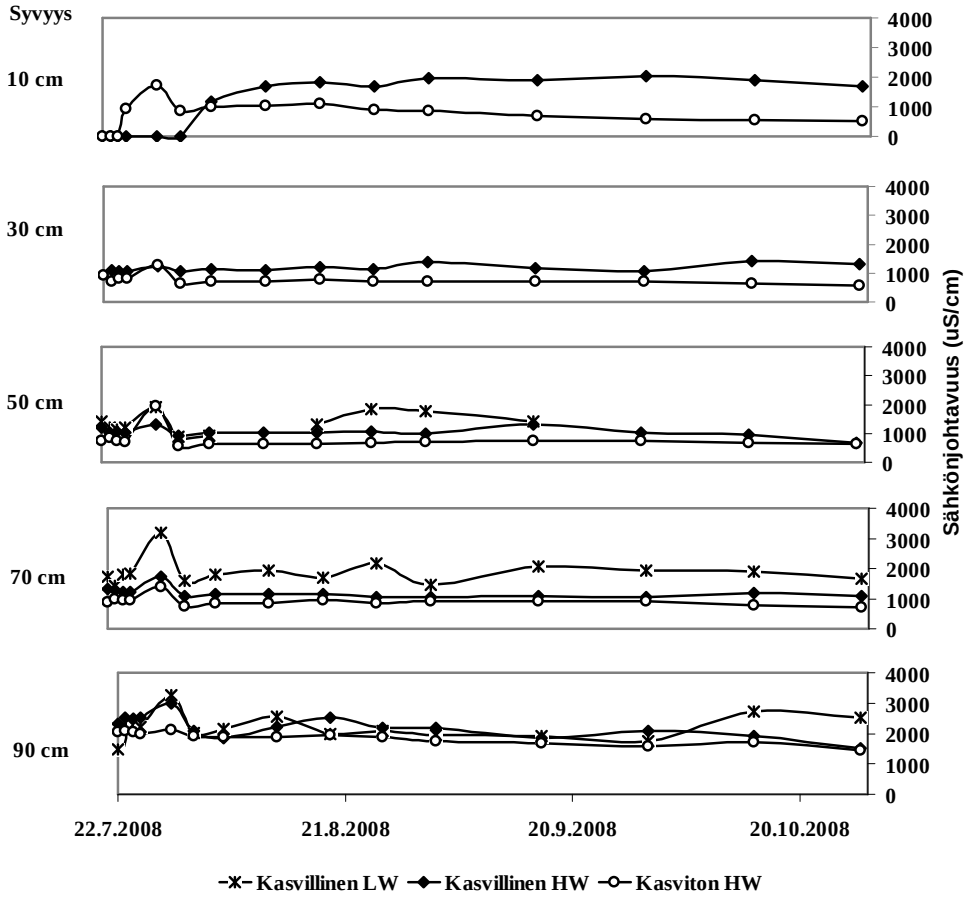
Aineisto ja menetelmät

Viikin koetilan pelloilla on seurattu vuodesta 2007 alkaen pohjaveden korkeuden ja koostumuksen vaihteluita sulfaattimaalohkoilla ja lohkolla, jonka maa ei ole hapanta. Happaman sulfaattimaan maamonoliittikokeet aloitettiin vuonna 2007 esikokeilla. Niissä havaittiin, että pohjaveden korkeutta voidaan säädellä kontrolloidusti ja tutkia tämän vaikutuksia maan hapetustilaan eri maakerroksissa [2]. Kesällä 2008 aloitettiin koe kymmenellä hapanta sulfaattimaata (*Sulfic Cryaquept)* sisältävällä monoliitilla, jotka kaivettiin Viikin koetilan pellolta [3]. Monoliittien alin 20 cm on pelkistynyttä C-horisontin maata ja sen yläpuolella on hapanta sulfaattimaata noin 60 cm (B- ja BC- horisontit). Ylin 20 cm on tavanomaista pintamaata pellolta, jolta edellisvuonna kylvettyjä ruokohelpikasvustoja (*Phalaris arundinacea*) siirrettiin kokeen kasviksi. Kahdeksan maamonoliittia kasvaa ruokohelpeä ja kaksi on kasvitonta. Koekäsittelyinä on matala (LW, 70 cm maanpinnan alapuolella) ja korkea (HW, 20-30 cm maanpinnan alapuolella) pohjavesi.

