

Pro Terra

No. 77 / 2025

TERVE MAAPERÄ EKOSYSTEEMIPALVELUIDEN TARJOANA

XIII Maaperätieteiden päivien abstraktit

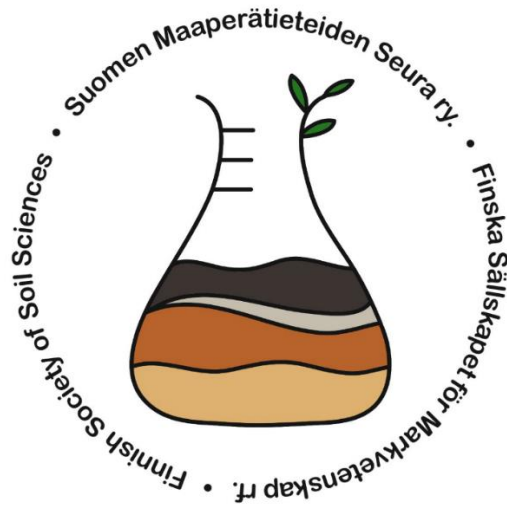
Jussi Heinonsalo
Nelli Kyöstilä
Stefan Mattbäck
Jukka Pumpanen
Salla Selonen
Tiina Törmänen
Sannakajsa Velmala
Seija Virtanen
Tianran Zhou
(toim.)

SUOMEN MAAPERÄTIETEIDEN SEURA RY.

HELSINGIN YLIOPISTO
MAATALOUSTIETEIDEN OSASTO

Pro Terra

No. 77 / 2025



XIII Maaperätieteiden päivien abstraktit

7.–8.1.2025

Toimittajat

Jussi Heinonsalo, Nelli Kyöstilä, Stefan Mattbäck, Jukka Pumpanen, Salla Selonen, Tiina Törmänen, Sannakajsa Velmala, Seija Virtanen ja Tianran Zhou

SUOMEN MAAPERÄTIETEIDEN SEURA RY.

HELSINGIN YLIOPISTO
MAATALOUSTIETEIDEN OSASTO

Helsinki, 2025

SISÄLLYSLUETTELO

Esitelmät

sivu

Sessio I: Maaperän terveys

Session I: Soil health

Toimiiko hiilen ja saveksen suhde (SOC/Clay) maaperän terveyden indikaattorina?

Helena Soinne, Tiina Törmänen, Jaakko Heikkinen, Jari Hyväluoma, Riikka Keskinen, Aleksi Lehtonen, Eduardo Martinez-Garcia, Lorenzo Menichetti, Tapio Salo, Raisa Mäkipää 8

Soils for Europe (SOLO) hanke

Jenni Hultman, Helena Soinne, Antti-Jussi Lindroos, Taina Pennanen 10

Missiona maaperä – maaperällä yhä vahvempi rooli ammattikorkeakoulujen luonnonvara-alan TKI-työssä

Kari Laasasenaho, Miira Jääskeläinen 11

Elintarviketeollisuuden sivuvirrat ja biokiertoalustus maan terveyden edistäjänä – EU Maaperämission DeliSoil-hanke

Ansa Palojärvi, Eila Järvenpää, Minna Kahala, Johanna Laakso, Taru Palosuo, Kimmo Rasa, Tapio Salo, Minna Sarvi, Elina Tampio, sekä 13 muuta partneriorganisaatiota

Decision Support Tools for Soil Health in Agriculture

Timo A. Räsänen, Dylan Warren Raffa, Sofia Delin, Meriem Jouini, Raimonds Kasparinskis, Baiba Dirnēna, Alessandra Trinchera, Daniëlle Ooms, Ardy Saarloos, Imants Kukuļs, Valentina Baratella, Ülfet Erdal, Zeynep Demir, Daniel Simonse, Marjoleine Hanegraaf 14

Case Benchmarks: Maaperän terveys – käytännön toimijoiden näkemykset

Tiina Törmänen, Maarit Liimatainen, Helena Soinne, Raisa Mäkipää 16

HoliSoils – metsänhoitomenetelmien maaperävaikutusten seuranta ja mallinnus

Raisa Mäkipää, Qian Li, Eduardo Martínez-García, Lorenzo Menichetti, Boris Ťupek, Tiina Törmänen, Aleksi Lehtonen 18

Sessio II: Maaperä hiilen ja typen sitojana

Session II: Carbon and nitrogen sequestration in soils

Luonnonmukainen maanmuokkaus ja maaperän hiilivarastot: maailmanlaajuisten meta-analyysien tulokset ja vaikutukset boreaalsiin nurmiin

Yuan Li, Narasinha Shurpali, Sanni Semberg, Petra Manninen, Tulasi Lakshmi Thentu, Bhattarai Hem, Panu Korhonen, Sanna Kykkänen, Zhou Li, Qingping Zhang, Scott X. Chang, Song Cui, Perttu Virkajärvi 26

Suorakylvön pitkäaikaisvaikutukset maaperän mikrobistoon ja hiilivarastoihin: Kenttäkokeen tuloksia Loimaalta

Benjami Laine, Jussi Knaapi, Jaakko Litmanen, Sami Taipale, Marja Tirola 28

Sensitivity of empirical indicators of soil organic carbon stability to 24 years of land-use change across soil depth.

Eva Kanari, Kristiina Karhu1, Jussi Heinonsalo 30

Maaperän aminosokereiden mittaaminen korkean erotustarkkuuden nestekromatografilla

Riku Maltari, Aino Seppänen, Kristiina Karhu 31

Effects of soil waterlogging on tree fine root longevity and implications for plant survival

Timo Domisch, Jouni Kilpeläinen 33

Maaperän orgaaninen aine, juuret & sienet—jatkuvan ja jaksollisen metsänkasvatuksen vaikutukset maaperän hiilivarastoon Suomen metsissä

Eva-Maria Roth, Outi-Maaria Sietiö, Bartosz Adamczyk, Sauli Valkonen, Matti Koivula, Eeva-Stiina Tuittila, Heljä-Sisko Helmisaari, Kristiina Karhu 35

Sienten ja kasvien juurien vuorovaikutukset edistävät maaperän hiilen stabiloitumista pohjoisissa havumetsissä

Anne Tyvijärvi, Sannakajsa Velmala, Taina Pennanen, Pauliina Schiestl-Aalto, Priscila Thiago Dobbler, Petr Baldrian, Bartosz Adamczyk

Metsämaan hiilen ja typen varastojen muutos päätehakkuun jälkeen

Antti-Jussi Lindroos, Raisa Mäkipää, Päivi Merilä 38

Lehtipuusekoitus kuusikoissa: lepän ja koivun merkitys metsämaan typen saataavuudelle, hiilivarastolle ja orgaanisen aineksen laadulle

Päivi Soronen, Sandra Jämtgård, Mari Myllymäki, Aino Smolander 38

Sammalkerroksen, metsikön iän ja metsälannoituksen vaikutus typen kiertoon boreaalisissa metsissä

Inka Tammisto, Daniel Fernandez Garcia, Ella Hemming, Elina Kaarlejärvi 38

Sessio III: Elävä ja monimuotoinen maaperä

Session III: Living and diverse soils

Kevyesti muokatun luomupellon maaperän eliöyhteisö kynnön jälkeen

Krista Peltoniemi, Sannakajsa Velmala, Marleena Hagner, Juuso Joonas, Tuomas Mattila, Juha-Matti Pitkänen, Ilkka Sarikka, Visa Nuutinen 39

Maaperäeläinten monimuotoisuus metsäpohjaisilla maanparannusaineilla käsitellyillä peltomailla

Ida Pohjanlehto, Marleena Hagner, Krista Peltoniemi 40

Maankäyttö ja syvyys vaikuttavat boreaalisen maan sieniyhteisöihin

Laura Häkkinen, Igor S. Pessi, Anna-Reetta Salonen, Oona Uhlgren, Helena Soinne, Jenni Hultman, Jussi Heinonsalo 41

Poimintahakkuun ja tasaikäiskasvatuksen vaikutus metsän maaperän monimuotoisuuteen

Taina Pennanen, Sauli Valkonen, Sannakajsa Velmala, Päivi Väänänen, Krista Peltoniemi, Tania Galindo-Castañeda, Martin Hartmann, Anna Clocchiatti, Salvador Llado, Santiago Solivares Codina, Hannu Fritze

Effects of reduced snow cover on soil fungi and plant roots in boreal coniferous forest
Jie Xu, Lauri Lindfors, Anna Lintunen, Hui Sun, Jussi Heinonsalo 43

Kasvien kasvua edistävät bakteriofaagit
Ville-Petri Friman 44

Kasvipatogeenien tukahduttaminen voi olla seuraus bakteerien kilpailusta juuristossa
Yue Yin, Thomas Pommier, Yangchun Xu, Ville-Petri Friman, Zhong Wei 47

Metsäpuutarha tuo Viikin kampukselle uutta monimuotoisuutta, lisää hiilensidontaa sekä opetus- ja tutkimusalustan kestävyystieteille.
Kim Yrjälä, Peter Petros, Santeri Tuovila, David Israel 48

Kaupunkimaaperä monimuotoisuuden lähteenä - Kaupunkien viheralueilla asukkaat kohtaavat monipuolisia mikrobiyhteisöjä
Hannu Fritze, Krista Peltoniemi, Taina Pennanen, Sannakajsa Velmala, Jenni Hultman, Leila Korpela, Oili Tarvainen, Jouni Karhu, Marika Laurila, Katja Kangas 48

Sessio IV: Uhkia maaperälle?

Session IV: Threats to soils?

Mikromuovin vaikutukset Euroopan maatalousmaissa – PAPILLONS
Sannakajsa Velmala, Salla Selonen, Helena Soinne, Hannu Fritze, Johanna Nikama, Juha-Matti Pitkänen, Vili Saartama, Jyri Tirroniemi, Janne Kaseva, Jari Haimi, Klára Šmídová, Jakub Hofman, Shinwoong Kim, Matthias Rillig, Paula Redondo, Melanie Braun, Luca Nizzetto 51

Pystyvätkö lierot (*Eisenia andrei*) välttämään maan mikromuoveja
Vili Saartama, Jari Haimi, Salla Selonen 57

Biohajoavien katemuovien hajoavuus suomalaisessa peltomaassa
Salla Selonen, Johanna Nikama, Liisa Maunuksela, Demetres Briassoulis, Fabiana Convertino, Antonis Mistriotis, Christina Pyromali, Vili Saartama, Evelia Schettini, Helena Soinne, Jyri Tirroniemi, Sannakajsa Velmala, Giuliano Vox 58

Klopyralidin kulkeutuminen suomalaisiin kierrätyslannoitteisiin
Lauri Äystö, Katri Siimes 60

Antibioottiresistenssiprofiilit ja mikrobiyhteisöt suomalaisen 1700-luvun teurastamon Ympäristössä
Minna Maria Maunula, Taru-Marja Mäkinen, Kari Uotila, Jenni Hultman, Kirill Bogdanov, Marko Virta, Auli Bläuer, Petri Auvinen, Johanna Muurinen 62

Kierrätyslannoitteiden antibioottiresistenssin levittämispotentiaali kenttäkokeiden perusteella

Johanna Muurinen, Melina Markkanen, Jenni Hultman, Kari Ylivainio, Boris Jansen, Tapio Salo, Antonio Delgado Garcia, Ramiro Recena Garrido, Mustapha Arkoun, Aurelien D’Oria, Riikka Keskinen. Marko Virta

63

Sessio V: Maanparannusaineet ja maan kasvukunto

Session V: Soil amendments and soil condition

Effects of biochar, ligneous soil amendments, and a microbial stimulant on soil biological activity, and carbon content and stability two-years after their application in a boreal cropland

Heinonsalo, J., Peltokangas, K., Barré, P., Baudin, F., Cécillon, L., Kalu, S., Kanerva, S., Karhu, K., Kulmala, L., Liski, J., Salonen, A.-R., Shrestha, R., Soinne, H., Virtanen, E., Huusko, K., Sietiö, O.-M.

68

Bioresque-projekti: Metsäteollisuuden resurssien palauttaminen maanparannusaineeksi biojalostuksen avulla

Jukka Kivelä, Aurelia Louhio, Elias Hakalehto

69

Lannoitepellettien ominaisuuksien vaikutus niiden levitettävyyteen keskipakoislevitimellä

Petri Kapuinen, Ari-Matti Seppänen

48

Tuotteistettujen kasvualustojen biologinen monimuotoisuus

Outi Tahvonen, Outi-Maaria Sietiö, Janne Salminen

48

Maanparannusaineiden rinnakkaiskäyttö Savijoen valuma-alueella

Jaana Uusi-Kämpä, Eerika Albrecht, Jenna Bergholm, Petri Ekholm, Jari Hyväluoma, Tuomas Kahma, Riikka Keskinen, Maria Kämäri, Elina Nurmi, Juuso Pelkonen, Karoliina Rimhanen, Helena Soinne, Risto Uusitalo, Pasi Valkama, Juho Valtiala

48

Maanalaisen happikonsentraation monitorointi avaa ennennäkemättömiä mahdollisuuksia

Johannes Tiusanen

4

Sessio VI: Päästöt maaperästä ilmaan ja vesiin

Session VI: Emissions from soil to the atmosphere and water

Peltojen fosforitila ja jokivesien fosforipitoisuus

Katri Rankinen, Johanna Laakso

69

Kestävä maankäyttö valuma-alueilla, joilla on happamia sulfaattimaita viljelykäytössä

Miriam Nystrand, Peter Österholm, Casimir Näsi

Maatalousmaan väliaikainen vedellä kyllästäminen muutti CO2 vuon dynamiikkaa mutta ei kumulatiivisia päästöjä

Reija Kronberg, Sanna Kanerva, Markku Koskinen, Tatu Polvinen, Tuomas Mattila, Mari Pihlatie

Herneen ja härkävavun sato- ja esikasvivaikutukset N₂O-päästöihin hiuesavimaasta eri viljelykierroissa

Simojoki A., Koivula A., Alitalo J., Mäkelä P., Alakukku L., Stoddard F.L.

Orgaanisten aineiden vaikutuksen N₂O-päästöihin: meta-analyysi

Elena Valkama, Domna Tzemi, Ulises Ramon Esparza-Robles, Alina Syp, Adam O'Toole, Peter Maenhout

Typpioksiduulin päästöt turvepellolta – maaperän fosfori avainasemassa selittämässä paikallista vaihtelua

Marja Maljanen, Yu Zheng, Minna Pääkkönen, Carolina Voigt, Arja Louhisuo, Perttu Virkajärvi

Vaikuttavatko porot pohjoisten soiden metaanipäästöihin – ja miten se saadaan selville?

Raija Laiho, Petri Salovaara, Päivi Mäkiranta, Krista Peltoniemi, Timo Penttilä, Tuomas Rajala, Jenni Hultman, Mika Korkiakoski, Hannu Fritze

48

Sessio VII: Sillanpää 100 vuotta

Session VII: Sillanpää 100 years

Hivenaineita ja maaperäfyysiikkaa – katsaus professori Mikko Sillanpään tieteelliseen tuotantoon

Markku Yli-Halla

Vihreän linjan nurmikokeiden perintö muuttuvassa tuotantoympäristössä – lannoituskäytännöt, maaperä ja uudet tutkimustarpeet

Arja Louhisuo, Markku Yli-Halla

Viljelymenetelmien pitkäaikaisvaikutukset Loimaan kenttäkokeessa

Jussi Knaapi & työryhmä Eemeli Linna, Uolevi Oristo, Erkki Mäkelä, Tuomas Levomäki

1. **Typpilannoituksen vaikutus nurmiviljelyn KHK päästöihin**
Minna Nousiainen, Marja Maljanen, Richard Lamprecht, Sanna Kykkänen, Perttu Virkajärvi 72
2. **Kipsilanta-hankkeessa tutkitaan kipsin ja lietelannan yhteiskäyttöä**
Sami Talola, Susanna Muurinen, Arvo Ekman 73
3. **Effect of drought on carbon use efficiency and the formation of stable microbial derived C**
Xuhui Luo, Pauliina Turunen, Aiwei Huang, Bin Song, Lukas Kohl, Kristiina L. Karhu 75
4. **Aluskasvien monimuotoisuuden vaikutukset maan vesipitoisuuteen ja N₂O-päästöihin hallituissa kuivuusolosuhteissa**
Pauliina Turunen, Markku Koskinen, Asko Simojoki, Jussi Heinonsalo, Mari Pihlatie 77
5. **Maatalouden vesitalouskoulutus vastaamaan nykypäivän haasteisiin - VESKU**
Karoliina Jylhä, Minna Mäkelä, Maarit Liimatainen, Jaana Petäinen 78
6. **Säätösalaajituksen ja salaojakastelun vaikutus tuottavuuteen ja ympäristökuormitukseen hietamaalla**
Minna Mäkelä, Jyrki Nurminen, Olle Häggblom 80
7. **To Build a Model to Study the Transfer of N, C and P Between Mycorrhiza and Tree Roots in a Boreal Environment Considering Game Theory, Optimisation and Physical Relationships.**
Johanna Simms 82
8. **Turvemaiden mikrobiyhteisöt ja niiden yhteydet viruksiin**
Kalle Pettersson 83
9. **Eri hakkuumenetelmien vaikutus ojitetun korpikuusikon N₂O päästöihin sekä niiden spatiaaliseen ja ajalliseen vaihteluun**
Eduardo Martínez-García, Helena Rautakoski, Antti Rissanen, Qian Li, Alekski Lehtonen, Mikko Peltoniemi, Annalea Lohila, Raisa Mäkipää 84
10. **Märkydestä kärsineen savimaan ominaisuuksien parantaminen**
Merja Myllys, Jyrki Nurminen, Minna Mäkelä, Olle Häggblom 85
11. **Turvepeltojen moninaiset merkitykset**
Jaakko J Mäkelä, Olle Häggblom 87
12. **Ravinneistetun biohiilien vaikutus härkäpapujen biologiseen typensidontaan**
Zannatul Ferdous, Kristiina Karhu, Frederick Stoddard, Priit Tammeorg
13. **Tuhkalannoituksen pitkäaikaisvaikutukset maaperän mikrobiyhteisöille ojitetuissa suometsissä**
Matilda Kattilakoski, Jenni Hultman, Krista Peltoniemi, Paavo Ojanen, Päivi Väänänen

14. **Biokierrotaloudesta uusia materiaaleja kaivosten jälkihoitoon**
Marleena Hagner, Elina Virkkunen, Outi Laatikainen, Raija Pietilä, Pasi Laajala
15. **Ekosysteemien palauttaminen kaivannaisjätealueille?**
Marleena Hagner, Marja Uusitalo, Outi Manninen, Rainer Peltola, Raija Pietilä, Minna Männistö
16. **Pohjaveden tason vaikutus suopellon kasvihuonekaasupäästöihin – mesokosmoskoe**
Yu Zheng, Minna Nousiainen, Perttu Virkajärvi, Sanni Semberg, Marja Maljanen
17. **Happamien sulfaattimaiden rautapillien koostumus ja merkitys**
Markku Yli-Halla
18. **Prosessointitekniikoiden vaikutus orgaanisten lannoitevalmisteiden torjunta-ainejäämiin**
Elina Tampio, Marleena Hagner, Kati Räsänen, Minna Sarvi, Lucia Blasco, Ari-Matti Seppänen, Niina Honkala, Marika Rastas
19. **Turvetuotantoalueiden nykyisyys ja mahdollinen tulevaisuus: SuoLiike JTF hankkeen suoviljely skenaario Kymenlaaksossa.**
Kim Yrjälä, Jiri Luojukoski, Maarit Kari, Anna Kemppinen
20. **Tutkimustiedon viestintä Carbon Action -verkoston sidosryhmille**
Elisa Vainio, Anne Nordling, Katri Salovaara, Julia Kajas, Jenni Jääskeläinen, Anne Antman, Sofia Seivo, Alina Nikula, Menna Rantala, Pieta Jarva
21. **Luontopohjaiset ratkaisut kasvinterveyden hallintaan - NaBaSolu-hanke**
Ansa Palojarvi, Marika Rastas, Kalle Ohralahti, Elina Sohlberg, Tuija Sarlin
22. **Faagiterapia kestäväälle maataloudelle: Faagien potentiaalin hyödyntäminen eri ilmastoissa**
Azadeh Rezapour, Ville-Petri Friman
23. **ECHO-hanke: Maaperäterveyden edistäminen kansalaistieteen avulla**
Virpi Virjamo, Hannes Pasanen
24. **Ravinnerikastetun biohiilen vaikutukset ravinneniukan hietamaan fysikaalis-kemiallisiin ominaisuuksiin ja kasvihuonekaasupäästöihin**
Samuel Amoah, Asko Simojoki, Priit Tammeorg

88

Toimiiko hiilen ja saveksen suhde (SOC/Clay) maaperän terveyden indikaattorina?

Does the carbon-clay ratio act as an indicator of soil health?

Helena Soinne¹, Tiina Törmänen¹, Jaakko Heikkinen², Jari Hyväluoma², Riikka Keskinen²,
Aleksi Lehtonen¹, Eduardo Martinez-Garcia¹, Lorenzo Menichetti¹, Tapio Salo², Raisa Mäkipää¹

¹ Luonnonvarakeskus, Latokartanonkaari 9, Helsinki

² Luonnonvarakeskus, Tietotie 4, Jokioinen

Abstrakti

Maaperän seuranta koskevassa lakiesityksessä (Soil Monitoring Law) yhdeksi maaperän terveyden indikaattoriksi on ehdotettu maan orgaanisen hiilen (SOC) ja saveksen (Clay) suhdetta maassa. Indikaattorilla pyritään osoittamaan hiilen hävikkiä maasta, ja maaperä olisi tämän indikaattorin suhteen terve SOC/Clay-suhteen ollessa suurempi kuin 1/13. EEA:n (2020) raportin mukaan indikaattori pohjautuu tutkimuksiin, joissa selvitetään SOC:n merkitystä maan rakenteelle lajitekoostumukseltaan erilaisissa maissa [1]. Prout ym. [2] mukaan SOC/Clay -suhteen ollessa alle 1/13 maaperän tila on heikentynyt ja kynnsarvon alle jääminen osoittaa SOC:n hävikkiä, sillä heidän tutkimuksessaan alle 1/13 arvoja ei löytynyt lainkaan nurmi- tai metsäalueilta.

Soinne ym. [3,4] tutkimuksissa matala SOC/Clay-suhde viittasi suomalaisilla viljelyssä olevilla savimailla suurempaan eroosioherkkyyteen ja huonoon sadontuottokykyyn. Monien rakennemuuttujien osalta SOC:llä ja saveksella on vastakkaiset vaikutukset ja siksi mitä enemmän maassa on savesta, sitä enemmän tarvitaan SOC:ltä toimivan rakenteen saavuttamiseksi [5]. Karkeilla kivennäismailla SOC/Clay-suhde ei kuitenkaan näyttänyt olevan yhteydessä satotasoon [3].

Mäkipää ym. [5] puolestaan tutkivat SOC/Clay-indikaattorin toimivuutta hyödyntäen Euroopan laajuisen LUCAS-näytteenoton tuloksia sekä eri valtioiden ilmastopöytäkirjan (UNFCCC) mukaisesti raportoitua maaperän hiilivarastojen muutoksia. Tulokset osoittivat suuria eroja kansallisissa kasvihuonekaasuinventoinneissa raportoitujen maaperän hiilivarastojen muutosten ja maaperän hiilihäviöindikaattoriin perustuvan huonontuneiden maiden osuuksien välillä. On myös selvää, että ehdotettu SOC/Clay-indikaattori ei sovellu turvemaiden terveyden mittariksi. Turvemaille tarvitaan erilainen lähestymistapa, joka huomioi turpeen hajoamisen nopeuden ja turvemaan vesitalouden.

Yhden indikaattorin ja yhden kynnsarvon käyttäminen kaikille maatyypeille ja maankäytöille ei välttämättä tue maaperän seuranta koskevan lain tavoitetta maaperän tilan arvioinnista. Tähän tarpeeseen vastaamaan Luonnonvarakeskuksessa on pyritty kehittämään borealisille peltomaille soveltuvaa kynnsarvoa SOC/Clay-suhteelle perustuen sadontuottoon ja satovarmuuteen. Maaperän hiilivaraston muutoksen seurantaan tarvitaan toistuva näytteenotto ja Luonnonvarakeskuksessa on arvioitu seurantaan tarvittavan näytealaverkoston laajuutta ja mahdollista toimeenpanoa.

Kirjallisuus

[1] EEA report, 2022. Soil monitoring in Europe, Indicators and thresholds for soil health assessments. Revised version 2022. Baritz (ed).