Maan kemiallisia prosesseja seurataan mittaamalla maan ja huokosveden redox-potentiaalia, pH-arvoa, lämpötilaa ja sähkönjohtavuutta eri kerroksista määräaikaisin näytteenotoin ja mittauksin sekä jatkuvatoimisesti dataloggereilla. Kokeessa tutkitaan maan rikki- ja rautayhdisteiden pelkistymisen ja hapettumisen kytkeytymistä redox-potentiaalin muutoksiin. Korkean pohjaveden odotetaan alentavan redox-potentiaalia ja lisäävän rikin ja raudan pelkistymistä. Maan pelkistymisen edetessä happamuus yleensä vähenee, jolloin metallien (mm. kolmenarvoisen raudan) liukoisuus pienenee. Toisaalta rautaoksidien pelkistyessä niistä vapautuu kahdenarvoista rautaa, joka saostuu helposti sulfideiksi, jos pelkistynyttä rikkiä on maavedessä. Maassa, jossa pohjavesi on korkealla, metalli-ionien saostumisesta johtuvan liuenneiden ionien vähenemisen ja vesipitoisuuden kasvusta johtuva maanesteen laimenemisen odotetaan siksi pienentävän maanesteen sähkönjohtavuutta verrattuna maahan, jossa pohjavesi on matalalla.

Tulokset ja tarkastelu

Kentällä 2007-2008 pohjaveden sähkönjohtavuus (keskiarvo ± keskihajonta) oli happamassa sulfaattimaassa (830 ± 170 µS/cm) selvästi suurempi kuin referenssipellolla (230 ± 80 µS/cm). Pengerretyllä, pumppaamalla kuivatetulla peltolohkolla pohjaveden korkeus vaihteli maanpinnan tasosta salaojasyvyyteen ja sähkönjohtavuuden ajallinen vaihtelu oli suurempaa kuin spatiaalinen vaihtelu. Lämpötilan lasku ja pohjaveden pinnan nousu pienensivät maaveden sähkönjohtavuutta. Kesällä 2008 aloitetussa monoliittikokeessa pohjaveden pitäminen korkealla vähensi huokosveden sähkönjohtavuutta happamissa maakerroksissa verrattuna matalaan pohjaveteen. Ero oli 50 cm:n syvyydellä keskimäärin 350 µS/cm ja 70 cm:n syvyydellä 670 µS/cm. Syvimmässä kerroksessa korkean ja matalan pohjavesikäsittelyn huokosvedet eivät eronneet sähkönjohtavuudeltaan. Kasvillisten koejäsenten sähkönjohtavuus oli selvästi kasvittomia suurempi ylimmissä maakerroksissa. Suuri sähkönjohtavuus näissä kerroksissa aiheutui todennäköisesti veteen liuenneiden suolojen kapillaarisesta noususta ja erityisesti kasvillisen maan kasvitonta maata pienemmästä kosteudesta, sillä kasvien suuren transpiraation vuoksi pohjaveden pinta ei pysynyt aina täsmälleen tavoitellussa syvyydessä.



Kuva 1. Huokosveden sähkönjohtavuuden ajallinen vaihtelu eri syvyyksillä kasvillisissa ja kasvittomissa maamonoliiteissa, joissa pohjavesi oli 20 cm maan pinnan alapuolella (HW) tai 70 cm maan pinnan alapuolella (LW).

Kirjallisuus

[1] Boman, A., Åström, M. and Fröjdö, S. 2008. Sulfur dynamics in boreal acid sulfate soils rich in metastable iron sulfide-The role of artificial drainage. *Chemical Geology* 255(1-2): 68-77.