- [2] Prout, J.M., Shepherd, K.D., McGrath, S.P., Kirk, G.J. and Haefele, S.M., 2021. What is a good level of soil organic matter? An index based on organic carbon to clay ratio. *European Journal of Soil Science*, 72(6), pp.2493-2503.
- [3] Soinne, H., Keskinen, R., Rätty, M., Kanerva, S., Turtola, E., Kaseva, J., Nuutinen, V., Simojoki, A. and Salo, T., 2021. Soil organic carbon and clay content as deciding factors for net nitrogen mineralization and cereal yields in boreal mineral soils. *European Journal of Soil Science*, 72(4), pp.1497-1512.
- [4] Soinne, H., Hyväluoma, J., Ketoja, E. and Turtola, E., 2016. Relative importance of organic carbon, land use and moisture conditions for the aggregate stability of post-glacial clay soils. *Soil and Tillage Research*, 158, pp.1-9.
- [5] Soinne, H., Keskinen, R., Tähtikarhu, M., Kuva, J. and Hyväluoma, J., 2023. Effects of organic carbon and clay contents on structure-related properties of arable soils with high clay content. *European Journal of Soil Science*, 74(5), p.e13424.
- [6] Mäkipää, R., Menichetti, L., Martínez-García, E., Törmänen, T. and Lehtonen, A., 2024. Is the organic carbon-to-clay ratio a reliable indicator of soil health?. *Geoderma*, 444, p.116862.

Soils for Europe (SOLO) hanke

Soils for Europe (SOLO)

Jenni Hultman¹, Helena Soinne¹, Antti-Jussi Lindroos¹ & Taina Pennanen¹

¹ Luonnonvarakeskus (Luke), Latokartanonkaari 7, 00790 Helsinki

Terve maaperä muodostaa perustan koko ruokajärjestelmällemme. Se puhdistaa ja pidättää vettä, sekä tarjoaa monimuotoisuuden kannalta tärkeitä elinympäristöjä. Terve maaperä vaikuttaa osaltaan siihen kuinka joustavasti sopeudumme muuttuvaan ilmastoon. Se tukee kulttuurista perintöä ja on perusta taloudelle ja hyvinvoinnille.

Maaperä on alttiina monille siihen kohdistuville paineille kuten ilmastonmuutokselle, kaupungistumiselle, saasteille, liikakäytölle, ravinteiden saatavuudelle ja monimuotoisuuden vähenemiselle. Euroopan komission arvion mukaan 60–70 % Euroopan maaperästä on heikentyntä, eikä voida pitää terveenä nykyisillä maankäyttömenetelmillä.

EU:n Mission ”A Soil Deal for Europe” tavoitteena on vastata näihin kysymyksiin:

- rahoittamalla kunnianhimoista tutkimus- ja innovaatio-ohjelmaa, mikä sisältää vahvan sosiaalitieteiden osuuden
- perustamalla tehokkaan 100 yksikön ’living-labs ja lighthouses’ -verkoston luomaan yhdessä tietämystä, koeratkaisuja ja osoittamaan niiden arvon todellisen elämässä
- kehittämällä puitteet harmonisoidulle maaperän seurannalle Euroopassa
- lisäämällä ihmisten tietämystä maaperän elintärkeästä roolista

Jotta näihin tavoitteisiin päästään, tarvitaan laajan sidosryhmäjoukon suoraa osallistumista. Näin saadaan koottua moninaisia näkemyksiä, jotka liittyvät ekologisiin, ympäristöllisiin, taloudellisiin ja sosiaalisiin yhteyksiin.

SOLO-hanke tunnistaa kestävästä maankäytöstä ohjaavia tekijöitä sekä tietoaukkoja ja pullonkauloja. SOLO tunnistaa myös uusia tutkimus- ja innovaatiomenetelmiä, joita voidaan mahdollisesti käyttää Euroopan Soil Missionissa tutkimuksen ja innovaatioiden tiekartassa. Projektin tavoitteena on luoda tiedon keskus maaperän terveyden tutkimukselle ja innovaatioille, mikä säilyy projektin päättymisen jälkeenkin. Tämä toteutetaan perustamalla strategisia kumppanuuksia ja ottamalla käytäntöön osallistavia ja läpinäkyviä prosesseja.

SOLO-hankkeeseen kuuluu ajatushautomoja (Think Tanks), yksi jokaiselle Missio-tavoitteelle. Tavoitteena on tunnistaa tietoaukkoja, ohjaavia tekijöitä, pullonkauloja sekä uusia lähestymistapoja tutkimuksen ja innovaatioiden osalta. Lisäksi ehdotetaan indikaattoreita, ’Key Performance Indicators (KPIs)’, joilla voidaan seurata Missioon kuuluvien R&I aktiviteettien edistymistä. Yhdessä avoimen digitaalisen alustan kanssa ajatushautomot toimivat toiminnallisina välineinä, joihin syntyy osallistava prosessi, mikä jatkuu SOLO:n jälkeenkin.

SOLO – Ajatushautomot (Think Tanks)

Jalanjälki maaperässä (*Footprint on Soil*)

Maaperän tilan heikentyminen (*Land Degradation*)

Maaperän orgaanisen hiilen varastot (*Soil Organic Carbon Stocks*)

Torjunta-aineiden aiheuttama pilaantuminen ja ennallistaminen (*Pesticide Pollution and Restoration*)

Erosion torjunta (*Erosion prevention*)

Maaperän sulkeminen ja kaupunkimaaperä (*Soil Sealing and Urban Soils*)
Maaperän rakenne (*Soil Structure*)
Maaperän biodiversiteetin suojelu (*Nature Conservation of Soil Biodiversity*)
Maaperän yleinen ymmärrys (*Soil Literacy*)

Luke vetää *Maaperän rakenne* -Ajatushautomoa josta kerromme posterilla tarkemmin.

maaperaseura@gmail.com

Missiona maaperä – maaperällä yhä vahvempi rooli ammattikorkeakoulujen luonnonvara-alan TKI-työssä

Soil as a mission - the soil is playing an increasingly strong role in the RDI work of universities of applied sciences in the field of natural resources

Kari Laasasenaho & Miira Jääskeläinen

Seinäjoen ammattikorkeakoulu, PL 412, 60101 Seinäjoki

Maaperä on noussut yhä tärkeämpään rooliin korkeakoulujen tutkimus-, kehittämis- ja innovaatiotyössä (TKI). Tämä johtuu sen keskeisestä merkityksestä hiilensidonnassa ja monissa ekosysteemipalveluissa, kuten puhtaan veden turvaamisessa. Viime aikoina maaperään liittyviä TKI-hankkeita on tuettu voimakkaasti, esimerkiksi Nappaa hiilestä kiinni - rahoitusohjelmassa ja oikeudenmukaisen siirtymän rahoituksessa. Soveltavaan tutkimustoimintaan on suunnattu yhä suurempi osa TKI-rahoituksesta, erityisesti luonnonvara-alalla ammattikorkeakouluissa.

Tässä salamapuheessa esitellään esimerkkejä Seinäjoen ammattikorkeakoulun hanketoiminnasta, joissa maaperä on keskeisessä roolissa. Esille nostettavia hankkeita ovat muun muassa Euroopan unionin osarahoittamat TUKKA, ArvoHiili, TUPSU, SuoPaikka ja HOKE-hankkeet, joita hallinnoidaan Kestävä ja vastuullinen ruoantuotanto -tutkimusryhmässä [1]. Näissä hankkeissa edistetään muun muassa turvemaihin liittyvää tiedonvaihtoa sekä turvetuotannosta vapautuneiden alueiden maaperäviisaita jatkokäyttömuotoja.

Kirjallisuus

[1] Seinäjoen ammattikorkeakoulu 2024. Kestävä ja vastuullinen ruoantuotanto. Saatavilla: <https://www.seamk.fi/tutkimus-ja-kehittaminen/tutkimusryhmat/kestava-ja-vastuullinen-ruoantuotanto/>

Elintarviketeollisuuden sivuvirrat ja biokiertotalous maan terveyden edistäjänä – EU Maaperämissiön DeliSoil-hanke

Food industry sidestreams and the circular bioeconomy as a remedy for soil health - EU Mission Soil DeliSoil project

Ansa Palojärvi¹, Eila Järvenpää², Minna Kahala², Johanna Laakso², Taru Palosuo³, Kimmo Rasa², Tapio Salo², Minna Sarvi² & Elina Tampio³ sekä 13 muuta partneriorganisaatiota

¹ Luonnonvarakeskus (Luke), Turku, ansa.palojarvi@luke.fi

² Luke, Tietotie 4, 31600 Jokioinen

³ Luke, Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki

Terve maaperä tarjoaa keskeisiä ekosysteemipalveluita niin globaaliin ruokaturvaan kuin ilmastonmuutoksen hillintään. Merkittävä osa (60-70%) Euroopan maaperästä on arvioitu kunnoltaan heikentyneeksi. EU:n maaperämissio tähtää oleellisiin parannuksiin vuoteen 2030 mennessä. Maaperämissiön tavoite on luoda 100 paikallista kokeilevan kehittämisen verkostoa (Living Labs), joissa yhdessä ratkotaan ongelmia ja kehitetään ratkaisuja.

Luken koordinoima EU:n maaperämissiön rahoittama **DeliSoil** (*Delivering safe, sustainable, tailored & societally accepted soil improvers from circular food production processes for boosting soil health*) -hanke kehittää yhdessä elintarvikeketjun toimijoiden kanssa ratkaisuja siihen, miten elintarviketeollisuuden sivuvirrat räätälöidään biokiertotalouden avulla ilman ympäristöriskejä turvallisiksi maanparannusaineiksi ja lannoitevalmisteiksi parantamaan maan terveyttä. Elintarviketeollisuuden sivuvirroilla on suuri hyödyntämispotentiaali, sillä ne ovat paikallisesti keskittyneitä ja laadultaan usein tasalaatuisia. 14 partnerin konsortio pyrkii edistämään EU:n lannoiteasetuksen tavoitetta tuoda markkinoille turvallisia ja korkealaatuisia kierrätettyjä lannoitevalmisteita sekä edistää samalla EU:n 'pellolta pöytään' kestävästä viljelyä koskevaa strategiaa. Hanke alkoi kesäkuussa 2023 ja päättyy toukokuussa 2027 (ks. <https://delisoil.eu/>).

Olemme perustaneet paikallisten sidosryhmien kanssa viidessä maassa (Suomi, Tanska, Saksa, Italia, Espanja) kokeilevan kehittämisen verkostoja (engl. Living Labs), joissa on mukana koko elintarvikeketju. Mukana on myös kokeilukeskuksia (engl. Lighthouses), jotka ovat paikkoja elintarviketuotannon sivuvirtojen käsittelyn ja käytön yhteiselle kehittämiselle. Innovatiivisia ratkaisuja testataan käyttämällä sivuvirtoja alueellisesti tärkeiltä elintarviketeollisuuden aloilta, kuten vihannesten-, lihan-, oliiviöljyn- ja viinintuotannosta. Eri puolilla Eurooppaa tarvitaan erilaisia paikallisia ratkaisuja. Yhteistyön avulla hyvät käytännöt saadaan leviämään konkreettisten esimerkkien avulla. Parhaimmillaan paikalliset ratkaisut tuottavat uutta liiketoimintaa ja parhaat käytännöt leviävät tehokkaasti eurooppalaisessa verkostossa.

Hankkeen tavoitteena on tutkimuksen ja yhteiskehittelyn avulla saada aikaan: i) Uusia teknisiä ratkaisuja lannoitevalmisteiden valmistukseen elintarviketeollisuuden sivutuotteista; ii) Elintarviketeollisuuden sivuvirroille luotuja uusia arvoketjuja mukaan lukien toimivat liiketoimintamallit; iii) Parannuksia sivuvirtojen hallintaan ja käsittelyyn; iv) Yhteistyötä keskeisten sidosryhmien kanssa tiedon jakamisen helpottamiseksi, ja v) Biokiertotalouden ratkaisujen kasvavaa hyväksyntää kansalaisten keskuudessa. Yhteistyötä tehdään myös eri Maaperämissiön hankkeiden kanssa. Yhteinen tavoite on herätellä suuren yleisön tietoisuutta maaperän terveyden tärkeästä merkityksestä.

Decision Support Tools for Soil Health in Agriculture

Timo A. Räsänen¹, Dylan Warren Raffa², Sofia Delin³, Meriem Jouini³, Raimonds Kasparinskis^{4,5}, Baiba Dirnēna⁴, Alessandra Trinchera², Daniëlle Ooms⁶, Ardy Saarloos⁶, Imants Kukuļs⁵, Valentina Baratella², Ülfet Erdal⁷, Zeynep Demir⁷, Daniel Simonse⁶, Marjoleine Hanegraaf⁶

¹Natural Resources Institute Finland, Helsinki, Finland (timo.rasanen@luke.fi)

²Council for Agricultural Research and Economics, Rome, Italy

³Swedish University of Agricultural Sciences, Skara, Sweden

⁴University of Latvia, Riga, Latvia

⁵Latvia University of Life Sciences and Technologies, Jelgava, Latvia

⁶Wageningen University & Research, Wageningen, Netherlands

⁷General Directorate of Agricultural Research and Policies, Ankara, Türkiye

Introduction

Agriculture in Europe is facing increasing challenges due to environmental, economic, and social factors that threaten its societal and food security roles. Soil degradation is a central issue, impacting essential soil functions, while farmers are also struggling with profitability. These factors create a challenging environment for farmers to make daily and long-term decisions. Decision Support Tools (DSTs) have been developed to support farming decisions, focusing on areas like nutrient management, organic matter, pesticide and herbicide use, and water management. These tools can guide decisions that promote both soil health and economic goals. However, on a European scale, understanding of DST availability, adoption, and development needs remains limited. The objectives of our research were (a) to explore and evaluate the most commonly used digital DSTs within Europe and (b) to provide recommendations for enhancing the adoption and development of DSTs to foster soil health [1]. The focus was on DSTs covering nutrient use efficiency, soil organic matter, and soil water retention.

Methodology

Two surveys were performed based on questionnaires, one sent to experts (mainly researchers) and the other to farmers and stakeholders. The questionnaires consisted of qualitative and quantitative questions regarding the adoption, use, features, limitations, and development needs of DSTs. Responses for the expert survey were received from 18 countries, while responses for the farmer and stakeholder survey came from six countries. In addition, stakeholder exchanges were conducted in four countries by organizing workshops with a variety of stakeholders, aimed at further investigating stakeholder perceptions and needs for DSTs.

Results and discussion

A total of 115 digital DSTs were reported in the expert survey. The DSTs were primarily used by agronomists, consultants, and advisors (80%), followed by farmers (78%), researchers (51%), private companies and NGOs (27%), and policymakers responsible for monitoring (23%). Overall, the adoption rate of DSTs was moderate, with the highest rates observed in tools that demonstrated high suitability for reaching user goals, user-friendly interfaces, and high reliability. Various needs for improvement and future development were identified, including enhanced process descriptions, validation, and analytical capabilities; ease of use; inclusion of different farming systems (e.g., organic, agroforestry); and the integration of economic, environmental, and other modules.

The survey of farmers and stakeholders revealed that farming challenges differ across countries. Perspectives on DSTs also varied more widely than among experts, reflecting differences in

adoption, and perceived usefulness and reliability across countries. The most important reported features of DSTs were low data requirements, trust and confidence in results, and the delivery of outcomes that are easily applicable and provided in real-time.

Stakeholder exchanges highlighted varying soil-related challenges and objectives for DST use between countries. The most significant barriers to DST adoption were the high cost of technology, low user-friendliness and lack of technical support, and reluctance to adopt new technologies. Suggested improvements focused on enhancing tool functionality for day-to-day decision-making, transparency, real-time decision-making, customization to user needs, monitoring capabilities, interoperability with other technologies, and mobile applications.

Conclusions

The surveys and stakeholder exchanges revealed a diverse landscape of DST types and technologies, with varying user needs and adoption. Addressing the identified limitations and development needs can enhance DST adoption and improve decision-making in farming. In the soil health context, many current DSTs are narrowly focused on productivity or single purposes, neglecting the combined effects of essential soil functions. A shift toward integrated, multifunctional DSTs is needed to optimize agricultural outputs while promoting the health and resilience of agro-ecosystems. Specific recommendations were proposed to enhance the adoption and effectiveness of DSTs, including the development of a European web portal (Table 1). Implementing these recommendations requires collaboration among stakeholders—researchers, policymakers, farmers, and technology developers. In conclusion, DSTs have the potential to play a transformative role in advancing soil health, environmental sustainability, and agricultural resilience in Europe.

Table 1. Summary of recommendations for enhanced adoption and effectiveness of DSTs and for European web portal on DSTs for soil health.

Enhanced adoption and effectiveness of DSTs	Web portal on DSTs for soil health
<ul style="list-style-type: none"> • Improve data integration and accessibility • Increase usability and flexibility • Monitor and evaluate DST performance • Include soil health and economic indicators • Explore new technologies and guarantee continuous improvement • Focus on multi-functional and integrated tools • Promote knowledge exchange and capacity building • Enhance user engagement and co-creation • Align with policy and regulatory frameworks • Foster collaboration and cross-border integration 	<ul style="list-style-type: none"> • Use a participatory approach • Functional design, an architecture • Customizable user dashboards • Centralized access to diverse tools • Interoperability with existing systems • Scalable solutions for different users • Interactive decision-making tools • Real-time data integration • User support and community forums • Data privacy and security • Regional customization and localization • Educational resources and best practices • Continuous feedback and improvement loop • Integration with policy and regulatory frameworks

Literature

[1] Räsänen, T.A., Raffa, D.W., Delin, S., Jouini, M., Kasparinskis, R., Dirnēna, B., Trinchera, A., Ooms, D., Saarloos, A., Kukuš, I., Baratella, V., Erdal, Ü., Demir, Z.,

Simonse, D., and Hanegraaf M., 2024. PRAC2LIV Final Report — Stocktake and Stakeholder Exchanges on Decision Support Tools for Soil Organic Matter, Nutrient Use Efficiency, and Water Retention Across EJP SOIL Countries. *European Joint Programme on Agricultural Soil Management (EJP SOIL)*.

Case Benchmarks: Maaperän terveys – käytännön toimijoiden näkemykset

The Case Benchmarks: Soil health – views from stakeholders

Tiina Törmänen¹, Maarit Liimatainen¹, Helena Soinne¹, Raisa Mäkipää¹

¹ Luonnonvarakeskus, Latokartanonkaari 9, Helsinki

Johdanto

Euroopan Unioni panostaa maaperän terveyteen ja valmistelee EU:n maaperän seurantaan koskevaa direktiiviä. Yhdeksi tavoitteeksi on asetettu, että kaikki Euroopan maaperät ovat terveitä vuoteen 2050 mennessä. Maaperän terveydestä ja sen saavuttamiseen vaadittavista toimenpiteistä sen seuraamiseksi on kuitenkin haastavaa saavuttaa yhteinen ymmärrys.

Asetettuja tavoitteita ja ymmärryksen lisäämistä tukee EU-rahoitteinen Benchmarks-hanke [1, 2], joka kehittää eurooppalaista maaperän terveyden seurantajärjestelmää, sekä testaa ja varmentaa maaperän terveyden indikaattoreiden toimivuutta eri ilmasto-olosuhteissa ja maankäyttömuodoilla. Hanke tekee tiivistä yhteistyötä sidosryhmien kanssa varmistaen, että käytännön näkemykset ja tarpeet huomioidaan ja että tulokset jalkautuvat tehokkaammin käytännön toimintaan.

Aineisto ja menetelmät

Hanke järjesti 21 sidosryhmätyöpajaa kattaen maatalous-, metsätalous- ja kaupunkialueet. Vuonna 2023 Suomessa järjestettiin kolme strukturoitua sidosryhmätyöpajaa, joista kaksi käsitteli maatalousmaita ja yksi metsämaita. Työpajojen päätavoitteina oli 1) koota tietoa alueellisista ja sidosryhmien välisistä eroista maaperän toimintojen priorisoinnissa ja 2) koota tietoa sidosryhmiltä paremman maaperän terveyden ja kasvukunnon saavuttamisen esteistä. Sidosryhmien edustajia työpajoissa olivat viljelijät/maanomistajat, yksityisen- ja julkisen sektorin edustajat, tutkijat, opettajat sekä kansalaiset. Osallistujat tunnistivat yhdessä maaperän terveyteen liittyviä haasteita omalla alueellaan ja näiden haasteiden taustalla olevia syitä. Lisäksi osallistua pyydettiin arvioimaan erilaisia maaperän toimintoja oman sidosryhmäroolinsa näkökulmasta ja keskustelemaan tarpeistaan vahvistamaan alueensa maaperän terveyttä tulevaisuudessa.

Alustavat tulokset

Alustavien tulosten mukaan kaikissa Suomen työpajoissa nousi tärkeimmiksi sidosryhmien nimeämiksi maaperän tarjoamiksi ekosysteemipalveluiksi perustuotanto, ravinteiden kierto sekä vedenpidätykset, tulvasäätely ja veden puhdistaminen.

Tärkeimpinä toimenpiteinä maaperän terveyden ylläpitoon maatalousmailla sidosryhmät pitivät mm. viljelykierron monipuolistamista, maanmuokkausmenetelmien keventämistä & muokkauksen tarveharkintaa, vesienhoidon uusien tekniikoiden huomioimista, maanpeitekasvien ja viherlannoituksen käyttöä ja peltometsäviljelyn & biologisen monimuotoisuuden lisäämistä. Tärkeimmiksi toimenpiteiksi metsätalospuolella nähtiin mm. metsänhoitokäytäntöjen monipuolistaminen ja suojelutoimet, kestävä metsänhoidon edistäminen, täsmälannoitus, maanmuokkauksen vähentäminen, juurikäävän torjunta ja koulutuksen & tutkimuksen vahvistaminen.

Haasteiksi maatalospuolella listattiin mm. maatalouspolitiikan rajoitukset, kuivuus, ravinneepätasapaino sekä lyhyellä aikavälillä liian kalliiden uusien teknologioiden käyttöönotto, yhteistyön puute maa- ja metsätaloudessa, monokulttuuriviljely sekä turvemaiden viljelyn

kohtalo. Metsäpuolella haasteina mainittiin mm. hiilinielutavoitteiden ristiriidat muiden tavoitteiden kanssa, maaperän terveyden ja metsätuhojen yhteydet, tuhkalannoituksen riskit ja ravinne-epätasapainon hallinta.

Tulosten pohjalta hanke kehittää interaktiivista työkalua [3], jonka tavoitteena on antaa yleiskuva siitä, kuinka sidosryhmät määrittelevät ja priorisoivat maaperän terveyden Euroopassa.

Kirjallisuus

[1] <https://soilhealthbenchmarks.eu/>

[2] <https://www.luke.fi/fi/projektit/benchmarks>

[3] <https://ecoenvai.ijs.si/benchmarks/workshop-interactive-tool/>

HoliSoils – metsänhoitomenetelmien maaperävaikutusten seuranta ja mallinnus

HoliSoils – monitoring and modelling of the impact of forest management practices on soil

Raisa Mäkipää¹, Qian Li^{1*}, Eduardo Martínez-García^{1*}, Lorenzo Menichetti^{1*}, Boris Āupek^{1*}, Tiina Törmänen^{1*}, Alekski Lehtonen¹

¹ Natural Resources Institute Finland (Luke), Latokartanonkaari 9, FI-00790, Helsinki, Finland

* listed in alphabetical order

Abstract

Several challenges present a significant risk to the health and functionality of forest soils and the ecosystem services they provide. These challenges, frequently caused by forest management and climate change, include soil erosion, declines in soil carbon, nutrient imbalance, water retention properties, and loss of biodiversity. It is therefore essential to gain a comprehensive understanding of the impact of forest management on soil processes and functioning. There is still a significant knowledge gap concerning the effect of forestry practices on soil carbon balances and greenhouse gas exchanges. In addition, the effectiveness of climate-smart forestry practices is contingent upon a multitude of factors, including the characteristics of the management approach itself, such as the level of management intensity and the recovery time after management, as well as the specific conditions of the site, including the soil type, soil physical, chemical, and biological characteristics and conditions, topography, vegetation composition, and climatic factors. Furthermore, there is a lack of evidence demonstrating the efficacy of different forest management practices in preventing soil carbon loss following natural disturbances. Ultimately, the impact of forest management on soil remains insufficiently integrated into forest monitoring systems and modelling tools for decision-making, which could potentially lead to neglecting these effects when formulating EU's policies to achieve climate and sustainability objectives.

In this context, the *HoliSoils* project (2021–2025; [1]) provides an improved, integrated, and harmonized monitoring and modelling framework for forest soils across Europe. The project is funded by the European Commission's Horizon 2020 programme and coordinated by the Natural Resources Institute Finland (Luke). *HoliSoils* comprises a multidisciplinary consortium of 20 project partners, 18 of which are from across Europe, with partners from South America (Uruguay) and Asia (Japan). This broadens the perspective globally.