[2] Virtanen, S., Simojoki, A. and Yli-Halla, M. 2008.Use of Soil Monoliths to Mimic the Impacts of Water Management on an Acid Sulfate Soil. *Proceedings of the Joint Conference 6th International Acid Sulfate Soil Conference and the Acid Rock Drainage Symposium:* 203-207.

[3] Yli-Halla, M., Mokma, D.L., Wilding, L.P. and Drees, L.R. 2008. Morphology, Genesis and Classification of Acid Sulpate Soils of Finland. *Proceedings of the Joint Conference 6th International Acid Sulfate Soil Conference and the Acid Rock Drainage Symposium:* 224-228.

Metsämaan fosforinpidätysominaisuudet ja niiden vaikutus fosforin huuhtoutumisalttiuteen

Phosphorus retention properties of Finnish forest soils and implications to phosphorus leaching tendency

Riitta Väänänen[1], Kaarle Kenttämies[2], Mika Nieminen[3], Hannu Ilvesniemi[3] ja Helinä Hartikainen[4]

[1] Metsäntutkimuslaitos, keskusyksikkö, PL 18, 01301 Vantaa
[2] Suomen ympäristökeskus, PL 140, 00251 Helsinki
[3] Metsäntutkimuslaitos, Vantaan toimintayksikkö, PL 18, 01301 Vantaa
[4] Helsingin yliopisto, Soveltavan kemian ja mikrobiologian laitos, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto

Johdanto

Tieto Suomessa tyypillisten metsämaiden kyvystä pidättää fosforia on hajanaista ja puutteellista, joten maaperän merkitystä fosforin nieluna tai lähteenä esimerkiksi suojavyöhykkeillä on vaikea arvioida. Podsolimaannoksen B-horisontin tiedetään pidättävän tehokkaasti fosforia siihen rikastuneiden rauta- ja alumiiniyhdisteiden johdosta, mutta pidättymistä kuvaavia lukuja on vähän. Humuskerroksen, E-horisontin ja C-horisontin pidätyskyky tunnetaan huonommin. Turpeen kyvyn pidättää fosforia on havaittu vaihtelevan, mutta tämän vaihtelun suuruutta ei tunneta hyvin. Maaperän sekundääriset rauta- ja alumiiniyhdisteet pidättävät tehokkaasti fosforia, mutta niiden pitoisuuden yhteyttä maan kykyyn pidättää fosforia ei ole määritetty numeerisesti metsämaille. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tuottaa tietoa tyypillisten suomalaisten metsämaiden kyvystä pidättää fosforia ja pidätyskyvyn yhteydestä maan rauta- ja alumiiniyhdisteiden pitoisuuden kanssa.

Aineisto ja menetelmät

Maan kykyä pidättää fosforia tutkittiin kolmen podsolimaannoksen E-, B- ja C-horisonteista, kolmen hakkuualan ja niihin liittyvien suojavyöhykkeiden humuskerroksesta sekä viiden turvemaalle perustetun suojavyöhykkeen 0–15 cm:n pintakerroksen turpeesta ja sen alapuolisesta 15–30 cm:n kerroksen turpeesta. Fosforin pidättymistä maahan ja vapautumista maasta tutkittiin määrittämällä maanäytteille desorptio-sorptioisotermit. Isotermien perusteella saatiin kaksi pidättymiskykyä ja kaksi huuhtoutumisriskiä kuvaavaa lukua. Pidättymistä kuvaava P_{10} on fosforin mitattu maksimipidätys maahan (mg g^{-1}) ja α kuvaa maahan pidättyneen fosforin osuutta lisätystä fosforista. Huuhtoutumista kuvaava P_0 on maan vesiliukoisen fosforin pitoisuus (mg g^{-1}) ja EPC_0 on se veden fosforipitoisuuden kynnysarvo (mg l^{-1}), jota suuremmilla pitoisuuksilla tapahtuu nettopidättymistä maaperään. Näiden lukujen korrelaatio ammoniumoksalaattiliuokseen uuttuvan maan rauta- ja alumiiniyhdisteiden pitoisuuteen selvitettiin.

Tulokset

Podsolimaannoksen B-horisontti pidätti eniten fosforia ja fosforin huuhtoutuminen oli niukkaa (Taulukko 1). C-horisontin pidätyskapasiteetti oli pienempi, mutta fosforia ei huuhtoutunut lainkaan. E-horisontti pidätti fosforia selvästi vähemmän kuin B- ja C-horisontit ja siitä myös huuhtoutui fosforia. Humuksen ja turpeen fosforinpidätysominaisuudet vaihtelivat enemmän kuin podsolimaan B- ja C-horisonttien. Fosforia huuhtoutui eniten hakkuualojen humuskerroksesta mutta sitä huuhtoutui myös kaikista muista humusnäytteistä. Humuskerros pidätti enemmän fosforia suojavyöhykkeellä kuin hakkuualalla. Myös turpeesta

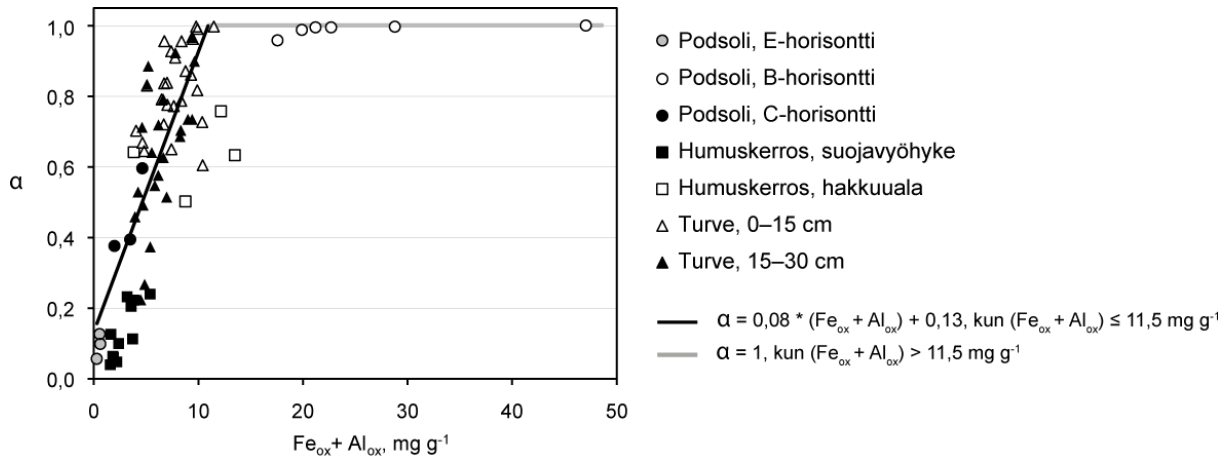
huuhtoutui fosforia, mutta pidättyminen oli tehokkaampaa kuin humuskerrokseen. Pintakerroksen turve pidätti enemmän fosforia kuin sen alla oleva turve. Maan rauta- ja alumiiniyhdisteiden pitoisuus korreloi positiivisesti pidättymistä kuvaavien P_{10}:n ja α:n kanssa, mutta ei huuhtoutumista kuvaavien P_0:n ja EPC_0:n kanssa. Maan alumiini- ja rautapitoisuuden ollessa yli 11,5 mg g^{-1} maa pidätti kaiken lisätyn fosforin ja tätä pienempien rauta- ja alumiinipitoisuuksien ja fosforin pidättymisen välillä oli lineaarinen riippuvuus (Kuva 1).

Johtopäätelmät

Tulokset osoittavat, että fosforin huuhtoutumisalttius podsoloituneilla mineraalimailla on pieni, jos fosforipitoinen vesi suodattuu B-horisontin läpi. Huuhtoutumista voi tapahtua, jos vesi virtaa pintakerrosvaluntana O- ja E-horisonttien läpi. Suuri vaihtelu turpeen fosforinpidätyskyvyssä viittaa siihen, että turpeen ominaisuudet voivat vaikuttaa turvemaalle perustetun suojavyöhykkeen toimivuuteen. Maan sekundääristen rauta- ja alumiiniyhdisteiden pitoisuuden avulla voidaan arvioida kuinka tehokkaasti maa sitoo fosforia.