HoliSoils develops a unified soil monitoring framework with the objective of identifying and assessing climate-smart soil and forest management strategies that can mitigate and adapt to climate change while sustaining the provision of various ecosystem services. Moreover, the network of test sites facilitates an enhanced comprehension of soil resilience and recovery capacity after natural disturbances, particularly forest fires and bark beetle outbreaks.

HoliSoils incorporates novel methodologies and expert knowledge on analytical techniques, soil properties and biodiversity, and processes with modelling development. The objective is to enhance, adapt, and/or develop new tools for soil monitoring, refine greenhouse gas (GHG) assessment of the Land Use, Land Use Change and Forestry (LULUCF) sector, improve the efficiency of GHG mitigation actions, and enhance numerical forecasting of soil-based mitigation, adaptation, and ecosystem services.

HoliSoils employs a collaborative multi-actor approach with the objective of ensuring the

project's continued applicability and impact beyond its duration. Furthermore, it entails active engagement, training, and capacity building with a diverse range of stakeholders.

Soil data from across different European forests and synthesized knowledge have been disseminated through academic publications [2] and stored in external databases [3–4].

The presentation will provide a concise overview of the *HoliSoils* project, outlining its objectives and summarising its attained and anticipated outcomes.

Literature

[1] <https://holisoils.eu/>

[2] <https://holisoils.eu/project-publications/>

[3] <https://holisoils.eu/data/>

[4] <https://zenodo.org/communities/holisoils/>

Luonnonmukainen maanmuokkaus ja maaperän hiilivarastot: maailmanlaajuisten meta-analyyysien tulokset ja vaikutukset boreaalsiin nurmiin

Conservation tillage practices and soil carbon storage: insights from global meta-analyses and implications for boreal grasslands

Yuan Li ^{1,*}, Narasinha Shurpali ¹, Sanni Semberg ¹, Petra Manninen ¹, Tulasi Lakshmi Thentulu ¹, Bhattarai Hem ¹, Panu Korhonen ¹, Sanna Kykkänen ¹, Zhou Li ², Qingping Zhang ³, Scott X. Chang ⁴, Song Cui ⁵, Perttu Virkajärvi ¹

¹ Natural Resources Institute Finland, Production systems, Maaninka 71750, Finland
(* yuan.li@luke.fi)

² College of Animal Science, Guizhou University, Guiyang 550025, China

³ College of Agriculture and Forestry Science, Linyi University, Linyi 276000, China

⁴ Department of Renewable Resources, University of Alberta, Edmonton T6G2E3, Canada

⁵ School of Agriculture, Middle Tennessee State University, Murfreesboro, TN 37132, USA

Abstract

The adoption of conservation tillage practices is critical in promoting soil health and enhancing carbon (C) storage in agricultural systems. Based on five meta-analysis studies and one experimental study to evaluate the impacts of conservation tillage on soil organic carbon (SOC) storage. Results from the global meta-analyses indicate that no-tillage (NT) and reduced tillage (RT) practices significantly increased SOC stock compared to conventional tillage (CT), with NT showing an 11% increase and RT a 6% increase in SOC (0-30 cm). The integration of residue retention further enhanced SOC storage, with NT plus residue retention (NTR) and RT plus residue retention led to 13% and 12% increases in SOC, respectively. The findings highlight that residue retention is a critical factor in improving the stability and turnover resistance of SOC. These studies also indicate the positive effects of conservation tillage on soil microbial communities. NTR significantly increased microbial biomass C and N by 33% and 64%, respectively, compared to CT. Enhanced microbial activity under NT and RT practices contributed to improved soil structure and carbon sequestration. The role of climate variables, particularly mean annual temperature, soil texture, and treatment duration, were found to influence the effectiveness of conservation practices on SOC and microbial parameters. Importantly, SOC fractions, such as particulate organic C and microbial biomass C, were shown to be more responsive to conservation tillage than total SOC, indicating their critical roles in driving soil biological functions. The experimental study provided further evidence on how optimized tillage practices, when related to the specific conditions of boreal grasslands, can mitigate greenhouse gas emission, and thus enhance SOC storage. Therefore, conservation tillage practices, particularly when combined with residue retention (organic amendments), offer significant potential for increasing SOC stocks and supporting sustainable soil management. These findings inform future soil management strategies aimed at mitigating climate change and enhancing the resilience of agricultural systems in boreal grasslands.

References

- Li, Y., Korhonen, P., Kykkänen, S., Maljanen, M., Virkajärvi, P. and Shurpali, N.J., 2023. Management practices during the renewal year affect the carbon balance of a boreal legume grassland. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 158250.
- Li, Y., Li, Z., Cui, S., Liang, G. and Zhang, Q., 2021. Microbial-derived carbon components are critical for enhancing soil organic carbon in no-tillage croplands: A global perspective. *Soil and Tillage Research*, 205, 104758.

- Li, Y., Zhang, Q., Cai, Y., Yang, Q. and Chang, S.X., 2020. Minimum tillage and residue retention increase soil microbial population size and diversity: Implications for conservation tillage. *Science of the Total Environment*, 716, 137164.
- Li, Y., Li, Z., Chang, S.X., Cui, S., Jagadamma, S., Zhang, Q. and Cai, Y., 2020. Residue retention promotes soil carbon accumulation in minimum tillage systems: Implications for conservation agriculture. *Science of the Total Environment*, 740, 140147.
- Li, Y., Li, Z., Cui, S., Jagadamma, S. and Zhang, Q., 2019. Residue retention and minimum tillage improve physical environment of the soil in croplands: A global meta-analysis. *Soil and Tillage Research*, 194, 104292.
- Li, Y., Chang, S.X., Tian, L. and Zhang, Q., 2018. Conservation agriculture practices increase soil microbial biomass carbon and nitrogen in agricultural soils: A global meta-analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, 121, 50-58.

Suorakylvön pitkäaikaisvaikutukset maaperän mikrobistoon ja hiilivarastoihin: Kenttäkokeen tuloksia Loimaalta

Impacts of long-term no-till farming on soil microbes and carbon stocks: results from a field trial in Loimaa

Benjami Laine^{1*}, Jussi Knaapi², Jaakko Litmanen¹, Sami Taipale¹, Marja Tiirola¹

¹Department of Biological and Environmental Science, University of Jyväskylä, Finland,

*mibelain@jyu.fi

²No affiliation, knaapijussi@gmail.com

Abstract

Microbes play a crucial part in maintaining soil health and regulating carbon stocks in agroecosystems. No-till farming, recognized as sustainable practice, can improve soil health while providing on-site productivity gains and environmental benefits. This study evaluated the impacts of long-term no-till adoption on soil microbes and soil organic carbon (SOC) stocks and quality, using topsoil samples from 3 no-till plots and 3 tilled plots. Samples were collected in summer 2024 from field trial plots established in 2006 at Loimaa (Southwest Finland). Microbial biomass and fungi-to-bacteria (F/B) ratio were measured using phospholipid-derived fatty acid (PLFA) analysis; microbial community composition and diversity were assessed from RNA samples using IonTorrent sequencing technology, and SOC was measured by loss-on-ignition. SOC quality was assessed with permanganate oxidizable carbon (POXC) assay, representing labile carbon, and mineral-associated organic matter (MAOM), representing stable organic matter. No-till plots had higher microbial biomass, SOC%, and MAOM% compared to the tilled plots, but F/B ratios and POXC% varied. These results, however, are preliminary and microbial community analysis is pending. Nevertheless, no-till farming show signs of soil health benefits and potential to enhance carbon sequestration by increasing the stable organic matter pool.

Sensitivity of empirical indicators of soil organic carbon stability to 24 years of land-use change across soil depth.

Sensitivity of empirical indicators of soil organic carbon stability to 24 years of land-use change across soil depth.

Eva Kanari^{1,2}, Kristiina Karhu^{1,2} & Jussi Heinonsalo^{1,2}

¹ Department of Forest Sciences, University of Helsinki, PO Box 27, 00014 Helsinki, Finland

² Institute for Atmospheric and Earth System Research / Forest Sciences, Faculty of Agriculture and Forestry, University of Helsinki, P.O. Box 27, 00014 Helsinki, Finland

Introduction

Increasing soil organic carbon (SOC) stocks through appropriate land management is a popular potential win-win solution for soil quality and fertility, food security and climate change mitigation¹. Land management has an influence on SOC quantity and quality, which defines its dynamics, with varying impacts in topsoil and subsoil². Considering that more than half of the global SOC is stored below 30 cm, understanding deep SOC dynamics is important for accurate policy development. Yet deep SOC dynamics remain poorly known compared to topsoil³. In surface soil, a variety of SOC stability indicators have been developed based on isotopic, physicochemical, and biological characterization of SOC aiming to provide information on the dynamics of SOC at different scales. Open questions remain regarding the evolution of these indicators with soil depth, their sensitivity to land management practices and their intercomparison.

Material and methods

Using soil samples from a 24 year long agronomical experiment including an organic and a conventional crop rotation system and a natural meadow we studied the distribution of SOC stability to 70 cm depth according to: mean SOC age defined by ¹⁴C (years), $\delta^{13}\text{C}$ signature (‰), the size of the mineral-associated organic carbon fraction (MaOC; <53 μm ; % of soil C)⁴, persistent carbon according to thermal analysis (Cs; % of soil C), microbial residue C (% of soil C) derived by the concentration of amino sugars, and the ratio of concentration of glomalin related soil proteins to SOC (GRSP:SOC). To evaluate (i) the depth variation and (ii) the land use change (LUC) effect size in the plough layer (30 cm depth) on the stability parameters we calculated relative changes and response ratios using the topsoil or the meadow as a reference value, respectively (Eq. 1).

$$\text{Response ratio} = \bar{X}_{\text{each layer[conventional]}} / \bar{X}_{\text{topsoil[meadow]}} \quad (\text{Eq. 1})$$

where \bar{X} represents any of the parameters, as a mean of the three treatments for the depth variation calculation or as a mean of the first 30 cm for the LUC effect size calculation.

Results and review

We expected a decrease in SOC concentration and an increase in SOC stability with depth, and in the cropping systems compared to the meadow. This was indeed reflected by the measured SOC concentration (-94 % decrease with depth and -44% decrease after LUC), the mean ¹⁴C age (1594 % increase with depth and 4% increase after LUC) and $\delta^{13}\text{C}$ (3% increase with depth and after LUC) indicating a decreasing influence of fresh OC from the surface to deeper layers and in the cropping systems compared to the meadow (Fig. 1 & 2). Similarly, MaOC and Cs expressed as percentage of total SOC increased with depth as expected, although with differing amplitudes (by 12% and 98%, respectively), Cs showed an increase (34%), and surprisingly

MaOC slightly decreased (-4%) after LUC (Fig. 1 & 2). The biological indicators did not show the expected increase with depth. Instead, they followed the same trend as SOC, decreasing with depth (-76% for microbial residue C and -99% for GRSP:SOC) and from meadow to cropland for microbial residue C (-18%; Fig. 1 & 2). GRSP:SOC showed an increase in the first 20 cm and a sharp decrease in the 20-30 cm after LUC (19%). Due to the strong depth dependency of all the parameters studied (Fig. 1), a correlation analysis was conducted by layer. Significant strong negative correlations were repeatedly found between $\delta^{13}\text{C}$ and SOC content, Al-oxide concentration, clay content, Fe-oxide concentration, and C/N ratio. C_s was repeatedly strongly negatively correlated to SOC content, Al-oxide concentration, clay content and C/N ratio, and strongly positively correlated to pH. The observed SOC change and SOC stability shifts after 24 years of land-use change reflected mainly the influence of tillage in the plough layer and changed C inputs. This work demonstrates that the proposed isotopic, biological, and physicochemical SOC stability indicators reflect different aspects of SOC stability, as suggested by differences in their absolute concentration, their distribution along the depth profile and in their sensitivity to LUC. Especially the strong change in soil physical and chemical properties with soil depth inhibits direct comparison of these indicators, as they are strongly and variably influenced and calls for a better understanding of their controlling processes.

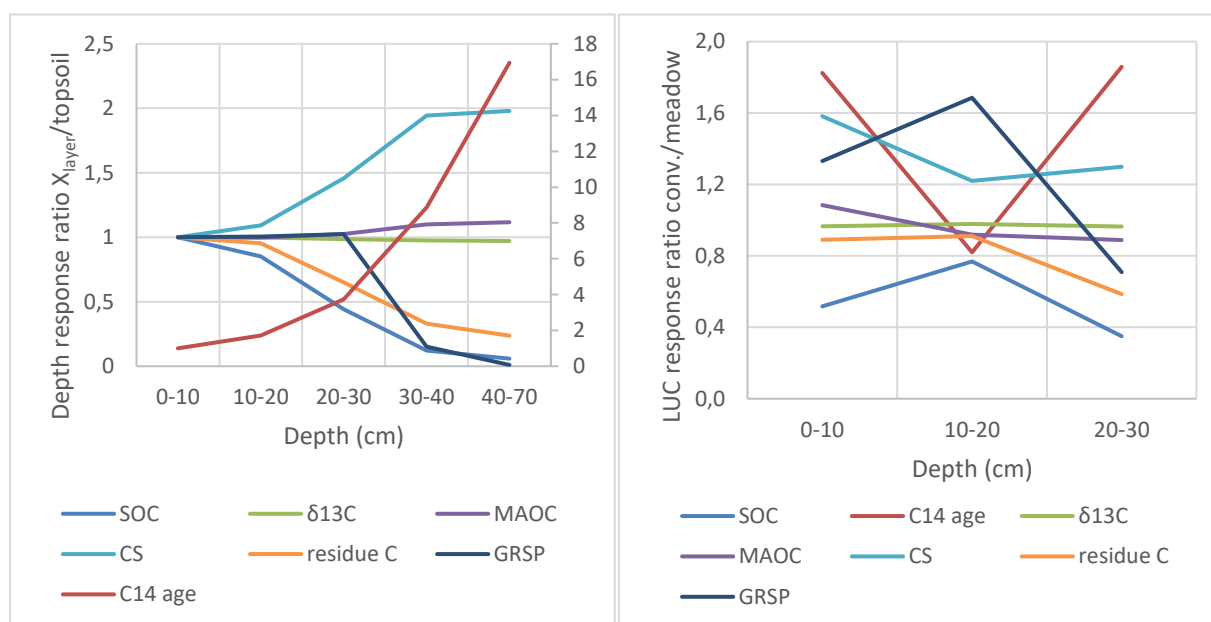


Figure 1 and 2: Response ratios of SOC stability parameters calculated for depth variation and land use change (LUC).

Literature

- [1] Soussana, J-F., Lutfalla, S., Ehrhardt, F., Rosenstock, T., Lamanna, C., Havlík, P., Richards, M., Wollenberg, E., Chotte, J-L., Torquebiau, E., Ciais, P., Smith, P. and Lal, R. 2019. Matching policy and science: Rationale for the '4 per 1000 - soils for food security and climate' initiative, *Soil and Tillage Research*, 188: 3-15.
- [2] Hobley, E., Baldock, J., Hua, Q. and Wilson, B. 2017. Land-use contrasts reveal instability of subsoil organic carbon. *Global Change Biology*, 23: 955-965.
- [3] Gross, C.D. and Harrison, R.B. 2019. The Case for Digging Deeper: Soil Organic Carbon Storage, Dynamics, and Controls in Our Changing World. *Soil Systems*, 3(2): 28.
- [4] Salonen, A-R., Soinne, H., Creamer, R., Lemola, R., Ruoho, N., Uhlgren, O., de Goede, R. and Heinonsalo, J. 2023. Assessing the effect of arable management practices on carbon storage and fractions after 24 years in boreal conditions of Finland, *Geoderma Regional*, 34: e00678.

Maaperän aminosokereiden mittaaminen korkean erotustarkkuuden nestekromatografilla

Measurement of soil aminosugars by high performance liquid chromatography

Riku Maltari¹ & Aino Seppänen¹ & Kristiina Karhu¹

¹Helsingin Yliopisto, Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta, Metsätieteiden osasto, Latokartanonkaari 7, 00014 Helsingin yliopisto.

Maaperän hiilivarastojen tutkimuksen tärkeys on viime vuosina kasvanut ilmastonmuutoksen ohjaamana. Tämän vuoksi on erityisen tärkeää, että kehitetään uusia tarkkoja ja nopeita mittaamenetelmiä hiilivarastojen tutkimusta varten. Merkittävä osuus maaperän hiilivarastoja on kuollutta mikrobibiomassaa,^{1,2} jonka määrän laskemisessa käytetään hyväksi sienien ja bakteerien soluseinän aminosokerikomponenttien mitattuja pitoisuuksia maaperässä.¹ Näiden komponenttien mittaaminen tehdään hyvin usein Zhangin & Amelungin kehittämällä kaasukromatografiamenetelmällä, jossa aminosokerit ensin derivatisoidaan nitraamalla ja asetyloimalla.³ Tällä menetelmällä näytteistä saa hyvin luotettavasti mitattua aminosokeripitoisuudet, mutta menetelmä vaatii pitkäkestoisen näytteen esikäsittelyn ja derivatisoinnin laboratoriossa. Olemme kehittäneet nopeamman ja herkemman mittaamenetelmän aminosokereille perustuen Indorf et al.:n tutkimukseen korkean erotustarkkuuden nestekromatografilla.⁴ Kyseisessä menetelmässä derivatisoimme näytteen automaattisesti näytteenvalitsinrobotilla, jolloin työvaiheet vähenevät merkittävästi. Menetelmän muutosten takia pystymme mittaamaan 140 näytettä kahdessa viikossa, kun aiemmalla kaasukromatografiamenetelmällä saman näyttemäärän mittaukseen kului kolme ja puoli kuukautta.

Kirjallisuus

- (1) Liang, C.; Amelung, W.; Lehmann, J.; Kästner, M. Quantitative Assessment of Microbial Necromass Contribution to Soil Organic Matter. *Glob. Change Biol.* **2019**, 25 (11), 3578–3590. <https://doi.org/10.1111/gcb.14781>.
- (2) Appuhn, A.; Joergensen, R. G. Microbial Colonisation of Roots as a Function of Plant Species. *Soil Biol. Biochem.* **2006**, 38 (5), 1040–1051. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.09.002>.
- (3) Zhang, X.; Amelung, W. Gas Chromatographic Determination of Muramic Acid, Glucosamine, Mannosamine, and Galactosamine in Soils. *Soil Biol. Biochem.* **1996**, 28 (9), 1201–1206. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(96\)00117-4](https://doi.org/10.1016/0038-0717(96)00117-4).
- (4) Indorf, C.; Dyckmans, J.; Khan, K. S.; Joergensen, R. G. Optimisation of Amino Sugar Quantification by HPLC in Soil and Plant Hydrolysates. *Biol. Fertil. Soils* **2011**, 47 (4), 387–396. <https://doi.org/10.1007/s00374-011-0545-5>.

Effects of soil waterlogging on tree fine root longevity and implications for plant survival

Timo Domisch & Jouni Kilpeläinen

Natural Resources Institute Finland (Luke), Yliopistokatu 6B, 80100 Joensuu,
timo.domisch@luke.fi, jouni.kilpelainen@luke.fi

Introduction

Fine roots play a significant role in carbon (C) and nutrient cycling and allocation in forest ecosystems, since up to 75 % of the carbohydrates produced by forest trees can be allocated below ground for growth and maintenance of fine roots [1, 2]. Since boreal forests account for approx. 50% of the world's forest ecosystem C [3], and root-derived inputs, e.g., through decomposing litter and root exudates, represent a significant C flux in forest ecosystems [4] and a major C flow into the soil [5], this is of special importance.

For getting a comprehensive picture of plant roots and their effects on soil C sequestration and C cycling in a changing climate, it is very important to know the longevity and annual turnover of roots and how these are affected by environmental factors. Future climate scenarios for the boreal zone project increasing temperatures and precipitation, as well as extreme weather events such as heavy rain during the growing season [6, 7]. This can result in more frequent short-term waterlogging (WL) leading to unfavourable conditions for tree roots. For the future management and sustainable use of boreal forests, it is crucial considering the tree responses to an elevated soil water table and the concurrent oxygen limitations, especially on peatlands. In addition, there are indications that root-derived C is much likelier to contribute to long-term soil C than aboveground plant C [8].

Materials and Methods

For studying constraining effects of WL on tree fine root survival, results from four different experiments were combined in this work [9, 10, 11, 12]. They differed in duration and tree species, but they had a common WL treatment with different timing and duration. All treatments comprised also a control (CTRL) treatment. Using this approach, we can compare different treatments withing the same tree species, or different tree species with a similar treatment. All experiments assessed the effects of WL of different timing and length, three of them with Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and one with silver birch (*Betula pendula* Roth.). We conducted survival analyses of roots from the minirhizotron images, using the time frames of individual fine roots from appearance to disappearance as previously identified and analysed (more details in the respective publications). We used the 'interval' package in R, and Kaplan-Meier survival analyses with right censored data for assessing differences, either between different types of WL (treatment data) or between tree species (CTRL data).

Results and Discussion

Our results showed that birch roots had a significantly shorter lifespan than pine roots, as the estimations for median survival time, when 50% of the respective roots still are alive, were clearly lower for birch than for pine both in the CTRL and WL treatments. This is in accordance with studies indicating shorter longevitys of roots of deciduous trees compared to conifers [e.g. 13]. Waterlogged soil conditions during the dormant season did not have any clear effects on Scots pine root survival, whereas WL significantly decreased the median survival times when WL occurred during the growing season. The longer the WL conditions lasted, the more severe the detrimental effects were. Two weeks of WL during the growing season shortened the

longevity of short roots but not of long roots. Thus, elevated water tables during the growing season can have severe effects on the fine roots of Scots pine. This obviously depends on the duration of the exposure and can lead to decreases in C assimilation and allocation to the roots [10, 14].

Our data clearly shows adverse effects of soil waterlogging not only on the growth of tree roots, but also on that of the aboveground parts. Because of the high importance of fine roots for tree growth and C sequestration in forest ecosystems, their responses to elevated water tables should be considered in sustainable use and management of boreal peatland forests, for example, by continuous cover forestry and (or) ditch network maintenance.

References

- [1] Vogt, K.A., Grier, C.C. and Vogt, D.J. 1996. Production, turnover and nutritional dynamics of above- and belowground detritus of world forests. *Advances in Ecological Research* 15: 303–307.
- [2] Helmisaari, H-S, Makkonen, K., Kellomäki, S., Valtonen, E. and Mälkönen, E. 2002. Below- and above-ground biomass, production and nitrogen use in Scots pine stands in eastern Finland. *Forest Ecology and Management* 165: 317–326
- [3] DeLuca, T.H. and Boisvenue, C. 2012. Boreal forest soil carbon: distribution, function and modelling. *Forestry* 85: 161–184.
- [4] Silver, W.L. and Miya, R.K. 2001. Global patterns in root decomposition: comparisons of climate and litter quality effects. *Oecologia* 129:407–419.
- [5] Leppälampi-Kujansuu, J., Aro, L., Salemaa, M., Hansson, K., Kleja, D.B. and Helmisaari, H-S 2014. Fine root longevity and carbon input into soil from below- and aboveground litter in climatically contrasting forests. *Forest Ecology and Management* 326: 79–90.
- [6] Kreuzwieser, J. and Gessler, A. 2010. Global climate change and tree nutrition: influence of water availability. *Tree Physiology* 30: 1221–1234.
- [7] IPCC 2023. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)). IPCC, Geneva, Switzerland.
- [8] Sokol, N.W. and Bradford, M.A. 2019. Microbial formation of stable soil carbon is more efficient from belowground than aboveground input. *Nature Geoscience* 12: 46–53.
- [9] Roitto, M., Sutinen, S., Wang, A-F, Domisch, T., Lehto, T. and Repo, T. 2019. Waterlogging and soil freezing during dormancy affected root and shoot phenology and growth of Scots pine saplings. *Tree Physiology* 39: 805–818.
- [10] Domisch, T., Qian, J., Sondej, I., Martz, F., Lehto, T., Piirainen, S., Finér, L., Silvennoinen, R. and Repo T. 2020. Here comes the flood! Stress effects of continuous and interval waterlogging periods during the growing season on Scots pine saplings. *Tree Physiology* 40: 869–885.
- [11] Repo, T., Domisch, T., Kilpeläinen, J., Piirainen, S., Silvennoinen, R. and Lehto, T. 2020. Dynamics of fine-root production and mortality of Scots pine in waterlogged peat soil during the growing season. *Canadian Journal of Forest Research* 50: 510–18.
- [12] Repo, T., Domisch, T., Roitto, M., Kilpeläinen, J., Wang, A-F, Piirainen, S., Heiskanen, J., Makita, N., Lehto, T. and Sutinen, S. 2021. Dynamics of above- and belowground responses of silver birch saplings and soil gases to soil freezing and waterlogging during dormancy. *Tree Physiology* 41: 1143–1160.
- [13] Huang, X., Lu, Z., Li, F., Deng, Y., Wan, F., Wang, Q., Folega, F., Wang, J. and Guo, Z. 2024. Evolution history dominantly regulates fine root lifespan in tree species across the world. *Forest Ecosystems* 11: 100211.
- [14] Repo, T., Launiainen, S., Lehto, T., Sutinen, S., Ruhanen, H., Heiskanen, J., Laurén A., Silvennoinen, R., Vapaavuori, E., and Finér, L. (2016) The responses of Scots pine seedlings to waterlogging during the growing season. *Canadian Journal of Forest Research* 46: 1439–1450.