Taulukko 1. Maaperän kyky pidättää fosforia määritettiin podsolimaannoksen E-, B- ja C-horisonteille, hakkuualan ja puustoisen suojavyöhykkeen humuskerrokselle ja turpeen eri kerroksille. Pidätyskykyä kuvaavat fosforin mitattu maksimipidätys (P_{10}), pidättyneen fosforin osuus lisätystä (α), maan vesiliukoinen fosfori (P_0) ja konsentraation kynnysarvo nettopidättymiselle (EPC_0) määritettynä nettopidättymisen kynnysarvon konsentraatio. n = näytteiden lukumäärä.

	Podsoli			Humuskerros		Turve	
	E-horisontti	B-horisontti	C-horisontti	Hakkuuala	Suojavyöhyke	0–15 cm	15–30 cm
P_{10}, mg g^{-1}	0,03	0,36	0,08	0,02	0,22	0,32	0,25
α	0,10	1,00	0,39	0,13	0,64	0,83	0,66
P_0, µg g^{-1}	2,07	0,06	0,00	17,2	1,58	4,04	2,48
EPC_0, mg l^{-1}	0,77	0,01	0,00	3,50	0,06	0,12	0,08
n	3	6	3	11	4	25	24



Kuva 1. Fosforin pidättymistä kuvaava α kuvattuna suhteessa maan rauta- ja alumiinipitoisuuden kanssa. Näiden välistä riippuvuutta voitiin kuvata kahden lineaarisen yhtälön avulla.

Kirjallisuus

Väänänen, R. 2008. Phosphorus retention properties of forest soils and the functioning of buffer zones. *Dissertationes Forestales* 60. 42 p. ISBN 978-951-651-208-5 (PDF). http://www.metla.fi/dissertationes/df60.htm

Maan vesipitoisuus ja ilmatila vaikuttavat männyn kasvuun metsitetyillä pelloilla

Soil-water content and air-filled porosity affect height growth of Scots pine in afforested arable land in Finland

Antti Wall[1] ja Juha Heiskanen[2]

[1]Metsäntutkimuslaitos, Kannuksen yksikkö, PL 44, 69101 Kannus
Puh. 010 211 3426, sähköposti: antti.wall@metla.fi
[2]Metsäntutkimuslaitos, Suonenjoen yksikkö, Juntintie 154, 77600 Suonenjoki
Puh. 010 211 4841, sähköposti: juha.heiskanen@metla.fi

Johdanto

Peltojen metsitys on merkinnyt sellaisten maiden siirtymistä metsätalouden maiksi, joiden orgaanisen aineksen ja ravinteiden määrät ovat huomattavasti korkeammat kuin mitä ne ovat yleensä metsämailla. Toisaalta monien metsitettyjen peltomaiden pohjaveden pinnan tason ja maan pienten huokosten osuuden maan huokoskokojakaumassa on osoitettu olevan korkeita, mikä saattaa aiheuttaa maan ilmanvaihdon ja siten myös puuston kasvun heikentymistä.

Aineisto ja menetelmät

Tässä tutkimuksessa mitattiin maan vesipitoisuutta ja ilmatilaa maastossa 34:llä männylle vuosina 1973-94 ja 1981-82 metsitetyllä, satunnaisesti valitulla pellolla Länsi-Suomessa ja tutkittiin niiden ja puuston pituuskasvun välistä yhteyttä. Maan vesipitoisuus mitattiin TDR:llä ja ilmatila laskettiin maan kokonaishuokostilavuuden ja mitatun vesipitoisuuden erotuksena. Puuston pituuskasvu mitattiin viiden vuosikasvun kokonaispituutena rungon 2,5 m korkeuden yläpuolelta alkaen.

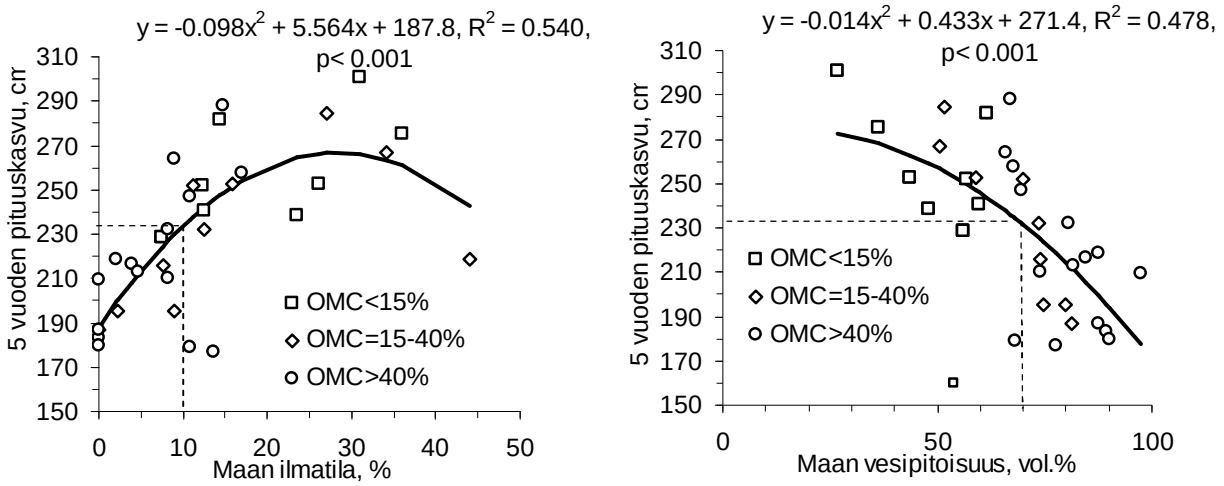
Tulokset

Maan ilmatilan kohotessa aina 30 %:iin asti ja vesipitoisuuden vastaavasti aletessa puuston pituuskasvu lisääntyi keskimäärin merkittävästi (Kuva 1). Puuston ravinnetila neulasten ravinnepitoisuuksien avulla arvioituna tai maan ravinteiden määrät eivät vaikuttaneet puuston kasvuun tässä aineistossa.