Maaperän orgaaninen aine, juuret & sienet—jatkuvan ja jaksollisen metsänkasvatuksen vaikutukset maaperän hiilivarastoon Suomen metsissä

Soil organic matter, roots & fungi—the effects of continuous-cover forestry and rotation forest management on soil carbon storage in Finnish forests

Eva-Maria Roth¹, Outi-Maaria Sietiö², Bartosz Adamczyk³, Sauli Valkonen³, Matti Koivula³, Eeva-Stiina Tuittila⁴, Heljä-Sisko Helmisaari¹, Kristiina Karhu¹

¹ Department of Forest Sciences, University of Helsinki, FI-00014 University of Helsinki, Finland

² Häme University of Applied Sciences, FI-13101 Hämeenlinna, Finland

³ Natural Resources Institute Finland, FI-00790 Helsinki, Finland

⁴ School of Forest Sciences, University of Eastern Finland, FI- 80101 Joensuu, Finland

Boreal forests are an important terrestrial carbon (C) storage and they store about 64% of their C in the forest soil (1). Soil organic matter originates primarily from belowground C inputs from roots and associated fungi and to a smaller extent from aboveground litter inputs (2,3). Roots and fungi furthermore regulate soil C decomposition (4–7). Forest harvesting, particularly clear-cutting, leads to a temporary loss of soil C (8). Continuous-cover forestry (CCF) has been suggested as an alternative to clear-cutting based rotation forest management (RFM) (9), which is the prevalent silvicultural system in Finland (10). CCF was politically discouraged in Finland until 2014 (11), therefore, empirical studies are still scarce.

In this talk, we will present results from field studies conducted to compare the effects of logging methods applied in CCF and RFM on the soil C storage. We sampled mesic, nutrient rich Norway spruce (*Picea abies* Karst) forests in Vessari, central Finland (12) and dry, nutrient poor Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forests in Lieksa, eastern Finland (13), representing the two most common tree species in Finnish forests and their preferred site conditions. The studies featured CCF treatments (selection-cuts, gap-cuts, retention-cuts), RFM treatments (clear-cuts, and thinned mature stands) and uncut forests. We analyzed the different harvesting effects on soil carbon stocks, quality and degradability of soil organic matter, root biomass and root secondary metabolites. Furthermore, we analyzed the effect on the soil fungal community with metabarcoding using DNA sequences of fungal ITS2 regions and evaluated the response of saprotrophic, ecto- and ericoid mycorrhizal fungal guilds to management practice. We measured biological, physio-chemical and isotopic indicators for soil C stability pools to draw conclusions regarding the effects of the silvicultural system on long-term soil C storage.

We found similar soil C stocks in all the treatments in the spruce and pine stands. However, in the pine stands the proportion of labile SOC was lower on clear-cuts than the other treatments, whereas the decomposition rate was elevated, which indicates that the potential for future C accumulation is rather low.

CCF and RFM both altered the fungal community composition in spruce forests compared to uncut forest stands, with the strongest effects in clear-cut plots. Particularly ectomycorrhizal fungi showed a decline in abundance, diversity and richness in clear-cuts. The ratio between saprotrophic and ecto- or ericoid mycorrhizal fungal guilds was shifted to a dominance of saprotrophs on clear-cuts. However decomposition rate was unaffected by the management system, highlighting the functional redundancy in the fungal community. Fungal necromass strongly correlated with the overall SOC storage. We found higher root biomass in dense uncut plots and a similar trend in CCF plots. Root secondary metabolites (condensed tannins) appeared to decrease the microbial decomposition of particulate organic matter in the soil and inhibit the formation of mineral associated organic matter. Even though overall soil C stocks were not altered by the different forest management system, stabilization processes of C in the soil were affected.

Literature

1. Pan Y, Birdsey RA, Phillips OL, Houghton RA, Fang J, Kauppi PE, et al. 2024. The enduring world forest carbon sink. *Nature*. 631(8021):563–9.
2. Clemmensen KE, Bahr A, Ovaskainen O, Dahlberg A, Ekblad A, Wallander H, et al. 2013. Roots and Associated Fungi Drive Long-Term Carbon Sequestration in Boreal Forest. *Science*. 339(6127):1615–8.
3. Baldrian P, Větrovský T, Cajthaml T, Dobiášová P, Petránková M, Šnajdr J, et al. 2013. Estimation of fungal biomass in forest litter and soil. *Fungal Ecology*. (1):1–11.
4. Averill C, Hawkes CV. 2016. Ectomycorrhizal fungi slow soil carbon cycling. Bardgett R, editor. *Ecology Letters*. (8):937–47.
5. GADGIL RL, GADGIL PD. 1971. Mycorrhiza and Litter Decomposition. *Nature*. 233(5315):133–133.
6. Fanin N, Clemmensen KE, Lindahl BD, Farrell M, Nilsson M, Gundale MJ, et al. 2022. Ericoid shrubs shape fungal communities and suppress organic matter decomposition in boreal forests. *New Phytologist*. (2):684–97.
7. Adamczyk B, Sietiö OM, Straková P, Prommer J, Wild B, Hagner M, et al. 2019. Plant roots increase both decomposition and stable organic matter formation in boreal forest soil. *Nat Commun*. (1):3982.
8. Mayer M, Prescott CE, Abaker WEA, Augusto L, Cécillon L, Ferreira GWD, et al. 2020. Tamm Review: Influence of forest management activities on soil organic carbon stocks: A knowledge synthesis. *Forest Ecology and Management*. 466:118127.
9. Prescott CE, Grayston SJ. 2023. Tamm review: Continuous root forestry—Living roots sustain the belowground ecosystem and soil carbon in managed forests. *Forest Ecology and Management*. 532:120848.
10. Savilaakso S, Johansson A, Häkkinen M, Uusitalo A, Sandgren T, Mönkkönen M, et al. 2021. What are the effects of even-aged and uneven-aged forest management on boreal forest biodiversity in Fennoscandia and European Russia? A systematic review. *Environ Evid*. 10(1):1.
11. Pukkala T, Lähde E, Laiho O. Continuous Cover Forestry in Finland – Recent Research Results. In: Pukkala T, von Gadow K, editors. *Continuous Cover Forestry* [Internet]. 2nd ed. Springer, Dordrecht; 2012. p. 85–128. (Managing Forest Ecosystems; vol. 23). Available from: DOI 10.1007/978-94-007-2202-6
12. Pukkala T, Laiho O, Lähde E. 2016. Continuous cover management reduces wind damage. *Forest Ecology and Management*. 372:120–7.
13. Roth EM, Karhu K, Koivula M, Helmisaari HS, Tuittila ES. 2023. How do harvesting methods applied in continuous-cover forestry and rotation forest management impact soil carbon storage and degradability in boreal Scots pine forests? *Forest Ecology and Management*. 544:121144.

Sienten ja kasvien juurien vuorovaikutukset edistävät maaperän hiilen stabiloitumista pohjoisissa havumetsissä

Carbon stabilization in the boreal forest is driven by plant roots-fungal interaction

Anne Tyvijärvi^{1,2}, Sannakajsa Velmala¹, Taina Pennanen¹, Pauliina Schiestl-Aalto³, Priscila Thiago Dobbler⁴, Petr Baldrian⁴ & Bartosz Adamczyk¹

¹ Natural Resources Institute Finland (Luke), Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki, Finland

² University of Helsinki, Department of Microbiology, Viikinkaari 9, P.O. Box 56, 00014 University of Helsinki, Finland

³ Institute for Atmospheric and Earth System Research (INAR), Finland

⁴ Laboratory of Environmental Microbiology, Institute of Microbiology of the CAS, Prague, Czech Republic

Introduction

Boreal forests hold approximately one third of the global soil carbon (C) stocks [1]. However, under the current global warming, these C sinks might turn into C sources due to accelerated soil organic carbon (SOC) decomposition. Although an increasing number of studies have enhanced our knowledge of soil C dynamics over the last decade [2], [3], [4], [5], we are still lacking a holistic understanding of the soil C stabilization mechanisms. For a long time, the chemically recalcitrant constituents of above-ground plant litter were thought to be the main contributors to persistent SOC. Recently, however, the focus on soil C stabilization has shifted from aboveground litter to belowground interactions of plant roots and microbes [3], [6], [7], [8], [9].

Boreal forest vegetation is characterized by evergreen and deciduous plants such as Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), Norway spruce (*Picea abies* (L.), H. Karst) and understory species, such as *Vaccinium* species. The roots and rhizosphere of these plants is a habitat for a wide range of fungi from mycorrhizal (ectomycorrhiza, ericoid mycorrhiza, arbuscular mycorrhizal fungi) to saprotrophic fungi. The previously mentioned fungal types differ in the way they obtain their energy, and also in their ability to degrade organic matter. Additionally, recent studies suggest that the nutrient acquiring and organic matter degrading abilities of mycorrhizal fungi (and possibly other fungi, too) are more complex than we know [8]. Besides providing a habitat for a wide range of fungi, boreal forest trees and shrubs produce significant amounts of secondary metabolites, of which tannins are quantitatively the most abundant group. Plant root-derived condensed tannins (CT) can form complexes with proteins and, most interestingly, also chitin (a constituent of the fungal cell walls), and increase the stability of these compounds [6].

To test to which extent tannin-fungal necromass (FNM) complexes stabilize C in natural conditions, we conducted a field experiment with mesh bags and hypothesized that I) the rate of soil C stabilization depends on the quantitative input of condensed tannins together with fungal necromass (FNM) and II) the soil stable C concentration will be highest in the soil with added FNM-CT complexes.

Materials and methods

We conducted the field experiment next to the SMEAR II station near the Hyytiälä Forestry Field Station of the University of Helsinki, in Juupajoki, Finland (61°51'N, 24°17'E). We added to the mesh bags soil containing fungal necromass (FNM), tannins, and tannin-FNM complexes. We used two mesh sizes: one with a mesh size of 25 µm to prevent the in-growth of plant roots but allow the in-growth of fungal mycelia and the other with a mesh size of 1000 µm to allow the in-growth of both plant roots and fungal mycelia. After the snowmelt in May

2023, the mesh bags were buried in the interface of the organic and mineral layers of the soil for the duration of one growing season.

From the soil in the mesh bags, we will do metagenomic sequencing to determine the fungal community composition in the soil. In addition, ergosterol and glucosamine (chitin) concentrations will be studied with high-performance liquid chromatography (HPLC) to obtain information on the amount of living and dead fungal mycelia in the soil. The concentration of condensed tannins in the soil will be measured. Finally, the soil stable and labile C pools and total N will be measured with a CN analyzer, and the overall soil chemical quality studied with Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR).

Literature

- [1] Y. Pan *et al.*, ‘A Large and Persistent Carbon Sink in the World’s Forests’, *Science*, vol. 333, no. 6045, pp. 988–993, Aug. 2011, doi: 10.1126/science.1201609.
- [2] C. M. Kallenbach, S. D. Frey, and A. S. Grandy, ‘Direct evidence for microbial-derived soil organic matter formation and its ecophysiological controls’, *Nat. Commun.*, vol. 7, no. 1, Art. no. 1, Nov. 2016, doi: 10.1038/ncomms13630.
- [3] J. Kyaschenko, K. E. Clemmensen, E. Karlton, and B. D. Lindahl, ‘Below-ground organic matter accumulation along a boreal forest fertility gradient relates to guild interaction within fungal communities’, *Ecol. Lett.*, vol. 20, no. 12, pp. 1546–1555, 2017.
- [4] C. Liang, W. Amelung, J. Lehmann, and M. Kästner, ‘Quantitative assessment of microbial necromass contribution to soil organic matter’, *Glob. Change Biol.*, vol. 25, no. 11, pp. 3578–2590, 2019, doi: 10.1111/gcb.14781.
- [5] K.-Q. Xiao *et al.*, ‘Introducing the soil mineral carbon pump’, *Nat. Rev. Earth Environ.*, vol. 4, no. 3, Art. no. 3, Mar. 2023, doi: 10.1038/s43017-023-00396-y.
- [6] B. Adamczyk, O. Sietiö, C. Biasi, and J. Heinonsalo, ‘Interaction between tannins and fungal necromass stabilizes fungal residues in boreal forest soils’, *New Phytol.*, vol. 223, no. 1, pp. 16–21, 2019, doi: 10.1111/nph.15729.
- [7] B. Adamczyk *et al.*, ‘Plant roots increase both decomposition and stable organic matter formation in boreal forest soil’, *Nat. Commun.*, vol. 10, no. Journal Article, 2019, doi: 10.1038/s41467-019-11993-1.
- [8] S. Adamczyk *et al.*, ‘Interaction between ectomycorrhizal and ericoid mycorrhizal plants decelerates stable soil organic matter decomposition’, *Appl. Soil Ecol.*, vol. 198, p. 105395, Jun. 2024, doi: 10.1016/j.apsoil.2024.105395.
- [9] K. E. Clemmensen *et al.*, ‘Roots and Associated Fungi Drive Long-Term Carbon Sequestration in Boreal Forest’, *Science*, vol. 339, no. 6127, pp. 1615–1618, Mar. 2013, doi: 10.1126/science.1231923.

Metsämaan hiilen ja typen varastojen muutos päätehakkuun jälkeen

Changes in soil carbon and nitrogen stocks after clearcutting

Antti-Jussi Lindroos¹, Raisa Mäkipää¹ & Päivi Merilä²

¹Luonnonvarakeskus (Luke), Latokartanonkaari 9, Helsinki

²Luonnonvarakeskus (Luke), Paavo Havaksentie 3, Oulu

Boreaaliset metsämaat voivat toimia tärkeinä hiilen nieluina ja varastoina [1, 2, 3]. Päätehakkuun seurauksena karikesyöte maahan vähenee, ja metsämaa voi muuttua hiilen lähteeksi jopa 20 vuodeksi [4]. Uuden puusukupolven varttuessa hiiltä alkaa kuitenkin jossain vaiheessa jälleen kertyä maahan. Seurantatutkimuksia metsämaan hiilen (C) ja typen (N) varastojen muutoksista hakkuiden jälkeen on niukasti, joten tarvitaan lisää empiiristä tietoa metsämaan C- ja N-varastojen muutoksista liittyen puuston vähentymiseen ja toisaalta siitä, milloin varastojen karttuminen alkaa. Tässä tutkimuksessa määritettiin metsämaan C- ja N-varastojen muutokset avohakkuun jälkeen kahdella kangasmaan kohteella. Lisäksi näiden varastojen muutoksia tarkasteltiin kohteella, jossa metsän sisälle oli syntynyt pienaukko tuhojen ja sitä seuranneen puuston poiston vuoksi.

Tutkimuskohteet kuuluivat YK:n ICP-Forests -ohjelman intensiivisen seurannan kohteisiin. Metsämaan C- ja N-varastot (kg m^{-2}) määritettiin humuskerrokselle ja 0–40 cm:n kivennäismaakerrokselle ennen avohakkuuta ja 7–10 vuotta hakkuun jälkeen. Toinen kohteista oli lajittuneella hiekkamaalla kasvanut männikkö (VT) ja toinen moreenimaalla kasvanut kuusikko (OMT). Molemmat kohteet sijaitsivat Etelä-Suomessa. Metsämaan C- ja N-varastot olivat 4–6 % pienempiä männikössä ja 16 % pienempiä kuusikossa avohakkuun jälkeen verrattuna tilanteeseen ennen hakkuuta.

Metsämaan C- ja N-varaston kokoa tutkittiin metsikön sisällä olevassa pienaukossa verrattuna täysin puustoiseen metsän osaan moreenimaalla kasvaneessa kuusikossa (OMT) Itä-Suomessa. Aukko oli syntynyt metsikköön tuhojen ja sitä seuranneen puuston poiston seurauksena. Metsämaan C-varasto oli noin 9 % pienempi puuttomassa aukossa kuin puustoisella osalla alaa. Lähes samansuuruinen suhteellinen ero (-6 %) oli havaittavissa myös metsämaan N-varaston osalta.

Tulosten mukaan metsämaan C- ja N-varastot eivät olleet palautuneet hakkuuta edeltävälle tasolle 7–10 vuoden kuluessa hakkuusta. Puuston ja karikesyötteen merkitys metsämaan varastojen osalta näkyi myös pienaukolla, jossa metsämaan varastot olivat ympäröivää metsää pienempiä.

Kirjallisuus

[1] Häkkinen, M., Heikkinen, J., Mäkipää, R. 2011. Soil carbon stock increases in the organic layer of boreal middle-aged stands. *Biogeosciences* 8: 1279-1289.

[2] Lindroos, A.-J., Mäkipää, R., Merilä, P. 2022. Soil carbon stock changes over 21 years in intensively monitored boreal forest stands in Finland. *Ecological Indicators* 144: 109551.

[3] Merilä, P., Lindroos, A.-J., Helmisaari, H.-S., Hilli, S., Nieminen, T.M., Nöjd, P., Rautio, P., Salemaa, M., Tupek, B., Ukonmaanaho, L. 2024. Carbon stocks and transfers in coniferous boreal forests along a latitudinal gradient. *Ecosystems* 27: 151-167.

[4] Peltoniemi, M., Mäkipää, R., Liski, J., Tamminen, P. 2004. Changes in soil carbon with stand age – an evaluation of a modelling method with empirical data. *Glob. Change Biol.* 10: 2078-2091.

Lehtipuusekoitus kuusikoissa: lepän ja koivun merkitys metsämaan typen saatavuudelle, hiilivarastolle ja orgaanisen aineksen laadulle

Broadleaf admixture in Norway spruce stands: Significance of alder and birch on forest soil nitrogen availability, carbon stock, and organic matter quality

Päivi Soronen¹, Sandra Jämtgård², Mari Myllymäki¹ & Aino Smolander¹

¹ Natural Resources Institute Finland (Luke), Helsinki, Finland

² Swedish University of Agricultural Sciences (SLU), Umeå, Sweden

Introduction

The proportion of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) -dominated stands has been increasing in southern Finland in recent decades, as spruce has been favoured in the regeneration [1]. Spruce reduces soil fertility by producing recalcitrant, low-nutrient needle litter and decreasing soil pH in comparison to birch [2]. High concentrations of plant secondary compounds, such as condensed tannins and monoterpenes, in spruce litter affect C and N cycling processes [3]. In contrast, labile, nutrient-rich litter of broadleaved tree species generally promotes soil microbial activity and increases soil fertility. Grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) lives in symbiosis with *Frankia*, N₂-fixing bacteria, and thus, large annual N inputs enter soil with alder litter [4]. Increased inorganic N concentration can enhance soil organic carbon (SOC) accumulation by suppressing decomposition rates and increasing litter inputs [5]. Furthermore, broadleaved species in general may contribute more to SOC allocation into mineral soil, whereas conifers tend to produce thick C-rich organic (O) horizon [6]. However, current knowledge of tree species effects originates mostly from the single-species stands of common garden experiments, whereas mixed stands have been studied less. Moreover, SOC stocks have been rarely measured under different tree species in the boreal region. We investigate the effects of broadleaf admixture on N availability, SOC stocks, and organic matter quality in spruce stands below the canopies of trees (Study I), and at different distances from grey alder or birch (both silver birch [*Betula pendula* Roth] and downy birch [*Betula pubescens* Ehrh.]) in spruce stands (Study II).

Material and methods

We selected altogether five study sites from Southern and Eastern Finland. Study I was conducted in four 21-63-year-old mixed spruce-dominated stands: two in Karkkila and two in Lapinjärvi. Study II was conducted in a 55-year-old tree species experiment in Eno. The sites represented two different types according to the Finnish forest site type classification [7]; Karkkila sites and Eno experiment represented *Vaccinium myrtillus* type (MT) and Lapinjärvi sites represented a more fertile *Oxalis acetosella* – *Vaccinium myrtillus* type (OMT).

We took soil samples from O horizon and 0-10 cm mineral soil (Eno: 0-5 cm) at all sites. Plant-available N fluxes were determined using microdialysis technique [8] *in situ* (Karkkila and Lapinjärvi) or *ex situ* (Eno). In study I, we took the soil and microdialysis samples at less than 1 m distance from the stems of 3-8 replicate trees of different tree species (alder, birch, spruce). In study II (Eno), we selected a spruce plot with 20 % birch admixture (based on stem number) for systematic soil sampling using grid design (N = 56). Another spruce plot had a grey alder at the border of the plot; soil samples were taken at 1 m intervals from two 10 m transects pointing to different directions in the spruce plot (N = 21).

Methods for determining plant-available N fluxes (NH₄-N, NO₃-N, and the total free amino acid -N), SOC and N stocks, microbial biomass and activities, organic matter characteristics

and other soil chemical and physical properties (pH, texture, etc.) were the same as described previously [3, 9].

Preliminary results (Study I)

Preliminary results of study I showed that N concentration and stock of the O horizon was higher under the canopy of alder, as compared to birch or spruce. Alder decreased C:N-ratios of the O horizon and mineral soil (0-10 cm) in comparison to spruce. SOC stock was higher in the O horizon under alder *versus* birch, mainly due to thicker O horizon under alder. Differences in the N fluxes between the tree species were non-significant. In Lapinjärvi sites, which were studied in more detail, we observed tendencies for differences between tree species in C mineralisation rate (alder < spruce), dissolved organic C concentration (alder, birch < spruce), microbial biomass N content (alder < birch), and microbial biomass C:N-ratio (birch < spruce). Unexpectedly similar concentrations of monoterpenes and condensed tannins in soil under different tree species point to complex interactions and dynamics between trees in mixed stands due to the spreading of above- and belowground litter and root activities.

Literature

- [1] Korhonen, K.T., Ahola, A., Heikkinen, J., Henttonen, H.M., Hotanen, J.-P., Ihalainen, A., Melin, M., Pitkänen, J., Rätty, M., Sirviö, M., Strandström, M., 2021. Forests of Finland 2014–2018 and their development 1921–2018. *Silva Fennica* 55 (5): 10662.
- [2] Smolander, A., Kitunen, V., 2011. Comparison of tree species effects on microbial C and N transformations and dissolved organic matter properties in the organic layer of boreal forests. *Applied Soil Ecology* 49: 224–233.
- [3] Smolander, A., Ketola, R.A., Kotiaho, T., Kanerva, S., Suominen, K., Kitunen, V., 2006. Volatile monoterpenes in soil atmosphere under birch and conifers: Effects on soil N transformations. *Soil Biology & Biochemistry* 38: 3436–3442.
- [4] Mikola, P., 1966. The value of alder in adding nitrogen in forest soils. Final report of research conducted under grant authorized by U.S. Public law 480. University of Helsinki, Dept. of Silviculture. 91 p.
- [5] Mayer, M., Prescott, C.E., Abaker, W.E.A., Augusto, L., Cécillon, L., Ferreira, G.W.D., James, J., Jandl, R., Katzensteiner, K., Laclau, J.-P., Laganière, J., Nouvellon, Y., Paré, D., Stanturf, J.A., Vanguelova, E.I., Vesterdal, L., 2020. Tamm Review: Influence of forest management activities on soil organic carbon stocks: A knowledge synthesis. *Forest Ecology and Management* 466: 118127.
- [6] Vesterdal, L., Clarke, N., Sigurdsson, B.D., Gundersen, P., 2013. Do tree species influence soil carbon stocks in temperate and boreal forests? *Forest Ecology and Management* 309: 4–18.
- [7] Cajander, A.K., 1949. Forest types and their significance. *Acta Forestalia Fennica* 56 (5): 7396.
- [8] Inselsbacher, E., Öhlund, J., Jämtgard, S., Huss-Danell, K., Näsholm, T. 2011. The potential of microdialysis to monitor organic and inorganic nitrogen compounds in soil. *Soil Biology & Biochemistry* 43: 1321–1332.
- [9] Soronen, P., Henttonen, H.M., Smolander, A., 2024. Grey alder at the regeneration stage: Long-term effects on soil nitrogen and carbon pools and Norway spruce growth. *Forest Ecology and Management* 554: 121686.