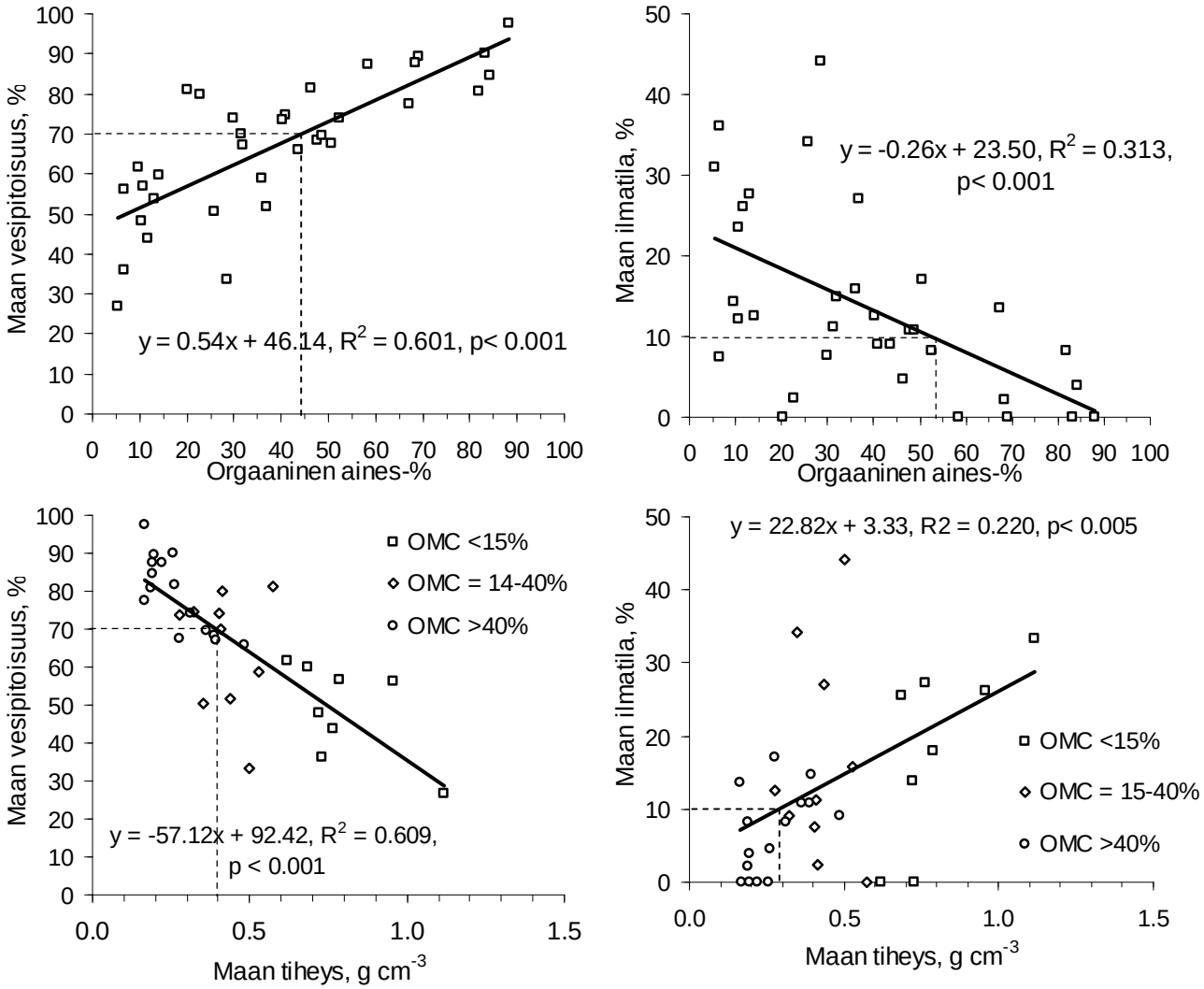
Maan vesipitoisuus keskimäärin suureni 0-10 cm kerroksessa maan orgaanisen aineksen osuuden suuretessa ja maan tiheyden alentuessa (Kuva 2). Maan vesipitoisuuden ylittäessä 70%:a, maan ilmatila alitti ilmatilan kriittisenä rajana pidetyn 10%:a.

Tarkastelu

Tuloksien mukaan maan vesipitoisuus on usein niin korkea ja maan ilmatila niin alhainen, että ne rajoittavat puuston kasvua erityisesti niillä suomalaisilla metsitetyillä peltomailla, joilla maan orgaanisen aineksen osuus on suuri. Tulosten perusteella maan vesipitoisuuden mittaus maastossa soveltuu hyvin maan ilmatilan ja ilmanvaihdon arviointiin ja edelleen hyvän puuston kasvun edellyttämän kasvupaikan kuivatustarpeen arviointiin.



Kuva 1. Maan ilmatilan ja vesipitoisuuden vaikutus männikön 5 vuoden pituuskasvuun 2.5 m korkeudesta alkaen. Maan ilmatilan kriittinen raja-arvo maan ilmanvaihdolle on ilmaistu katkoviivalla. OMC viittaa kolmeen orgaanisen aineksen mukaan luokiteltuun maatyyppiin.



Kuva 2. Maan orgaanisen aineksen osuuden ja maan tiheyden vaikutus maan vesipitoisuuteen ja ilmatilaan. OMC viittaa kolmeen orgaanisen aineksen mukaan luokiteltuun maatyyppiin.

ISBN 978-952-10-5246-0 (nid.)
ISBN 978-952-10-5247-7 (pdf)
ISSN 1457-263X

Helsinki 2009