Sammalkerroksen, metsikön iän ja metsälannoituksen vaikutus typen kiertoon boreaalisissa metsissä

The effects of bryophyte layer, forest age and fertilization on nitrogen cycling in boreal forests

Inka Tammisto¹, Daniel Fernandez Garcia¹, Ella Hemming¹ & Elina Kaarlejärvi¹

¹ Bio- ja ympäristötieteellinen tiedekunta, Helsingin yliopisto

Johdanto

Sammalkerros vaikuttaa typen kiertoon boreaalisissa metsissä säätelemällä maaperään päätyvän typen määrää sekä vaikuttamalla mikrobien aktiivisuuteen. Sammaleet voivat lisätä ekosysteemiin tulevan typen määrää muodostamalla symbiooseja typpikaasua sitovien syanobakteerien kanssa [1] ja toisaalta vähentää laskeuman mukana tulevan typen päätymistä maaperään [2, 3]. Lisäksi sammalkerros vaikuttaa pienilmastoon ja siten maaperän mikrobien aktiivisuuteen [3, 4]. Koska sammalkerros pidättää tehokkaasti kosteutta, karikkeen hajoaminen on usein nopeampaa sammalkerroksessa ja sen alla kuin paljaalla maalla [4, 5]. Toisaalta sammalkerros voi myös hillitä maaperän mikrobitoimintaa, kuten typen mineralisaatiota, sillä sammalkerros usein laskee maaperän lämpötilaa kasvukauden aikana [3].

Tavoitteenamme on selvittää, miten sammalkerros, metsikön sukessiovaihe ja lannoitus yhdessä vaikuttavat typen nettomineralisaatioon ja -nitrifikaatioon sekä lehtikarikkeen hajoamisnopeuteen 0 – 40 -vuotiaissa talousmetsissä sekä vanhoissa metsissä. Toistaiseksi sammalkerroksen vaikutusta typen kiertoon on tutkittu melko vähän avohakkuun jälkeen kasvaneissa nuorehkoissa metsissä; kuitenkin kolmannes Suomen metsistä on alle 40-vuotiaita talousmetsiä [6]. Tarkastelemme myös typpilannoituksen ja sammalkerroksen vuorovaikutusta, sillä sammalkerros voi vaikuttaa metsälannoitteen typen päätymiseen maaperään ja toisaalta lannoite saattaa vahingoittaa sammalkerrosta [2, 3, 7].

Aineisto ja menetelmät

Aineisto on kerätty laajemmasta vuonna 2023 perustetusta kenttäkokeesta, johon kuuluu kuusi metsäaluetta Etelä-Suomessa. Jokaisella metsäalueella on neljä eri-ikäistä (0 – 5, 10 – 15, 30 – 40 ja yli 70 vuotta) metsäkuviota. Aineistoa on kerätty kultakin metsäkuviolta kahdelta 1 m x 1 m ruudulta, joista lannoitimme (10 g N m⁻²) toisen keväällä 2024. Ennen lannoitusta poistimme sammalkerroksen jokaisen ruudun yhdeltä neljännekseltä. Tarkastelimme karikkeen massahäviötä koivun lehtiä sisältävistä karikepusseista, jotka olivat maastossa toukokuusta lokakuuhun. Jokaisella tutkimusruudulla oli kaksi karikepussia, toinen sammalkerroksen alla ja toinen karikekerroksessa neljänneksellä, jolta sammaleet on poistettu. Lisäksi keräsimme kesällä 2024 jokaiselta ruudulta kaksi maaperänäytettä 0-10 cm syvyydestä, yhden sammalkerroksen alta ja toisen neljännekseltä, jolta sammaleet on poistettu. Määritimme näytteistä veden ja orgaanisen aineksen pitoisuuden sekä mikrobien hiili-typpi -suhteen. Syksyn 2024 aikana määritämme näytteistä vielä mineralisaatio- ja nitrifikaatiopotentiaalit. Mittasimme tutkimusruuduilta myös sammalkerroksen paksuuden ja peittävyuden sekä maaperän lämpötilan ja kosteuden.

Tulokset ja tarkastelu

Sammalkerros, lannoitus tai metsän ikävaihe eivät yksinään vaikuttaneet karikkeen hajoamiseen, mutta sammalkerroksella ja lannoituksella oli positiivinen yhteisvaikutus karikkeen massahäviöön. Tulokset nettomineralisaatiosta ja -nitrifikaatiosta valmistuvat loppuvuodesta, ja nämä tulokset havainnollistavat, heijastuuko sammalkerroksen ja lannoituksen vaikutus myös typen kierron osaprosesseihin.

Kirjallisuus

- [1] DeLuca, T. H., Zackrisson, O., Nilsson, M.-C., & Sellstedt, A. 2002. Quantifying nitrogen-fixation in feather moss carpets of boreal forests. *Nature*, 419(6910), 917–920.
- [2] Gundale, M. J., Deluca, T. H., & Nordin, A. 2011. Bryophytes attenuate anthropogenic nitrogen inputs in boreal forests. *Global Change Biology*, 17(8), 2743–2753.
- [3] Koranda, M., & Michelsen, A. 2021. Mosses reduce soil nitrogen availability in a subarctic birch forest via effects on soil thermal regime and sequestration of deposited nitrogen. *Journal of Ecology*, 109(3), 1424–1438.
- [4] Jackson, B. G., Nilsson, M.-C., & Wardle, D. A. 2013. The effects of the moss layer on the decomposition of intercepted vascular plant litter across a post-fire boreal forest chronosequence. *Plant and Soil*, 367(1–2), 199–214.
- [5] De Long, J. R., Dorrepaal, E., Kardol, P., Nilsson, M.-C., Teuber, L. M., & Wardle, D. A. 2016. Understory plant functional groups and litter species identity are stronger drivers of litter decomposition than warming along a boreal forest post-fire successional gradient. *Soil Biology and Biochemistry*, 98, 159–170.
- [6] Kulju, I., Niinistö, T., Peltola, A., Rätty, M., Sauvula-Seppälä, T., Torvelainen, J., Uotila, E., & Vaahtera, E. 2023. *Metsätilastollinen vuosikirja 2022*. Luonnonvarakeskus.
- [7] Jetsonen, J., Laurén, A., Peltola, H., Muhonen, O., Nevalainen, J., Ikonen, V.-P., Kilpeläinen, A., Tuittila, E.-S., Männistö, E., Kokkonen, N., & Palviainen, M. 2024. Effects of nitrogen fertilization on the ground vegetation cover and soil chemical properties in Scots pine and Norway spruce stands. *Silva Fennica*, 58(1).

Kevyesti muokatun luomupellon maaperän eliöyhteisö kynnön jälkeen

Response of soil communities after ploughing in the fields under long-term organic farming with reduced tillage

Krista Peltoniemi¹, Sannakajsa Velmala¹, Marleena Hagner², Juuso Joonas³, Tuomas Mattila⁴, Juha-Matti Pitkänen², Ilkka Sarikka² & Visa Nuutinen²

¹ Luonnonvarakeskus (Luke), Viikinkaari 9, 00790 Helsinki

² Luonnonvarakeskus (Luke), Tietotie 4, 31600 Jokioinen

³ Tyynelän tila, Etu- Aholantie 78, 55100 Imatra

⁴ Kilpiän tila, Töllintie 277, 03850 Pusula

Johdanto

Pellon eliöyhteisö koostuu kasveista, niiden jäänteistä, näitä hyödyntävistä ja toisiinsa kytkeytyvistä ravintoverkon mikrobeista (sienet, bakteerit ja arkeonit) ja maaperäeläimistä. Kasvien tuottamiin hiiliyhdisteisiin sitoutunut energia kulkee ravintoverkossa, jossa kuollut eloperäinen aine päätyy maaperän ravintoverkon eliöille, jotka säätelevät aineiden kiertoa maassa. Maaperäeliöt muokkaavat maan fysikaalista rakennetta ja kemiallisia ominaisuuksia, vaikuttaen pellon vesitalouteen ja ravinteiden saatavuuteen.

Maanviljelytoimenpiteet voivat muuttaa eliöstön runsautta, monimuotoisuutta ja koko ravintoverkon toimintaa. Peltoviljelyssä maanmuokkaus on erityisen voimakkaasti maaperäeliöstöön vaikuttava toimenpide. Kyntömuokkauksen on arveltu vaikuttavan negatiivisesti erityisesti sieniin, koska se rikkoo niiden rihmaston. Kyntöä pidetään haitallisena myös kookkaimmille maaperäeläimille. Varsinkin maan pinnalta ravintonsa hankkivat ja/tai pysyvissä käytävissä elävät lierolajit voivat kärsiä, kun niiden ravinto hautautuu ja käytävät rikkoutuvat kynnössä.

Peltoviljelyssä on yleistynyt kynnön korvaaminen sänkimuokkauksella sekä siirtyminen suorakylvöön. Toisaalta pyrkimys viljelykiertojen monipuolistamiseen ja monivuotisten kasvien ottaminen kiertoon puolestaan vähentävät muokkaustaaajuutta. Motiiveja kyntömuokkauksen vähentämiseen on useita mutta yhtenä vaikuttimena - esimerkiksi uudistavassa viljelyssä - on maaperäeliöstön elinolosuhteiden parantaminen ja maaperän ravintoverkon toiminnan stimulointi.

Käytännön viljelyssä voi syntyä tilanteita, joissa kyntämättä viljelyn jakso on perusteltua katkaista. Esimerkiksi pitkään suorakylvetyllä pellolla ravinteiden rikastuminen maan pintakerrokseen voi lisätä vesistöjä rehevöittävästä huuhtoutumista tai rikkakasvit voivat päästä runsastumaan liiallisesti. Kumpakin ongelmaa kyntö voi helpottaa mutta hintana saattaa olla maaperäeliöstölle ja ravintoverkon toiminnalle aiheutuva haitta. Tässä tutkimuksessa haluttiin selvittää, miten maaperän eliöyhteisö reagoi, kun pitkään kevyessä muokkauksessa olleella pellolla siirrytään kyntöön. Tutkimus on osa laajaa EU-horisonttiohjelman rahoittamaa SoildiverAgro-tutkimuskokonaisuutta. Yhteensä 17 erillisessä tilakokeessa Euroopan eri ilmasto- ja viljelyvyöhykkeillä on tutkittu, kuinka eri jo vakiintuneita sekä uusia viljelymenetelmiä soveltaen voidaan edistää maaperän biologista monimuotoisuutta viljelyä.

Aineisto ja menetelmät

Muokkaukset perustettiin kahdelle peltoalalle: Kilpiän tilalle Pusulaan vuonna 2020 ja Tyynelän tilalle Joutsenoon vuonna 2021. Molemmat peltoalat olivat olleet luomuviljelyssä jo pitkään ja niitä oli muokattu vuosien ajan vain kevytmuokkauksen keinoin. Lohkot arvottiin satunnaisesti neljään kontrolli- ja kyntömuokkauksikäsitteeseen. Tyynelässä kynnöt toteutettiin syksyllä ja Kilpiän tilalla keväällä, kummallakin pellolla kolmena peräkkäisenä vuotena.

Tyynelässä pääsatokasvina ensimmäisenä ja viimeisenä viljelykierron vuotena oli syysvehnä, Kilpiässä kevätvehnä. Molemmissa kasvoi viljelykierron toisena vuotena herne.

Näytteet pelloilta otettiin kolmena peräkkäisenä vuonna 2020–2023. Sienet ja bakteerit tunnistettiin niille ominaisten viivakoodimerkkialueiden avulla peltomaanäytteistä eristetystä kokonais-DNA:sta amplikonisekvensointimenetelmin (Illumina MiSeq). Bakteerisekvenssit käsiteltiin DADA2 ja sienisekvenssit PipeCraft 1.0 bioinformatiikkatyökalun avulla. Bakteerien luokittelu ja tunnistus perustui ASV (amplicon sequence variant) dataan ja SILVA-tietokantaan (v.138.1) ja sienten OTU (operational taxonomic unit) dataan ja UNITE-tietokantaan. Sukkulamadot tunnistettiin sekä DNA:n avulla, että morfologisesti. Sienten toiminnalliset ryhmät, hajottajat, symbioottiset sienet ja taudinaiheuttajat tunnistettiin FUNGuild-työkalun avulla. Lieronäytteet otettiin yhdistetyllä kemiallisella ja käsinlajittelumenetelmällä ja lajit tunnistettiin morfologian perusteella. Lieromuuttujina olivat kokonaistiheys ja –massa, lajilukumäärä sekä valittujen ekologisten ryhmien osuus yhteisössä. Aineisto analysoitiin R- ja SAS-ohjelmistopakettien avulla monimuuttujamenetelmin (NMDS, PERMANOVA) ja yleistettyjen lineaaristen sekamallein (GLM).

Tulokset ja tarkastelu

Bakteerien tai sienten lajistossa, runsauksissa, monimuotoisuudessa (Shannon diversiteetti) tai yhteisörakenteessa ei havaittu muutoksia kontrollin ja kyntömuokkauksen välillä viimeisenä tarkasteluvuotena kummallakaan pellolla. Sienten toiminnallisten ryhmien välillä ei ollut myöskään tilastollisesti merkitseviä eroja. Kilpiän pellolla voitiin kuitenkin havaita lievää laskeva trendi hajottajasienten määrissä kevätkynnön jälkeen ja nouseva trendi taudinaiheuttajien ja symbiotrofisten sienten määrissä. Lievä nouseva trendi oli erotettavissa myös taudinaiheuttajien määrissä Tyynelän pellon syyskynntölohkoilla viimeisenä tarkasteluvuotena. Tulokset ovat samansuuntaisia tuoreen tutkimuksen kanssa, jossa viidestä eri maasta olevan peltoaineiston mukaan kevennetty muokkaus ei nostanut symbioottisten keräjuurisienten monimuotoisuutta, vaan kolmessa pellossa jopa laski sitä [1]. Tulos voi kertoa siitä, että kevennetty muokkaus edistäisi juuria kolonisoivia keräjuurisieniä enemmän kuin lajeja, jotka pyrkivät levittäytymään maassa. Kyntö nosti sukkulamatojen määriä Tyynelän syyskynnetyissä pellossa ensimmäisenä vuonna. Peltojen viljelyhistorian ansiosta lierojen kokonaistiheys ja –massa sekä lajimäärä olivat korkeita kummallakin pellolla. Kyntö ei alentanut lierojen kokonaistiheyttä kummassakaan kokeessa, mutta varsinkin Tyynelän kokeessa oli viitteitä kokonaismassan alenemisesta. Kummallakin pellolla havaittiin yhtenä vuonna kynnön lierojen lajimäärää alentava vaikutus. Molemmilla pelloilla syvälle kaivautuvien lajien (kasteliero) osuus oli kevennetyn muokkauksen lohkoissa suurempi kuin kynnetyissä. Kummallakin pellolla lierojen kokonaisrunsaus aleni voimakkaasti vuonna 2022 kummallakin pellolla mahdollisesti kuivuuden vaikutuksesta ja vaikutus oli sama muokkaustavasta riippumatta.

Kirjallisuus

[1] Vahter, T., Taylor, A. R., Landa, B. B., Linsler, D., Rodriguez, E. M. M., Moreno, F. G., Pérès, G., Engell, I., Hiiesalu, I., Bengtsson, J., Oja, J., Torppa, K. A., Arias-Giraldo, L. F., Guzmán, G., Pothhoff, M., Vasar, M., Sandor, M., Sepp, S.-K., Stoian, V. and Öpik, M. 2024. Reduced tillage intensity does not increase arbuscular mycorrhizal fungal diversity in European long-term experiments. *European Journal of Soil Science*, 75(4), e13546.

Maaperäeläinten monimuotoisuus metsäpohjaisilla maanparannusaineilla käsitellyillä peltomailla

The role of soil faunal diversity in agroecosystems to foster sustainable agriculture and circular economy

Ida Pohjanlehto¹, Marleena Hagner², Krista Peltoniemi¹

¹ Luonnonvarakeskus (Luke), Viikinkaari 9, 00790 Helsinki

² Luonnonvarakeskus (Luke), Tietotie 4, 31600 Jokioinen

Johdanto

Maatalousmaiden hiilivarastot ovat huvenneet viimeisen 35 vuoden viljelyjakson aikana 17 % [1]. Viljeltyjen peltoalojen jatkuva hiilen ja monimuotoisuuden väheneminen on tiukasti yhteydessä intensiiviseen viljelyyn; toistuvat häiriöt altistavat maaperää eroosiolle, suolaantumiselle, happamoitumiselle ja kemikalisoitumiselle [2]. Maaperäeläinten monimuotoisuutta peltomailla on tutkittu vain vähän, vaikka änkyrimatoja, sukkulamatoja ja maaperän mikroniveljalkaisia pidetään maaperän biologisen ja kemiallisen stressin indikaattoreina.

Crottyn mukaan [3] peltomaan ennallistaminen metsämaaksi vaikuttaa maaperäeläinten ravinnonkäyttöryhmien runsauteen, lisäten sienivälitteisen energiavirran dominanssia. Peltomaan mikrobiston muokkaaminen bakteerivaltaisesta sienivaltaiseen on ajateltu ehkäisevän maaperän hiilivarastojen hupenemista, ravinteiden huuhtoutumista sekä eroosiota [4]. Myös maaperäeläinten vaikutus hiilen sitoutumiseen voi olla merkittävä [5].

SoFaSu –hankkeessa tehtävän tutkimuksen tavoitteina on 1) lisätä tietoa puuperäisten maanparannusaineiden, selluteollisuudesta peräisin olevien biokiertotalouden sivutuotteiden ja biohiilen, vaikutuksista peltojen maaperäeläinten yhteisöihin ja monimuotoisuuteen ja 2) tutkia, ovatko maaperäeläinten muutokset kytköksissä sieni- vai bakteerivälitteisiin energiavirtoihin ja voidaanko tästä tehdä päätelmiä puuperäisten aineiden hyödyistä liittyen hiilen kiertoon ja sen pysyvyyteen peltomaassa.

Aineisto ja menetelmät

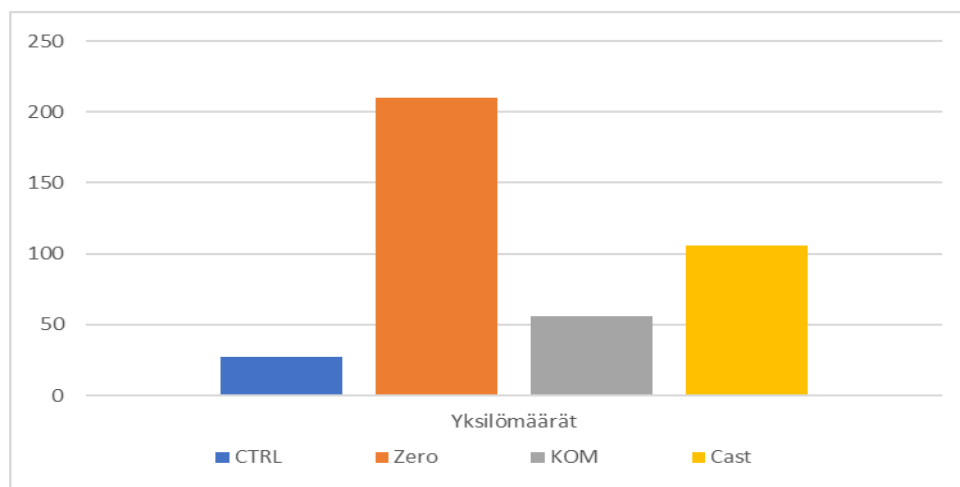
Jokioisten maanparannuspeltokoealalle on levitetty vuosina 2015 ja 2020 kolmea erilaista sellutehtaan sivuvirroista peräisin olevaa maanparannusainetta; kompostoitua sekalietettä ja kalkkistabiloitua sekalietettä, sekä lyhyttä niukkaravinteista sellukuitua ns. nollakuitu. Jokioisten ja Viikin kahdelle erilliselle peltokoealalle on levitetty metsätaloudesta syntyneestä hakkeesta tuotettua biohiiltä (20–30t ha⁻¹), Jokioisiin kerran vuoden 2016 syksyllä ja Viikin pelttoon kahdesti keväällä vuosina 2010 ja 2023.

Maanäytteet maaperäeläintutkimuksiin otettiin koealoilta kahtena peräkkäisenä syksynä 2023 ja 2024. Näytteistä määritettiin eläinryhmien lukumäärät, tuoremassat ja lajiston koostumus. Änkyrimadot ja sukkulamadot eroteltiin maanäytteistä märkäsuppilomenetelmällä ja mikroniveljalkaiset kuivasuppilomenetelmällä. Molemmissa menetelmissä eliöt ajetaan valon ja asteittain nousevan lämpötilan avulla maasta koeastioihin, joista ne voidaan laskea ja määrittää.

Alustavat tulokset

Yleisesti ottaen orgaanisten sivuvirtojen lisäys peltomaahan kasvatti maaperäeläinten runsauksia. Erityisesti änkyrimadot hyötyivät sellukuidusta (Kuva 1). Niiden runsaus oli

molempina vuosina sellukuitukäsittelyssä 40–45% suurempi kuin kontrollissa. Vastaavasti kompostoitu sekaliete ja kalkkistabiloitu sekaliete lisäsivät änkyrimatojen määrää 7% ja 20%. Myös biohiili vaikutti änkyrimatojen runsauksiin lisäten yksilömääriä noin 15%. Sivuvirtojen lisäys peltomaahan kasvatti myös sukkulamatojen, sekä mikroniveljalkaisten runsauksia.



Kuva 1. Änkyrimatojen yksilömäärät käsittelyittäin Jokioisten maanparannusainekokeessa (n=4). Zero, sellukuitu; CTRL, kontrolli; KOM, kompostoitu kuituliete; Cast, kalkkistabiloitu kuituliete.

Kirjallisuus

[1] Heikkinen, J.E., Ketoja, V., Nuutinen, K. 2013. Regina, Declining trend of carbon in Finnish cropland soils in 1974–2009, *Glob. Change Biol.* 19: 1456–1469. <https://doi.org/10.1111/gcb.12137>.

[2] Wei, X.M., Shao, W., Gale, L. 2014. Global pattern of soil carbon losses due to the conversion of forests to agricultural land. <https://doi.org/10.1038/srep04062>.

[3] Crotty FV, Blackshaw RP, Adl SM, Inger R, Murray PJ. Divergence of feeding channels within the soil food web determined by ecosystem type. *Ecol Evol.* 2014 Jan;4(1):1-13. doi: 10.1002/ece3.905. Epub 2013 Dec 4. PMID: 24455156; PMCID: PMC3894882.

[4] Morriën, E., Hannula, S., Snoek, L. *et al.* Soil networks become more connected and take up more carbon as nature restoration progresses. *Nat Commun* 8, 14349 (2017). <https://doi.org/10.1038/ncomms14349>

[6] Liao, S., Tan, S., Peng, Y. *et al.* Increased microbial sequestration of soil organic carbon under nitrogen deposition over China's terrestrial ecosystems. *Ecol Process* 9, 52 (2020). <https://doi.org/10.1186/s13717-020-00260-7>

Maankäyttö ja syvyys vaikuttavat boreaalisen maan sieniyhteisöihin

Fungal communities in boreal soils are influenced by land use, agricultural soil management and depth

Laura Häkkinen^{1,2}, Igor S. Pessi^{3,2}, Anna-Reetta Salonen^{1,4}, Oona Uhlgren⁵, Helena Soinne⁶, Jenni Hultman^{2,6}, Jussi Heinonsalo^{1,7}

1 Department of Forest Sciences, University of Helsinki, PO Box 27, 00014 Helsinki, Finland

2 Department of Microbiology, University of Helsinki, PO Box 65, 00014 Helsinki, Finland

3 Finnish Environment Institute (Syke), Agnes Sjöbergin katu 2, 00790 Helsinki, Finland

4 Soil Biology Group, Department of Environmental Sciences, Wageningen University & Research, PO Box 47, 6700AA Wageningen, The Netherlands

5 Environmental Soil Science, Department of Agricultural Sciences, University of Helsinki, PO Box 56, 00014 Helsinki, Finland

6 Natural Resources Institute Finland, Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki, Finland

7 Institute for Atmospheric and Earth System Sciences (INAR)/ Forest Sciences, University of Helsinki, Finland

Johdanto

Sieniyhteisöt vaikuttavat maan kuntoon muokkaamalla sen rakennetta, kierrättämällä ravinteita ja osallistumalla orgaanisen hiilen kiertoon^{1,2}. Maatalousmaan sieniyhteisöihin vaikuttaa maankäytön intensiteetti^{3,4}, joka mittaa mineraalilannoitteiden ja torjunta-aineiden käytön sekä kastelun ja mekanisaation tasoa⁵. Koska mikrobiyhteisöjen tutkimukset ovat tyypillisesti rajoittuneet maan pintakerrokseen (0–20 cm)⁶, ymmärryksemme maankäytön vaikutuksista syvempien maakerrosten sieniyhteisöihin ovat rajallisia. Syvemmillä maakerroksilla ja niiden mikrobiyhteisöillä voi kuitenkin olla merkittävä rooli maatalousmaan hiilensidonnassa ja peltomaan ravinnevarantona^{7,8}.

Sienet voidaan jakaa toiminnallisiin ryhmiin, kuten saprotrofeihin (hajottajiin), symbiontteihin, ja patogeeneihin, perustuen niiden pääasiallisiin energian ja ravinteiden hankintatapoihin⁹. On ehdotettu, että tietyt toiminnalliset sieniryhmät voivat heijastaa maatalousmaan ekosysteemin toimintaa paremmin kuin sieniyhteisö kokonaisuudessaan¹⁰. Potentiaalisesti hyödyllisiin sieniryhmiin kuuluvat muun muassa symbionttiset keräsienet, jotka muodostavat vuorovaikutussuhteita kasvien kanssa ja edesauttavat niiden ravinteiden- ja vedensaantia¹¹, sekä saprotroffit, jotka mahdollistavat ravinteiden kierron hajottamalla orgaanista materiaalia¹². Keräsienet voivat myös lisätä maan orgaanisen hiilen määrää¹³ ja samanlaista vaikutusta on esitetty myös saprotrofeille¹⁴.

Tässä tutkimuksessa käytimme ITS2-alueen DNA-sekvensointimenetelmää selvittääksemme sieniyhteisörakennetta maan pystysuuntaisessa profiilissa (0–80 cm) neljällä eri maankäytön tai maankäytön intensiteetin käsittelyllä Lounais-Suomessa. Käsittelyt olivat metsä, luonnonnurmi, sekä tavanomainen ja luonnonmukainen (luomu) viljelykiertopeltoma. Luonnonnurmi, tavanomainen ja luomu käsittelyt muodostavat gradientin matalimman maankäytön intensiteetistä korkeimpaan. Metsä edustaa maankäytönmuotoa, joka vallitsi alueella ennen siirtymistä peltomaaksi. Maan pystysuuntainen profiili jaettiin viiteen eri maakerrokseen, 0–10 cm, 10–20 cm, 20–30 cm, 30–40 cm ja 40–80 cm, jotka analysoitiin erikseen. Käsittelyiden ja maakerrosten lisäksi tarkastelimme maan kemiallisten ominaisuuksien ja juuribiomassan vaikutusta sieniyhteisöihin.

Tulokset ja tarkastelu

Sieniyhteisöt erosivat käsittelyiden välillä enemmän pintamaassa kuin syvemmissä kerroksissa, mutta eroja havaittiin aina syvintä kerrosta (40–80 cm) myöten osoittaen, että maankäytön vaikutukset sieniyhteisöihin eivät rajoitu pintamaahan. Sienimonimuotoisuus laski kaikissa käsittelyissä 10 cm jälkeen. Kuitenkin luonnonnurmi, tavanomainen ja luomu käsittelyissä keräsienten monimuotoisuus, kuten myös niiden suhteellinen osuus, oli suurinta alle 20 cm:n maakerroksissa. Koska keräsienet ovat yhteydessä maan orgaanisen hiilen määrään ja kasvien ravinnesaantiin, löydös korostaa syvempien maakerrosten mahdollista merkitystä peltomaiden hiilensidonnessa ja ravinnevarantona. Matalimman maankäytönintensiteetin käsittelyssä, luonnonnurmella, keräsienimonimuotoisuus oli suurempaa kuin korkeimman intensiteetin, tavanomaisen viljelykierron, käsittelyssä osoittaen, että hyödyllisten sieniryhmien monimuotoisuutta voidaan potentiaalisesti lisätä maankäytön intensiteettiä laskemalla. Maankäyttömuoto oli yhteydessä sienten toiminnallisten ryhmien suhteellisiin osuuksiin. Symbiontit olivat yleisimpiä metsässä, saprotrofit luonnonnurmella ja patogeenit, mukaan lukien kasvipatogeenit, viljelymailla. Monet maan kemiallisista ominaisuuksista ja juuribiomassa selittivät eroja sieniyhteisöissä. Uutena löydöksenä rautaoksidi oli tilastollisesti merkitsevä selittäjä sieniyhteisöeroille kaikissa maakerroksissa aina syvimpään kerrokseen asti (40–80 cm) ja korreloi myös vahvasti keräsienimonimuotoisuuden kanssa.

Kirjallisuus

1. Bhattacharyya, S. S., Ros, G. H., Furtak, K., Iqbal, H. M. N. & Parra-Saldivar, R. Soil carbon sequestration-An interplay between soil microbial community and soil organic matter dynamics. *Sci. TOTAL Environ.* **815**, 152928 (2022).
2. Powell, J. R. & Rillig, M. C. Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi and ecosystem function. *New Phytol.* **220**, 1059–1075 (2018).
3. Banerjee, S. *et al.* Agricultural intensification reduces microbial network complexity and the abundance of keystone taxa in roots. *ISME J.* **13**, 1722–1736 (2019).
4. Peltoniemi, K., Velmala, S., Fritze, H., Lemola, R. & Pennanen, T. Long-term impacts of organic and conventional farming on the soil microbiome in boreal arable soil. *Eur. J. Soil Biol.* **104**, 103314 (2021).
5. Foley, J. A. *et al.* Solutions for a cultivated planet. *Nature* **478**, 337–342 (2011).
6. Henneron, L. *et al.* Bioenergetic control of soil carbon dynamics across depth. *Nat. Commun.* **13**, 7676 (2022).
7. Balesdent, J. *et al.* Atmosphere–soil carbon transfer as a function of soil depth. *Nature* **559**, 599–602 (2018).
8. Morugan-Coronado, A. *et al.* The impact of crop diversification, tillage and fertilization type on soil total microbial, fungal and bacterial abundance: A worldwide meta-analysis of agricultural sites. *Agric. Ecosyst. Environ.* **329**, 107867 (2022).
9. Nguyen, N. H. *et al.* FUNGuild: An open annotation tool for parsing fungal community datasets by ecological guild. *Fungal Ecol.* **20**, 241–248 (2016).
10. Ferris, H. & Tuomisto, H. Unearthing the role of biological diversity in soil health. *Soil Biol. Biochem.* **85**, 101–109 (2015).

11. Smith, S. E. & Read, D. INTRODUCTION. in *Mycorrhizal Symbiosis (Third Edition)* (eds. Smith, S. E. & Read, D.) 1–9 (Academic Press, London, 2008). doi:10.1016/B978-012370526-6.50002-7.
12. Deacon, L. J. *et al.* Diversity and function of decomposer fungi from a grassland soil. *Soil Biol. Biochem.* **38**, 7–20 (2006).
13. Parihar, M. *et al.* The potential of arbuscular mycorrhizal fungi in C cycling: a review. *Arch. Microbiol.* **202**, 1581–1596 (2020).
14. Hannula, S. E. & Morriën, E. Will fungi solve the carbon dilemma? *Geoderma* **413**, 115767 (2022).

Poimintahakkuun ja tasaikäiskasvatuksen vaikutus metsän maaperän monimuotoisuuteen

Soil biodiversity in Continuous-Cover and Rotational Forest management systems

Taina Pennanen¹, Sauli Valkonen¹, Sannakajsa Velmala¹, Päivi Väänänen¹, Krista Peltoniemi¹, Tania Galindo-Castañeda², Martin Hartmann², Anna Clocchiatti³, Salvador Llado⁴, Santiago Solivares Codina⁵ & Hannu Fritze¹

¹ Natural Resources Institute Finland (Luke), Helsinki, Finland, ²ETH Zürich, Switzerland, ³University of Amsterdam, The Netherlands, ⁴University of Barcelona, Spain, ⁵University of Alicante, Spain

Introduction

The main feature of Continuous-Cover Forestry is the permanent retention of a high degree of canopy cover and structural diversity of the tree stand, with the application of partial harvesting instead of clearcutting. In contrast, Rotational Forestry (RF) is based on clear-cutting forestry and the subsequent management of uniform, even-aged stands where clearcutting and artificial regeneration recur at 60–100-year intervals.

We compared Norway spruce-dominated forest stands managed with single-tree selection (Continuous-Cover Forestry (CCF) with middle-aged (40 years) originating from clearcutting and subsequent even-aged management (Rotational Forestry; T40) and a juvenile (12 years from clear-cutting) stand from similar origin and management (T12); and a clear-cut and regenerated stand in even-aged management with an overstory of a partially retained shelterwood remaining (TSW12).

Material and Methods

We collected our data on a long-term silvicultural experiment located in Vessari, Central Finland (62°20'N, 24°16'E) [1,3]. The Norway spruce-dominated forests originated in the 1940s from natural regeneration after shelterwood cutting. In the 1960s, an experimental setup on precommercial thinning was established on the 16-hectare site. It was divided into 50 m x 50 m squares with a buffer zone to the outside, and different posttreatment stem densities were applied. In the 1980s the experiment had matured in terms of precommercial thinning and refocused on different CCF40 and T40 systems and harvesting methods in the winter of 1986–87. The assigned CCF40 treatment included single-tree selection and dimension cutting, while T40 was represented by thinning from below. The treatments were repeated in 1994, 2002–2004 observing the original method and postharvest densities. In 2009 the T40 stands, at the age of 75 years, were approaching economic maturity according to Finnish best practices. The plots were randomly reassigned to the clearcutting (T12) and shelterwood cutting with 200 stems ha⁻¹ (TSW12). The CCF treatments we continued unaltered.

In 2022 and 2023, 3m x 3m plastic shelters were installed to these four treatments (with 3 replicate plots per treatment) to simulate summer drought, 50% reduction in precipitation. Soil samples were collected, and soil microbiota was determined by metabarcoding of soil DNA to track biodiversity of prokaryotes, eukaryotes, and fungi. Norway spruce seedlings were outplanted on the control and drought simulation plots in 2022.

Results and discussion

The question if continuous cover forestry would be associated with greater resilience against

drought regarding forest regeneration (seedling growth) or soil multifunctionality compared to the prevalent clear-cutting forestry, did not get support from our results. The permanent canopy and/or vegetation cover may have attenuated the effects of the drought treatment as the greatest functional changes were seen in the reduced growth of the out-planted seedlings in both the continuous-cover CCF40 and conventional T40 sites. This conclusion was supported by the soil multifunctionality and multidiversity assessments; no evidence was found for changes in the resilience of soil biodiversity to drought in terms of the silvicultural treatments.

Microbial community analyses based on fatty acids showed that there were consistent management-induced differences between CCF (CCF40) and RF (T40, T12, TSW12) stands only in biomass of arbuscular mycorrhizal fungi and protists, and the only protists reflected the drought treatment. After clear-cutting, herbaceous grasses had increased in the forest floor and this may explain the consistent changes in arbuscular mycorrhizal fungi. Soil actinobacteria were also more abundant in the seedling sites than in the middle-aged and continuous-cover stands. Molecular-based microbial community structure analyses are more sensitive and specific than fatty acid-based, and further, most probably due to the great heterogeneity and buffering effect of ground vegetation on forest soils, the studied microbiota did not show consistent treatment or management effects. Fungal and eucaryotic communities responded most strongly to forest management: younger stages separated from both mature stages, but also some differences in fungal communities were seen between the CCF and RT stands. Particularly the fungal Cortinariaceae-family was more abundant in the older stands compared to the seedling stands, most probably due to the removal of mature trees in clear-cutting supporting symbiotic ectomycorrhizal fungi [2].

References

- [1] Lähde, E., Laiho, O. and Norokorpi, Y. 2001. Structure transformation and volume increment in Norway spruce-dominated forests following contrasting silvicultural treatments. *Forest Ecology and Management* (151): 33-138.
- [2] Prescott, C.E. & Grayston, S.J. 2023. Continuous root forestry—Living roots sustain the belowground ecosystem and soil carbon in managed forests. *For Ecol Manag* 532: 120848.
- [3] Pukkala T., Laiho O., Lähde E. 2016. Continuous cover management reduces wind damage. *Forest Ecology and Management* 372: 120–127.

Effects of reduced snow cover on soil fungi and plant roots in boreal coniferous forest

Jie Xu¹, Lauri Lindfors¹, Anna Lintunen^{1,3}, Hui Sun^{1,2}, Jussi Heinonsalo¹

¹Institute for Atmospheric and Earth System Research (INAR), Department of Forest Sciences, Faculty of Agriculture and Forestry, P. O. Box 27, 00014, University of Helsinki, Finland

²Collaborative Innovation Center of Sustainable Forestry in Southern China, College of Forestry, Nanjing Forestry University, Nanjing, 210037, China

³Institute for Atmospheric and Earth System Research (INAR), Faculty of Science, P. O. Box 64, 00014, University of Helsinki, Finland

Snow plays a critical role in regulating underground ecosystem and soil processes. Many regions have experienced a decrease in winter snow depth and duration of snow cover due to ongoing global warming. This affects microbial activity and the survival of plant root, thereby influencing the levels of soil organic C and N pools. Thus, understanding microbial responses to varying snowpack conditions is important for understanding the effect of climate change on forest ecosystems. This study aims to assess the absence of snowpack on the root growth of pine trees and ericoid dwarf shrub, and the response of soil nutrients and microorganisms to snow exclusion.

The experiment consists of two treatments: a control site with undisturbed snow cover, allowing natural snow accumulation and melting, and a snowless site where snow is prevented from covering the soil surface using shelters. Fine roots of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), along with rhizosphere soil and bulk soil, were collected in 2022 following two winters of snow exclusion treatment for C, N and DNA analysis. Additionally, the roots of ericoid dwarf shrub *Vaccinium myrtillus* were collected to evaluate microbial interaction between the shrub and pine roots.

Soil respiration, serving as an indicator of microbial activity, showed a lower level in the snowless site in the beginning and end of growing season. Pine roots morphology was determined to evaluate the treatment effects on root growth patterns. The first order roots' length and surface area were notably higher in the snowless site compared to control site in October. Fungal growth, determined by soil ergosterol, was significantly reduced under snow exclusion. To further study changes in fungal community, fungal Internal Transcribed Spacer (ITS2) sequences were obtained from isolated DNA by Illumina NovaSeq platform. The fungal richness of bulk and rhizosphere soil was significantly reduced in the snowless site in June. Soil freezing induced by snow exclusive affects the fungal diversity and structure.

Key words: snow exclusion, root growth, fungal community, Scots pine, *Vaccinium myrtillus*

Kasvien kasvua edistävät bakteriofaagit

Plant growth-promoting bacteriophages

Ville-Petri Friman¹

¹ Mikrobiologian osasto, Helsingin Yliopisto, Viikinkaari 9, 00014, Helsinki

Plant rhizosphere microbiomes consist of millions of microbial cells that help plants metabolize nutrients and defend against invading pathogens, supporting plant growth¹. While plant microbiomes are highly diverse, current research has mainly focused on bacteria, neglecting the importance of bacterial viruses, bacteriophages (or phages for short). Even though phages do not directly interact with plants, they can have indirect effects on plant growth by interacting with plant-associated rhizosphere bacteria in the soil¹. In this talk, I will review our previous experimental research on how phages can promote plant growth. For example, we have demonstrated that lytic phages can infect and kill plant-pathogenic bacterial taxa and reduce their relative abundances alleviating plant disease symptoms^{2,3}. Moreover, selective killing of bacterial taxa can lead to enrichment of plant growth-promoting bacteria in the rhizosphere, resulting in improved plant growth³. When killing bacteria, lytic phages also release nutrients in the rhizosphere, playing important role in both C and N cycling⁴. Finally, our recent experimental data suggests that temperate phages can provision bacteria genes that not only improve bacterial survival but also boost the expression of plant growth-promoting functions, including auxin biosynthesis. Together, our findings suggest that soil phages play an important role in soil biochemistry and ecology.

Literature

- 1 Wang, X. *et al.* The role of rhizosphere phages in soil health. *FEMS Microbiology Ecology* **100**, doi:10.1093/femsec/fiae052 (2024).
- 2 Wang, X. *et al.* Phage combination therapies for bacterial wilt disease in tomato. *Nat Biotechnol* **37**, 1513-1520, doi:10.1038/s41587-019-0328-3 (2019).
- 3 Wang, X. *et al.* Phages enhance both phytopathogen density control and rhizosphere microbiome suppressiveness. *Mbio* **15**, e03016-03023, doi:10.1128/mbio.03016-23 (2024).
- 4 Liao, H. *et al.* Mesophilic and thermophilic viruses are associated with nutrient cycling during hyperthermophilic composting. *ISME J* **17**, 916-930, doi:10.1038/s41396-023-01404-1 (2023).

Kasvipatogeenien tukahduttaminen voi olla seuraus bakteerien kilpailusta juuristossa

Phytopathogen suppression can be a byproduct of bacterial competition in the rhizosphere

Yue Yin^{1,2}, Thomas Pommier³, Yangchun Xu¹, Ville-Petri Friman^{2*}, Zhong Wei^{1*}

¹ Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, Jiangsu, P.R. China

² University of Helsinki, Viikinkaari 9, FI-00014 Helsinki, Finland

³ Univ Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, Villeurbanne, France

Introduction

Plant diseases cause an estimated \$220 billion in global economic losses each year^[1]. Among these, bacterial wilts caused by the soil-borne pathogen *Ralstonia solanacearum* are particularly damaging, affecting crops like tomatoes, potatoes, and peppers^[2]. Conventional chemical control methods are often ineffective and environmentally detrimental, emphasizing the urgent need for sustainable alternatives^[3, 4, 5]. Multi-species biocontrol consortia offer a promising solution, but the interactions among consortium members can significantly impact community performance^[6, 7]. Limited understanding of the specific mechanisms through which these interactions indirectly enhance pathogen suppressiveness has hindered the practical application of such consortia for plant health improvement.

This study aimed to investigate: 1) whether the bacterial combination characterized by competitive interaction can consistently inhibit pathogens; 2) the adaptive strategies employed by bacteria within this competitive interaction; and 3) how these strategies influence the community's resistance to invasion. Insights from this study could inform the design of robust microbial-based biocontrol consortia, advancing sustainable disease management methods that reduce reliance on chemical pesticides. The ultimate goal is to restore soil's natural resilience against pathogens like *R. solanacearum*, thereby ensuring the safety of tomato crops and enhancing agricultural productivity.

Material and methods

To address these research questions, we conducted both *in vitro* and in greenhouse experiment with tomato plants to assess the suppressive effects of the *Ralstonia pickettii*, *Acinetobacter calcoaceticus*, and their combination. Culture assays were performed to elucidate the interactions between *R. pickettii* and *A. calcoaceticus* in liquid medium. Additionally, transcriptomic and metabolomic analyses were conducted to compare gene expression and metabolic profiles between their co-cultures and mono-cultures, providing insights into how these interactions affect pathogen suppression.

Results

In the greenhouse experiment, the co-culture of *R. pickettii* and *A. calcoaceticus* demonstrated a significantly higher suppressive effect on bacterial wilt compared to their mono-cultures. By analyzing the disease index across different treatment groups, we found that the co-culture treatment had the lowest disease index (Fig. A). To understand why the co-culture exhibited an enhanced inhibitory effect, we conducted an *in vitro* experiment, revealing a significant positive correlation between the competitive interaction intensity of *R. pickettii* and *A. calcoaceticus* and the direct inhibitory effect of their co-cultured supernatants on the pathogen (Fig. B).

To investigate the mechanisms underlying the competitive interactions and their effects on the biocontrol functioning, we performed transcriptomic sequencing of *R. pickettii* and *A. calcoaceticus* in mono- and co-culture treatments. The results revealed significant shifts in gene expression patterns in both species under co-culture conditions (Fig. C). Additionally, metabolomic analysis using PLS-DA showed distinct metabolic profiles among *R. pickettii*, *A. calcoaceticus*, and their combination, with minimal variation within each treatment group (Fig. D).

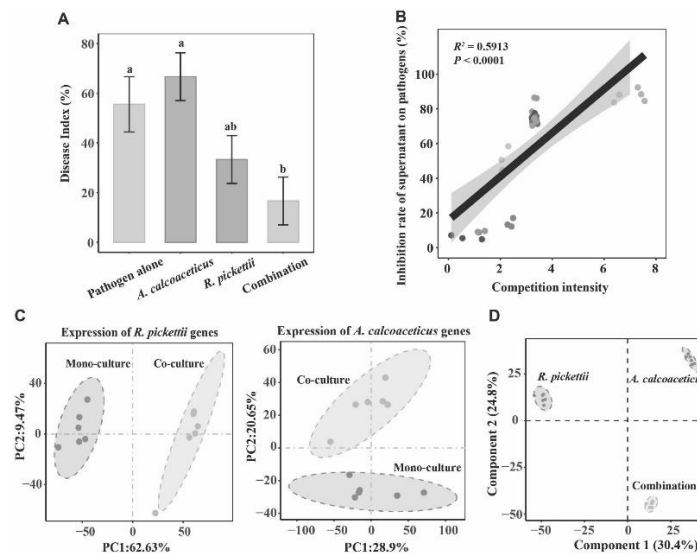


Figure. (A) Impact of each bacterial treatment on the bacterial wilt disease index. (B) Linear correlation between competition intensity and inhibition rate of combination supernatants on the pathogen, with a 95% confidence interval. (C) Principal Component Analysis (PCA) showing gene expression variations between mono- and co-culture treatments for *R. pickettii* and *A. calcoaceticus*. (D) PLS-DA scores illustrating metabolomic profile distinctions among *R. pickettii*, *A. calcoaceticus*, and their combination treatments.

Literature

- [1] Savary, S. et al. 2019. The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nat. Ecol. Evol* 3: 430–439.
- [2] Jiang, G. et al. 2017. Bacterial Wilt in China: History, Current Status, and Future Perspectives. *Front. Plant Sci* 8.
- [3] Alderley, C. L. et al. 2022. Plant pathogenic bacterium can rapidly evolve tolerance to an antimicrobial plant allelochemical. *Evol. Appl*: 735–750.
- [4] Wang, X. et al. 2019. Phage combination therapies for bacterial wilt disease in tomato. *Nat. Biotechnol* 37: 1513–1520.
- [5] Li, J. et al. 2023. Engineering multifunctional rhizosphere probiotics using consortia of *Bacillus amyloliquefaciens* transposon insertion mutants. *eLife* 12: e90726.
- [6] Machado, D. et al. 2021. Polarization of microbial communities between competitive and cooperative metabolism. *Nat. Ecol. Evol* 5: 195–203.
- [7] Li, M. et al. 2019. Facilitation promotes invasions in plant-associated microbial communities. *Ecol. Lett* 22: 149–158.

The Forest garden brings new biodiversity to the Viikki campus, elevated carbon sequestration and a platform for teaching and research in sustainability science.

Metsäpuutarha tuo Viikin kampukselle uutta monimuotoisuutta, lisää hiilensidontaa sekä opetus- ja tutkimusalustan kestävyystieteille.

Kim Yrjälä^{1,2}, Peter Petros¹, Santeri Tuovila³, David Israel⁴

¹Forest sciences, University of Helsinki, @helsinki.fi

²SYKLI Environmental college, kim.yrjala@sykli.fi

³University of Helsinki, Yliopistonkatu 3, Helsinki 00100, santeri.tuovila@helsinki.fi

⁴TaiMet, Helsinki, david.israel87@gmail.com

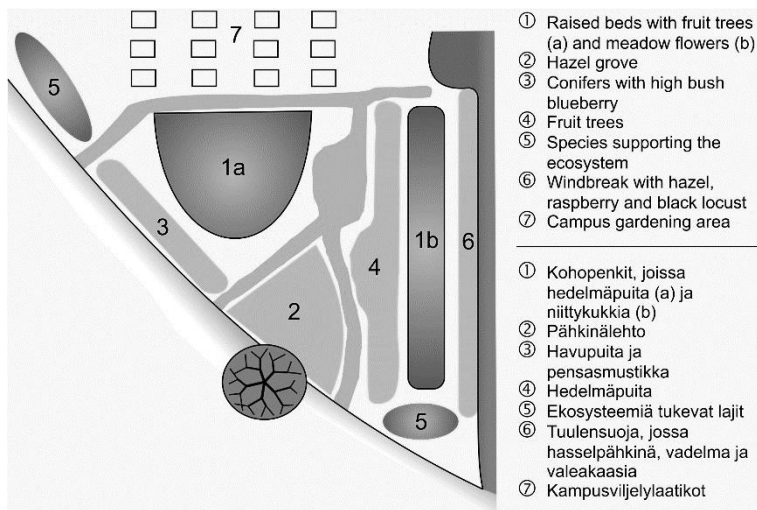
Introduction

Urbanization is a strong trend not only world-wide, but also in Finland where over 70 % of people live in the cities [1]. Cities are using 80% of the energy and cause 60% of the harmful emissions [2]. Adjacent to the University of Helsinki's Biocenter 3, a forest garden has been established as a result of work by the TaiMet group to implement sustainability principles on campus. University campuses provide a unique opportunity for urban biodiversity research, conservation and education, as well as connecting the public with nature through citizen science. Currently, there are more than 26,000 universities in the world [3]. Although forests, agricultural lands, and their organisms have been studied in Viikki for a long time, the biodiversity within university and research institute grounds had been largely overlooked until researchers conceived the idea of establishing meadows on campus [4]. Interest in workplace sustainability among researchers is just beginning to emerge, particularly regarding biodiversity. Establishing meadows and forest gardens requires collaboration between researchers, the university, and city property managers. This new activity creates opportunities for university students and researchers to engage in sustainability initiatives on campus, offering clear benefits through cooperative efforts [5]. In March 2024, the TaiMet group received a Sparkle grant from the University of Helsinki. Practical planning for the Viikki forest garden began soon after, and discussions led to the University of Helsinki allocating a 500 square meter space in vicinity of Biocenter 3, adjacent to a 500-square-meter meadow.



Materials and Methods

In spring 2024, following the snow-melt, native fungi-inoculated logs were donated by KÄÄPÄ Biotech Oy and transported for use in the forest garden. Deadwood from a thinned out beech trial in Viikki, was brought as well for use in the forest garden. Planting began in May with a group of volunteers eager to help create Viikki's first forest garden. Biochar from PUHI Oy in Hämeenlinna was used to promote plant growth and carbon sequestration. Soil and wood chips were ordered for the planting area, and with the help of dedicated volunteers, the garden was completed by the end of May. Two 4-meter-tall American rowan trees were successfully relocated from a residential area in Roihuvuori undergoing yard renovations to the Viikki forest garden. Watering was carried out through the summer by committed volunteers who managed weekly shifts throughout the warm season. Wooden benches, allowing visitors to sit and experience the garden directly, were constructed within the garden.



Results and Discussion

The forest garden was established on the University of Helsinki's Viikki campus in spring 2024. Planning began in 2023 after the Viikki campus planning group had provided guidance on developing the campus with sustainability in mind. Despite limited resources and a tight timeline, the forest garden thrived, with an 80% survival rate for the planted seedlings. The long raised bed (1b in above

figure) turned green in May, flowers sprouted from seeds in June, and strawberry plants produced their first berries in beginning of June. By July, the raised bed attracted many bumblebees, becoming an excellent new destination for pollinators. In August, cucumbers started to grow in the raised bed area (1a in figure). The Viikki forest garden was showcased at the International Phytotechnology Society's IPC conference, 10/2024, in Kerala, India [6].

The Viikki forest garden originated from an idea in the Circulator 2.0 incubator in spring 2023, which aimed to develop sustainable business models based on circular economy principles [7]. In November 2024, the TaiMet group, which designed and implemented the forest garden, established the TaiMet ry association. TaiMet philosophy is strongly focused on practical action to enable the green transition, exemplified by the Viikki forest garden, created through collaboration with various stakeholders, including university researchers, Viikki residents, and members of diverse networks.

References

- [1] Viinikka, A., Tiitu, M., Heikinheimo, V., Halonen, J.I., Nyberg, E. and Vierikko, K., 2023. Associations of neighborhood-level socioeconomic status, accessibility, and quality of green spaces in Finnish urban regions. *Applied Geography*, 157, p.102973.
- [2] Harris, S., Weinzettel, J., Bigano, A. and Källmén, A., 2020. Low carbon cities in 2050? GHG emissions of European cities using production-based and consumption-based emission accounting methods. *Journal of Cleaner Production*, 248, p.119206.
- [3] Liu, J., Zhao, Y., Si, X., Feng, G., Slik, F., and Zhang, J. 2023. University campuses as valuable resources for urban biodiversity research and conservation. *Urban Forestry & Urban Greening* 64:127255.
- [4] Helsinki.fi. Flourishing campuses safeguard urban biodiversity. <https://www.helsinki.fi/en/news/biodiversity-loss/flourishing-campuses-safeguard-urban-biodiversity>.
- [5] Kampusviljely ry. What is campus farming? <https://blogs.helsinki.fi/kampusviljely-campus-farming/what/>.
- [6] Yrjälä, K., Israel, D., Petros, P. and Tuovila, S. 2024. New Forest Garden at the University Helsinki Viikki Campus to Improve Biodiversity and Stakeholder Involvement. PHYTOTECNOLOGIES FOR SUSTAINABLE ENVIRONMENT AND FOOD SAFETY, *International Phytotechnology Conference- IPC 18*, 22-24 October 2024, University of Calicut, Kerala, India. <https://ipc18.uoc.ac.in/>.
- [7] Circulator teams. <https://www.helsinki.fi/en/networks/helsinki-incubators/pre-incubators/circulator-30-circular-economy/circulator-20-teams>.

Kaupunkimaaperä monimuotoisuuden lähteenä - Kaupunkien viheralueilla asukkaat kohtaavat monipuolisia mikrobiyhteisöjä

The boreal soil microbiome of different urban green spaces – do city residents meet different microbes?

Hannu Fritze¹, Krista Peltoniemi¹, Taina Pennanen¹, Sannakajsa Velmala¹, Jenni Hultman¹, Leila Korpela¹, Oili Tarvainen², Jouni Karhu², Marika Laurila², Katja Kangas²

¹Natural Resources Institute Finland (Luke), Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki, Finland

²Natural Resources Institute Finland (Luke), Oulu, Finland

Soil microbes play a pivotal role in the cycling of nutrients, among other functions. Recently, there has been a growing interest in the potential relationship between soil microbes and human health. The biodiversity hypothesis posits that urban residents require contact with diverse natural environments to ensure the development of a protective microbiome on the human skin, which correlates with a reduction in inflammatory diseases. The soil of urban green spaces, which exhibit distinctive vegetation characteristics, was subjected to analysis in two boreal cities with the objective of investigating whether residents are exposed to different microbial communities.

The analysis encompassed a range of green spaces, including those that are built, open, and forested. Despite expectations, the soil microbiomes of built green spaces, which are characterised by flower beds and lawns, and open green spaces, such as meadows, were found to be similar. The bacterial and fungal communities of urban forests exhibited distinct characteristics compared to those of built and open green spaces. In contrast to the observed increase in bacterial diversity in the soil of built and open spaces, no such difference was evident in the fungal diversity. With regard to the nitrogen cycle, all the green spaces under investigation were identified as potentially denitrifying environments. Metagenomic analyses indicated that all three urban spaces were capable of converting nitrite into gaseous forms of nitrogen, rather than ammonium. The formation of nitrous oxide (N₂O) was observed to be more prevalent in urban forest soils.

From an urban planning perspective, our findings indicate that the soils of built green spaces are microbiologically diverse, offering the potential for the design of different types of plantations to attract residents to an urban park of their choosing. Furthermore, it is recommended that efforts be made to preserve the existing urban forests to provide the local population with the opportunity to interact with an alternative environmental microbiome.

Mikromuovien vaikutukset Euroopan maatalousmaissa – PAPILLONS

Microplastics affect agricultural soils in Europe – Results from PAPILLONS H2020 project

Sannakajsa Velmala¹, Salla Selonen², Helena Soinne¹, Hannu Fritze¹, Johanna Nikama¹, Juha-Matti Pitkänen¹, Vili Saartama², Jyri Tirroniemi², Janne Kaseva¹, Jari Haimi³, Klára Šmídová⁴, Jakub Hofman⁴, Shinwoong Kim⁵, Matthias Rillig⁵, Paula Redondo⁶, Melanie Braun⁷, Luca Nizzetto⁸.

¹Luonnonvarakeskus, Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki, sannakajsa.velmala@luke.fi;

²Suomen ympäristökeskus, Latokartanonkaari 11, 00790 Helsinki, salla.selonen@syke.fi;

³Jyväskylän yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos, Jyväskylä; ⁴RECETOX Masarykova

Univerzita, Tseki; ⁵Freie universitaet Berlin, Saksa; ⁶Fundacion IMDEA agua, Espanja;

⁷Rheinische Friedrich-Wilhelms-universitat Bonn, Saksa; ⁸Norsk institutt for vannforskning (NIVA), Norja.

PAPILLONS-hankkeessa mikromuovien kulkeutumista ja vaikutuksia maaperässä selvitettiin kenttäkoeolosuhteissa Suomessa, Saksassa ja Espanjassa, jotka edustavat eri kasvillisuus- ja ilmastovyöhykkeitä Euroopassa. Kierrätetyistä perinteisestä (polyetyleni; PE) ja biohajoavasta (polybutyleeni-adipaatti-tereftalaatti; PBAT) katekalvomateriaalista tehtyjä mikromuovihiukkasia levitettiin koeruuduille 0,005 % ja 0,05 % laskennallisina pitoisuuksina, kun sekoitusvyvyys oli 10 cm. Valitut pitoisuudet edustavat aiemmissä tutkimuksissa havaittuja maaperästä löytyviä muovihiukkaspitoisuuksia.

Koepelloilla kasvattiin mallasohraa kahtena peräkkäisenä vuonna. Koeruuduilta otettiin kahtena syksynä (2022 ja 2023) näytteet maaperän fysikaaliskemiallisista ominaisuuksista, mikrobiyhteisöstä ja -aktiivisuudesta sekä maaperäeläimistä. Lisäksi seurattiin käsittelyiden vaikutuksia orgaanisen materiaalin hajoamiseen. Monivuotisen kenttäkokeemme tulokset ovat vihdoon valmiit. Alustavien tulosten mukaan mikromuoveilla havaittiin olevan joitakin vaikutuksia maaperän ominaisuuksiin ja mikrobiaktiivisuuksiin. Mikrobien ja maaperäeläinten yhteisörakenteeseen ja orgaanisen materiaalin hajoamiseen vaikutus on vähäisempi. Pohdimme tulostemme valossa mikromuovien vaikutuksia maaperässä ja tulevaisuuden tutkimustarpeita.

PAPILLONS on EU:n Horizon2020-ohjelmasta rahoitettu hanke, jossa tutkitaan maatalousmuovien käytöstä syntyvien mikro- ja nanomuoveja vaikutuksia maaperässä. PAPILLONS-hankkeessa on tutkijoita ja asiantuntijoita 20 organisaatiosta yhdeksästä Euroopan maasta. Hanketta koordinoi Norjan vesistöjä tutkimuslaitos NIVA, ja Suomea edustavat Suomen ympäristökeskus ja Luonnonvarakeskus. Hankkeessa kartoitetaan mikromuovien esiintymistä Euroopan maatalousmaissa, tutkitaan mikro- ja nanomuovien kulkeutumista ja ekologisia vaikutuksia sekä arvioidaan maatalousmuovien ekologista, sosiaalista ja taloudellista kestävyyttä.

Pystyvätkö lierot (*Eisenia andrei*) välttämään maan mikromuoveja?

Are earthworms (Eisenia Andrei) able to avoid microplastics in soil?

Vili Saartama^{1,2}, Jari Haimi², Salla Selonen¹

¹Suomen ympäristökeskus, vili.saartama@syke.fi

²Jyväskylän Yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Johdanto

Muovituotteiden käyttö on voimakkaasti lisääntynyt 1950-luvulta lähtien. Globaalin muovituotannon kasvu on kiihtynyt, ja vuonna 2022 erilaisia muoveja tuotettiin yli 400 miljoonaa tonnia (1). Muovit muodostuvat pitkäketjuisista orgaanisista polymeereistä, jotka ovat pääosin biologisesti hajoamattomia. Muovit pilkkoutuvat luonnossa pääasiassa fysikaalisesti ja kemiallisesti UV-valon, mekaanisen kulumisen, lämpötilojen vaihteluiden ja kemiallisten reaktioiden vaikutuksesta (2). Ympäristöön päätyneet makromuovin kappaleet pilkkoutuvat edelleen samojen tekijöiden vaikutuksesta hitaasti mikromuoviksi; alle 5 mm kokoisiksi muovihuukkasiksi.

Modernissa maataloudessa käytetään muoveja moniin tarkoituksiin. Muovikatteella suojataan satokasveja säältä, tuholaissilta ja rikkakasveilta, lähes kaikki maatalouskemikaalit varastoidaan muovipakkauksissa, kasteluputket ja järjestelmät ovat usein muovisia (2). Maatalousmaista onkin löydetty erilaisia mikromuoveja (2, 3). Mikromuovien hajoaminen maatalousmaassa voi kestää jopa satoja vuosia, joten ongelma voi pahentua maatalousmuovien käytön edelleen jatkuessa (3).

Tavoitteenamme on saada selville, voivatko mikromuovit aiheuttaa riskin peltoekosysteemille välttämiskäyttäytymisen kautta lierojen poistuessa peltoalueelta mikromuovien kertymisen takia.

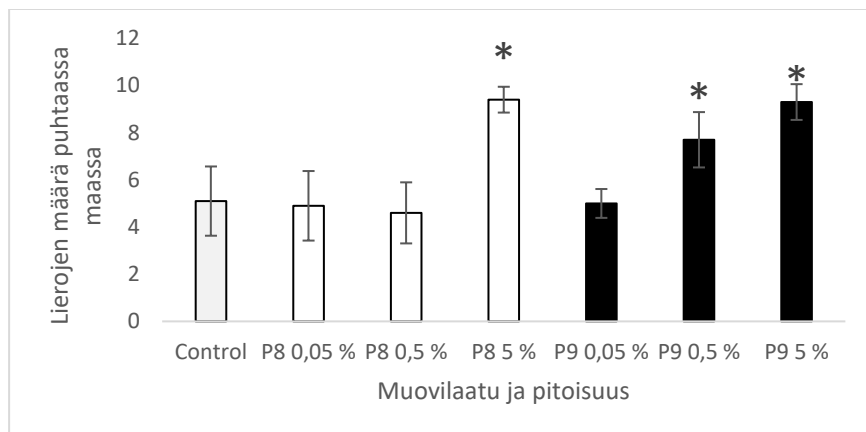
Menetelmät

Välttämiskoe tehtiin standardin ISO 17512-1:2008(E) mukaisesti sekoittamalla maan ja mikromuovit 1,5 l alumiinifolioastioissa. Kokeessa testattiin kahta maataloudessa käytettyä muovilaatua (P8 ja P9). tässä artikkelissa kuvattuna nimikkeillä P8 ja P9. Molemmat muovilaadut olivat polypropeenia (PP), ja P8 oli jauhettu harsomateriaalista ja P9 katekankaasta. Säädimme kosteuden 55 % maan vedenpidätyskyvystä. Maana käytettiin Lufa 2.2 standardimaata. Maa, ionivaihdettu vesi ja muovit sekoitettiin pitoisuus kerrallaan metallikulhoissa. Maata lisättiin alumiinifoliovuoaan toiselle puolelle 437,5 g (kontrolli ja 0,05 % pitoisuudet) 410 g (0,5 % pitoisuudet) ja 260 g (5 % pitoisuudet). Toiselle puolelle lisättiin 437,5 g puhdasta Lufa 2.2 -maata. Maata lisättiin eriävä massa eri puolille astiaa, koska tavoitteena oli saavuttaa tasainen 5 cm maakerros astiassa. Eri maapuoliskot eristettiin toisistaan foliopäällysteisellä pahvilla. Kuhunkin pitoisuuteen kontanimoiduista maista määritettiin tiheys, WHC ja pH.

Jokaiseen astiaan lisättiin 10 lieroa. Foliopäällysteinen pahvi poistettiin ja pesdyt ja kuivatut madot asetettiin tarkalleen astian keskikohtaan. Astiat peitettiin muovikalvolla ja asetettiin 48 tunnin ajaksi testihuoneeseen, jossa oli 8 tunnin valaistussykli, 21 C lämpötila ja säädetty ilmankosteus. Koe lopetettiin 48 tunnin kuluttua. Astiat jaettiin keskikohdasta kahteen osaan läpinäkyvällä pleksin palalla. Astian molemmilla puolilla olleet lierot laskettiin. Jakolinjalla olleet yksilöt laskettiin 0,5 madoksi.

Tulokset ja niiden tarkastelu

Lierojen välttämiskäyttäytymisessä havaittiin eroja (Kuva 1). Matalimmissa (0,05 - 0,5 %) P8-pitoisuuksissa eroja kontrolliin ei ollut havaittavissa, mutta 5 % pitoisuudessa yli 90 % madoista valitsi muovittoman puolen. P9-muovin tapauksessa ero oli havaittavissa 0,5 ja 5 % pitoisuuksissa. Muovipitoisuudessa 0,5 % yli 75 % lieroista valitsi muovittoman puolen ja 5 % pitoisuudessa yli 90 % lieroista valitsi muovittoman puolen.



Kuva 1. Lierojen yksilömäärä puhtaassa maassa, kun astian toisella puolella oli maatalousmikromuoveilla P8 ja P9 kontaminoitua maata pitoisuuksissa 0 %, 0,05 %, 0,5 % ja 5 %. Ateriksi * tarkoittaa tilastollista merkitsevyyttä.

Välttämiskäyttäytymisestä seuraava lierojen pakeneminen peltomaasta ympäristöön voi merkittävästi muokata peltoekosysteemiä ja aiheuttaa lierojen tarjoamien ekosysteemipalveluiden menetyksen. Lierojen yksilömäärän vähenemisellä voi olla merkittäviä vaikutuksia maan orgaanisen aineksen määrään, maan rakenteeseen, ravinteiden kiertoon ja maan mikrobiaktiivisuuteen (4). Kokeessa lierot osoittivat voimakasta taipumusta välttää mikromuoveja sisältävää maata, mutta vain korkeissa pitoisuuksissa. Nykyisin maatalousmaan keskimääräiset pitoisuudet eivät kuitenkaan yleensä vielä saavuta kokeessa käytettyjä korkeimpia pitoisuuksia, mutta joiltakin alueilta on tavattu jopa kokeessa käytettyjä pitoisuuksia korkeampia mikromuovimääriä (3). Erilaisten muovityyppien erot tulivat myös ilmi, lierot reagoivat herkemmin muoviin P9. Ottaen huomioon erilaisten maatalousmuovien suuren määrän, on todennäköistä, että lierot reagoivat maatalousmaiden mikromuoveihin useilla eri pitoisuuksilla, myös kokeessa vaikutuksia tuottaneita alemmilla, muovityypistä riippuen. Maatalousmuovien yhä yleistyvän käytön takia ongelma on kumuloituvaa ja mahdollinen riski peltoekosysteemeille on todellinen.

Hanke on osa EU:n Horizon2020-ohjelmasta rahoitettua hanketta PAPILLONS ja tutkimusta on rahoittanut myös Maj ja Tor Nesslingin säätiö.

Kirjallisuus

- [1] PlasticsEurope (2023). Plastics – the fast Facts 2023. <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-fast-facts-2023/>
- [2] Bhadauria, T., & Saxena, K. G. (2010). Role of Earthworms in Soil Fertility Maintenance through the Production of Biogenic Structures. *Applied and Environmental Soil Science*, 2010, 1–7.
- [3] Büks, F., Kaupenjohann, M., 2020. Global concentrations of microplastics in soils – a review. *SOIL* 6, 649–662
- [4] Edwards, C. A., & Bohlen, P. J. (1996). Biology and Ecology of Earthworms. *Springer Science & Business Media*

Biohajoavien katemuovien hajoavuus suomalaisessa peltomaassa

Degradation of biodegradable mulching films in Finnish agricultural soil

Salla Selonen^{1*}, Johanna Nikama², Liisa Maunuksela³, Demetres Briassoulis⁴, Fabiana Convertino⁵, Antonis Mistrionis⁴, Christina Pyromali⁴, Vili Saartama¹, Evelia Schettini⁵, Helena Soinne², Jyri Tirroniemi¹ & Sannakajsa Velmala², Giuliano Vox⁵

¹ Suomen ympäristökeskus, Latokartanonkaari 11, Helsinki; salla.selonen@syke.fi

² Luonnonvarakeskus, Latokartanonkaari 9, Helsinki / Tietotie 4, Jokioinen;
johanna.nikama@luke.fi

³ Ruokavirasto, Mustialankatu 3, Helsinki; liisa.maunuksela@ruokavirasto.fi

⁴ Agricultural University of Athens, 75, Iera Odos Str, 11855 Athens, Greece;
briassou@aua.gr

⁵ University of Bari Aldo Moro, Via Amendola 165/a 70126 Bari, Italy;
evelia.schettini@uniba.it

Katemuoveja käytetään maa- ja puutarhataloudessa rikkakasvien torjuntaan sekä lämpötilan ja kosteuden optimoimiseen. Niiden avulla pystytään vähentämään torjunta-aineiden käyttöä ja vähentämään kastelua, mutta samalla ne voivat aiheuttaa ympäristön ja maaperän kontaminoitumista muovilla ja edelleen mikromuovilla muovien murentuessa pienemmiksi hiukkasiksi. Haittojen vähentämiseksi on kehitetty biohajoavia muoveja, joiden on tarkoitus hajota maaperässä lopulta hiilidioksidiksi, vedeksi ja mikrobibiomassaksi. Biohajoavia katekalvoja ei kerätä maaperästä pois, vaan ne sekoitetaan maan sekaan, joten toistuva biohajoavien muovien käyttö saattaa johtaa muovin kerääntymiseen maaperässä, ellei hajoaminen ole tarpeeksi nopeaa. Hajoamisnopeus riippuu ympäristöolosuhteista, ja Suomen pohjoisissa olosuhteissa hajoaminen voi olla hitaampaa, kuin mitä standarditestien mukaan tehtyjen hajoamiskokeiden perusteella on arvioitu.

Biohajoavien katekalvojen hajoamista (disintegraatiota) suomalaisessa maaperässä on tutkittu EU:n Horizon2020-ohjelmasta rahoitetussa hankkeessa PAPILLONS sekä kansallisessa Maa- ja metsätalousministeriön Makera-ohjelmasta rahoitetussa hankkeessa MicrAgri. PAPILLONS-hankkeessa on seurattu maahan haudattujen biohajoavien katekalvojen kappaleiden hajoamista kenttäolosuhteissa yli kahden vuoden ajan. MicrAgri-hankkeessa puolestaan seurattiin hajoamista suomalaisessa peltomaassa laboratorio-olosuhteissa sekä viileissä että lämpimissä olosuhteissa noin kahden vuoden ajan.

Tulosten mukaan biohajoavien katekalvojen hajoaminen maaperässä oli hitaampaa Suomessa kuin Etelä-Euroopassa ja hitaampaa viileissä kuin lämpimissä olosuhteissa. Olisikin tärkeää, että biohajoavien katemuovien biohajoavuustestistandardit ja hajoavuuskriteerit ottaisivat huomioon eri ympäristöolosuhteet. Lisäksi tarvitaan tuotekehitystä sopivien materiaalien löytämiseksi eri ilmasto- ja ympäristöolosuhteisiin.

Klopyralidin kulkeutuminen suomalaisiin kierrätyslannoitteisiin

Transport of Clopyralid into Finnish Recycled Fertilizers

Lauri Äystö¹ & Katri Siimes¹

¹ Suomen ympäristökeskus, Haitalliset aineet lauri.aysto@syke.fi ja katri.siimes@syke.fi

Taustaa

Kierrätyslannoitteiden sisältämien pyralidiherbisidien jäämien on muissa Pohjoismaissa havaittu estävän herkkien viljelykasvien taimettumista ja kasvua [1]. Ruotsalaisissa selvityksessä [1] klopyralidia havaittiin useimmista analysoiduista kierrätyslannoitteenäytteistä ja klopyralidipitoisuudet vaihtelivat välillä 100–3000 µg/kg. Norjalaisessa uudessa tutkimuksessa [2] klopyralidin pitoisuudet olivat tätä pienempiä, mutta ylittivät silti usein EU-säädöksessä [3] klopyralidille ja aminopyralidille annetun pitoisuurajan 50 µg/kg kuiva-ainetta, jonka ylittyessä tulee lantaperäisten kierrätyslannoitteiden myyntipakkauksiin lisätä varoitusmerkintä sen sopimattomuudesta herkille kasveille. Suomessa julkaistun pitoisuusaineiston mukaan vinassipohjaisissa lannoitevalmisteista pitoisuudet ovat olleet korkeimmillaan 1 700 µg/kg [4], kun kanankakkapohjaisissa valmisteissa pitoisuudet ovat olleet enimmillään suuruusluokkaa 200 µg/kg [5]. Sallitut klopyralidin jäämät sokerijuurikkaassa ja viljoissa vaihtelevat välillä 1 000–3 000 µg/kg [6].

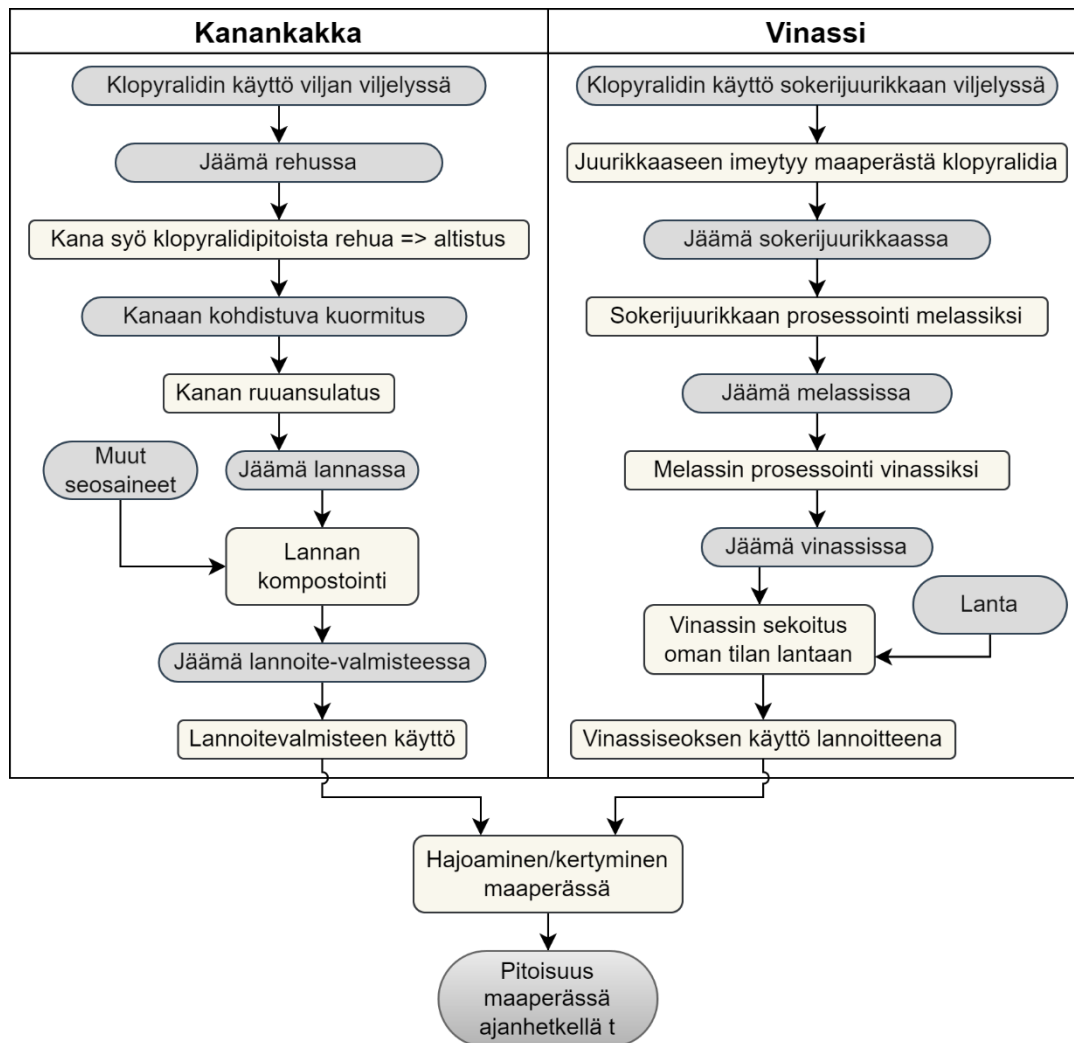
Klopyralidi vaikuttaa kasvien hormonitoimintaan ja siksi kasvit ovat sille herkempiä kuin eläimet. Vaikka kanat altistuvat rehun kautta klopyralidijäämille, niiden kasvu ei häiriinny siitä. Sen sijaan kananlannan käyttö lannoitteena voi aiheuttaa kasvuhäiriöitä herkissä kasveissa. Kasvien herkkyys klopyralidille vaihtelee kasvien välillä huomattavasti. Herkkiä kasveja ovat mm. pavut, apila, linssit, herneet, salaatti, auringonkukka ja tomaatti. Vaikka sokerijuurikkaan kasvu ei kärsi klopyralidin käytöstä kasvinsuojeluaineena, sokerijuurikkaan prosessoinnissa muodostuvan melassin ja vinassin sisältämät jäämät voivat haitata herkkien kasvien kasvua, kun vinassia käytetään lannoitteena.

Kulkeutumisenreitin mallinnus

Osana KIERTOKAS-hanketta (Kohti kestävästä kiertotaloudesta: Kierrätyslannoitteiden ja -kasvualustojen kasvinsuojeluainejäämät ja niiden hallinta) laadittiin kehikko haitallisten aineiden kulkeutumisesta kierrätyslannoitteiden käsittelyketjuissa ja lannoitteiden käyttökohteissa. Näiden mallien tavoitteena on hahmottaa kulkeutumisreitistä ne kohdat, joihin voitaisiin puuttua ja hallita ongelmaa. Kansallisen sidosryhmätyön perusteella päädyttiin valitsemaan mallinnettaviksi kulkureiteiksi kanankakan ja vinassin kautta lannoitteisiin ja niistä edelleen viljelymaahan päätyvät kulkureitit (Kuva 1). Alan toimijoilta ja hankkeen ohjausryhmältä saatiin merkittävää apua tarkastelukehikkojen laatimiseen.

Mallien lähtötietoina käytettiin kirjallisuudesta ja tietokannoista saatavilla olevia tietoja. Lisäksi lähtötietojen kokoamisessa hyödynnettiin tekoälyä. Juurikkaan klopyralidin ottoa maasta arvioitiin myös dynaamisella mallilla.

Tässä esityksessä kuvataan valitut tarkasteluketjut sekä alustavat tulokset.



Kuva 1. Kaaviokuva klopyralidin mallinnetuista kulkeutumisreiteistä

Kirjallisuus

- [1] Nilsson, U. 2021. Rester av bekämpningsmedel I växtnäring. Slutrapport om skador på växter orsakade av växtnäring. FOR – Fritidsodlingens riksorganisation. 24 s. https://for.se/wp-content/uploads/2021/07/Slutrapport_klopyralid_FOR_2021_webb-1.pdf.
- [2] Almvik M., ym., 2024. Funn av rester av plantevernmidler i organiske gjødselvarer i 2023. Overvåking-og kartleggingsprogram. NIBIO Rapport 10:67. <https://hdl.handle.net/11250/3131605>
- [3] EU komission delegoitu asetus 2024/1682, Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EU) 2019/1009 muuttamisesta käsitellyn lannan lisäämiseksi EU-lannoitevalmisteiden ainesosaksi. http://data.europa.eu/eli/reg_del/2024/1682/oj
- [4] Soilfood Oy, 2022. Soilfoodin lannoitteet soveltuvat luomutuotantoon. <https://soilfood.fi/lannoitteet-soveltuvat-luomutuotantoon/> [Viitattu 4.11.2024]
- [5] Äystö, L., ym., 2022. Haitalliset aineet kierrätyslannoitteissa ja niiden raaka-aineissa. Syken raportteja 27/2022. <http://hdl.handle.net/10138/345153>
- [6] European Food Safety Authority (EFSA), Bellisai, G., ym. 2024. Modification of the existing maximum residue level for clopyralid in honey. EFSA Journal 22(1): e8546 <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2024.8546>

Antibiotic Resistance and Microbial Communities in the Environment of an 18th-century Slaughterhouse

Antibioottiresistenssiprofilit ja mikrobiyhteisöt suomalaisen 1700-luvun teurastamon ympäristössä

Minna Maria Maunula¹, Taru-Marja Mäkinen¹, Kari Uotila², Jenni Hultman³, Kirill Bogdanov⁴, Marko Virta¹, Auli Bläuer⁵, Petri Auvinen⁶, Johanna Muurinen¹

¹ Faculty of Agriculture and Forestry, University of Helsinki

² Muuritutkimus Oy.

³ Natural Resources Institute Finland

⁴ Department of Microbiology and Immunology, University of Otago

⁵ Faculty of Humanities, University of Turku

⁶ Institute of Biotechnology, University of Helsinki

Microbes are considered the first living organisms on Earth, slowly evolving and adapting to different environments. The microbial diversity within the human gut microbiome is understood to play a crucial role in maintaining health. Similarly, we can expect the microbial diversity in agricultural environments to act as a safeguard for soil health as well as interconnected health between humans, other animals, and the environment (One Health). Although antibiotics were discovered and taken into medical use in the early 1900s, microbes have produced antibiotics long before. The bacteria's ability to resist antibiotics is called antibiotic resistance, which is known to be ancient. However, the role of antibiotic-producing bacteria in the development of resistance is unknown. While the use of antibiotics causes a strong selective pressure for antibiotic resistance, also other anthropogenic activities are speeding up its spread. Manure and garbage piles in agricultural environments are habitats where both antibiotic producers and bacterial pathogens thrive, providing an excellent opportunity to study the role of producers in the emergence of antibiotic resistance.

This study aims to shed light on the evolution of antibiotic resistance through the history of agriculture. Here, we investigate microbial communities, antimicrobial resistance genes (ARGs), and potential antibiotic-producing bacteria (APB) from the environment of an 18th-century slaughterhouse in Turku, Finland.

A total of 12 samples were collected from archaeological excavations, from which total environmental DNA was isolated and analyzed using metagenomic sequencing to determine the microbial communities and ARG profiles. Additionally, APB capable of remaining dormant as spores for centuries, were cultivated from these samples. Whole genome sequencing was then performed to investigate their genomes and the ARGs they carry.

From the metagenomes, in total 467 ARGs were detected, and the samples containing manure were more rich in ARGs than soils. In total nine gram-positive bacteria were isolated and identified: *Arthrobacter* sp., *Paeniglutamicibacter quisquiliarum*, *Paeniglutamicibacter sulfureus*, *Streptomyces* sp010548465, *Microbacterium murale*, *Bacillus licheniformis*, *Peribacillus frigoritolerans*, *Rhodococcus qingshengii* and *Streptomyces clavifer*. By examining the genetic environment of the ARGs in the isolates, we can determine whether these genes are mobile and thus linked to the evolution of antibiotic resistance. Here, we present our current and developing results, which will elaborate our understanding of the impact of agriculture on the emergence of antibiotic resistance.

Antimicrobial resistance dissemination potential of bio-based fertilizers according to field trials

Kierrätyslannoitteiden antibioottiresistenssin levittämispotentiaali kenttäkokeiden perusteella

Johanna Muurinen¹, Melina Markkanen¹, Jenni Hultman^{1,2}, Kari Ylivainio², Boris Jansen³, Tapio Salo², Antonio Delgado Garcia⁴, Ramiro Recena Garrido⁴, Mustapha Arkoun⁵, Aurelien D'Oria⁵, Riikka Keskinen² & Marko Virta¹

1 Faculty of Agriculture and Forestry, University of Helsinki

2. Natural resources institute Finland

3. University of Amsterdam, the Netherlands

4. University of Sevilla, Spain

5. Groupe Roullier, France

Background and methods

Use of bio-based fertilizers (BBFs) could offer solutions for adapting to the planetary boundaries by reducing our dependence on fossil energy and tightening the nutrient cycles. BBFs are a heterogeneous group of recycled fertilizers including products manufactured from manures, sewage sludges, composts, ashes, biowastes, slaughterhouse and crop residues as well as mixtures of all these. Since BBFs are new types of materials, their usability and risks should be determined. The LEX4BIO-project (<https://lex4bio.eu/>) aimed to produce a science-based toolkit for the use of BBFs in agriculture. As a part of LEX4BIO, we analyzed the antimicrobial resistance (AMR) dissemination potential of BBFs using metagenomes from 528 soil samples. The samples were obtained from field trials in Finland, France and Spain conducted for analyzing Phosphorus and Nitrogen efficiency of BBFs as well as risks caused by heavy metals and organic contaminants in the BBFs. Samples were taken before application of BBFs, immediately after the application, and six weeks after the application.

Findings

The results show that BBFs in general have low AMR dissemination potential. Poultry production side stream BBFs were an exception, possibly due to antibiotic use in poultry production. Another group of BBFs that seemed to facilitate more AMR were those whose manufacturing involved composting or fermentation. The abundances and diversities of AMR genes were elevated in soils after application of BBFs manufactured from materials such as manures, composts, or sludges, but returned close to those of soil samples taken before BBF application within six weeks. However, in some cases the AMR genes that were present in the soil before BBF application were enriched. This occurred mainly with those BBFs that did not possess AMR genes themselves, were manufactured from plant-based materials, or the processes involved composting or fermentation. The AMR genes that were enriched are typically carried by environmental bacteria and the genes were not associated with mobile genetic elements. AMR is ancient due to coevolution of antibiotic-producing bacteria and other bacteria in a shared environment, and it is not uncommon to detect AMR genes in soil. The enrichment of these genes can be explained through the nutrients and organic matter the BBFs contained: Most likely the BBFs provided resources to environmental bacteria carrying the enriched AMR genes. The BBFs had no negative effect on the microbiome diversity or beneficial microbes such as mycorrhiza. The analyses will continue by exploring the ecology of AMR and investigating associations between AMR and chemical data from the soils. Given the large number of samples and carefully designed experiments, the results could give valuable understanding on the ecology of AMR. In our presentation, we will further elaborate and discuss the current and developing results.

Effects of biochar, ligneous soil amendments, and a microbial stimulant on soil biological activity, and carbon content and stability two-years after their application in a boreal cropland

Heinonsalo^{1,2*}, J., Peltokangas^{2,3,4}, K., Barré⁵, P., Baudin⁶, F., Cécillon⁵, L., Kalu^{1,4,7}, S., Kanerva⁴, S., Karhu¹, K., Kulmala³, L., Liski³, J., Salonen^{3,4,9}, A.-R., Shrestha⁸, R., Soinne⁹, H., Virtanen¹⁰, E., Huusko^{8,11}, K. & Sietiö^{1,12}, O.-M.

¹Department of Forest Sciences, University of Helsinki, Faculty of Agriculture and Forestry, Helsinki, Finland

²Institute for Atmospheric and Earth System Research (INAR)/ Forest Sciences, Helsinki, Finland

³Finnish Meteorological Institute, Helsinki, Finland

⁴Department of Agricultural Sciences, University of Helsinki, Faculty of Agriculture and Forestry, Helsinki, Finland

⁵Laboratoire de Géologie, École normale supérieure, CNRS, PSL Univ., IPSL, Paris, France

⁶Institut des Sciences de la Terre – Paris, Sorbonne Université, CNRS, Paris, France

⁷Department of Crop and Soil Sciences, North Carolina State University, Raleigh, NC, USA

⁸Department of Microbiology, University of Helsinki, Faculty of Agriculture and Forestry, Helsinki, Finland

⁹Natural Resources Institute Finland Luke, Latokartanonkaari 9, FI-00790, Helsinki, Finland

¹⁰Soilfood Ltd, Viikinkaari 6, FI-00790, Helsinki, Finland

¹¹Ecology and Genetics Research Unit, University of Oulu, FI-90014, Oulu, Finland

¹²Häme University of Applied Sciences, Hämeenlinna, Finland

Soil organic carbon (SOC) losses causes serious concerns on soil health as well as on climate change. SOC losses have been connected to risks on soil cultivability and soil ecosystem functioning, and SOC losses are a significant additional source of CO₂ increasing current climate crisis. The efforts taken place to reduce the negative impacts, known as carbon farming, involve various practices aimed at converting the current SOC loss into C sequestration, or at least maintaining current SOC stocks, resulting therefore both in improved soil health and climate change mitigation. Among these practises, using biochar with crops has shown potential for climate benefits. In countries with extensive forests, however, other carbon-rich byproducts from the forest industry could also be used as soil amendments or microbial stimulants. However, their potential for climate change mitigation, as well as the specific mechanisms behind their effects on soil health, remain unclear.

This study aimed to evaluate the biological and physico-chemical soil impacts of the use of different wood-based (ligneous) soil amendments alongside conventional farming in a field experiment. The treatments included two types of biochar (from *Salix* sp. and *Picea abies*), two pulp mill sludge treatments, and one microbial stimulant. The amendments were applied at economically relevant rates, ranging from 9.0 to 21.9 Mg per hectare (dry weight). We examined their effects on soil organic carbon levels and stability, pH, bulk density, moisture as well as on soil microbial abundance, activities, and community composition. From our extensive data, we found that mainly biochar treatments led to an increase in total and stabile SOC that was measurable after two years. Non-biochar treatments, in contrast, did not produce the same effect, likely due to lower application rates and faster decomposition.

Both biochar and sludge treatments raised soil pH, significantly or as a trend, although the resulting changes in soil chemistry had minimal effects on soil microbial characteristics.

Overall, the amendments did not show any negative impacts on measured soil physical and chemical properties and had slight detectable effects on soil biology. Our findings suggest that these wood-based amendments could be effective in repurposing forest industry byproducts to enhance primary production on agricultural lands.

Bioresque-projekti: Metsäteollisuuden resurssien palauttaminen maanparannusaineeksi biojalostuksen avulla

Bioresque project: Forestry resource recovery and biorefinery soil conditioner production

Jukka Kivelä¹, Aurelia Louhio and Elias Hakalehto¹

¹ Agricultural Sciences, University of Helsinki, jukka.kivela@helsinki.fi

Introduction

Forest industry side streams are a significant resource of organic substrates, the use of which as soil conditioners could increase soil carbon reserves and, consequently, increase crop yields [2]. The current study aimed to investigate if biorefined forest industry side streams could function as platforms for the addition of associative Nitrogen-fixing bacteria with the potential for increasing plant crops. The pot experiment with microbiologically conditioned soils is a tentative experiment for product development aimed at converting forest industry side streams into soil conditioners. In addition, this study was used to determine whether organic or mineral fertilization provides greater potential yields when used with biorefinery residues [3]. The former demonstrated a more long-lasting and sustainable effect on plant growth in this study, as implied in previous research [4].

Material and methods

The studies were conducted in the Viikki research greenhouse, as previously described [1]. The growing conditions were standardized with a 15-23 °C temperature range. Automated and monitored drip irrigation was used. Two replicate studies with ryegrass were conducted. The used pots were of 3.5 l volume and filled with 3 kg of sieved soil. 7.5-10 g/pot, which is 5000-7000 kg/ha, of biorefinery soil conditioners (13.5 % dry matter) were added and mixed into the topsoil. The fertilizer used for the organic group was Biofer 10-3-1, and for the mineral group, Yara Suna 23-3-8. 2 g of ryegrass seeds were planted per pot, first batch on 22.4. and second on 29.5. The hay was harvested three times at 4-week intervals.

A study with peas was also conducted using pots of 3.5 l volume filled with 3 kg of sieved soil. 3.75-5 g/pot, which is 2500-3500 kg/ha of biorefinery soil conditioners were added and mixed into the topsoil. 0.30-0.45 g of P₂O₅ and 0.23-0.29 g of K₂SO₄ were added as fertilizer, to reach a level of 30 kg/ha of phosphorus and 80 kg/ha of potassium in all samples. 10 peas of the Astronoute variety were planted per pot on 25.4. The samples harvested 11 weeks later.

Results

With ryegrass, the most significant yields were achieved with mineral fertilizer in the first harvest (Fig. 1A.) in the second harvest. However, the differences in yields between the two fertile fertilizers were evened out. In the third harvest, the most significant yields were achieved with organic fertilizer (Fig. 1B.). Thus, the soil conditioner prolongs the effect of fertiliser. This effect did not, however, show much in the total crop yield (Fig. 2.). The results still show that the largest yields were achieved using soil conditioners and organic fertilizer together. With peas, pod mass was slightly higher with soil conditioners used, but no significant effect can be determined from the results (Fig. 3.).

Further study about the joint effects of biorefinery soil conditioners is warranted. The best-performing products and combinations need to be developed to support the functioning of associative Nitrogen-binding organisms. Also, the joint effects of organic fertilizers and microbiological soil amendments must be improved. In addition to the set-up of the present

study, the novel soil conditioner compositions should be analyzed before starting the experiment. Correspondingly, the complementary fertilizing calculations should be done accordingly for the use of improved mixtures.

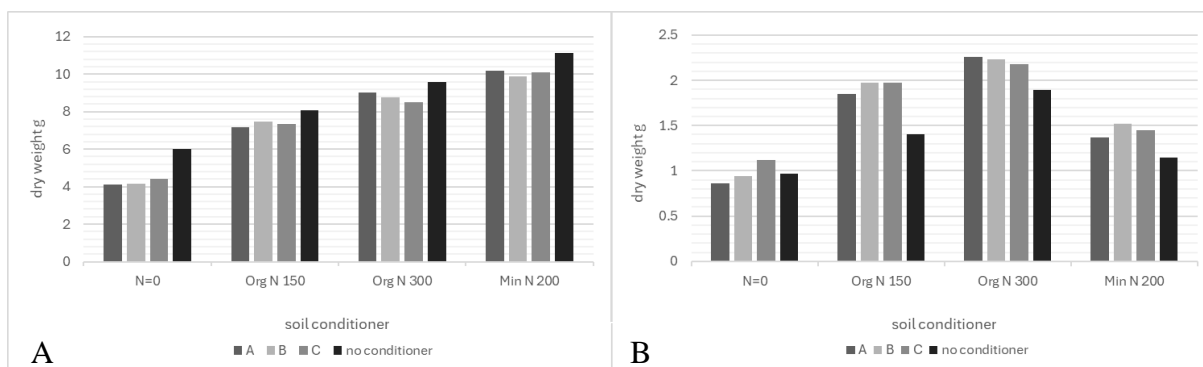


Fig. 1. Effect of soil conditioner on ryegrass crop yield in A. first harvest and B. third harvest

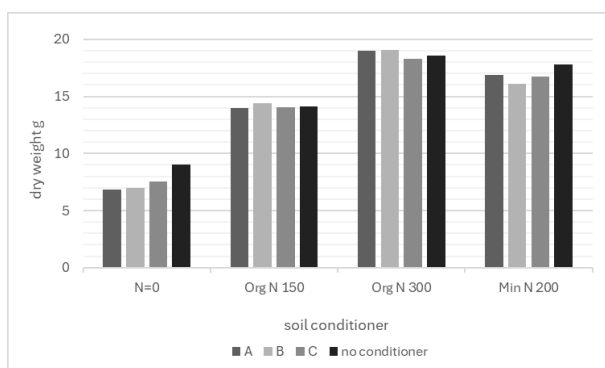


Fig. 2. Effect of soil conditioner on ryegrass total crop yield from all harvests

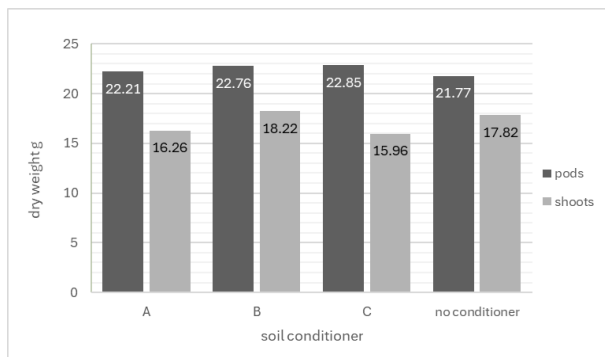


Fig. 3. Effect of soil conditioner on pea crop yield

Literature

[1] Hakalehto, E., Jääskeläinen, A., Hakalehto, J.-P., and Kivelä, J. 2024. Cellulosic Factory Side Streams and Deposits as Organic Soil Improvement Resources in an Outlined Bioprocess Scheme - BIORESQUE Project of the EU CircInWater Program, *EGU General Assembly 2024, Vienna, Austria, 14–19 Apr 2024*, EGU24-22062, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu24-22062>.

[2] Hakalehto, E., Heitto, A., Adusei-Mensah, F., Jääskeläinen, A., Laatikainen, R., Kivelä, J., Dahlquist, E., den Boer, J., den Boer, E. 2025. Food and Forest Industries Waste Reuse using Mixed Microflora. *In: Hakalehto, E. (ed.) Mixed Cultures in Industrial Bioprocesses*. Springer Cham, Switzerland. *In Press*.

[3] Joonas, J., Liski, E. and Kahiluoto, H. 2024. Manure increases soil organic carbon most when allocated to annual cropping. *Catena* 238:107844.

[4] Kinnula, S., Kanerva, S., Soinne, H., Toivonen, M., Joonas, J., Tuulos, A., Parviainen, T., Kinnunen, O. and Kivelä, J. 2024. Pulp mill sludges as a solution for reducing the risk of mineral nitrogen leaching from agriculture. *Agricultural and Food Science* 33(2):74–89.

Lannoitepellettien ominaisuuksien vaikutus niiden levitettävyyteen keskipakoislevittimellä

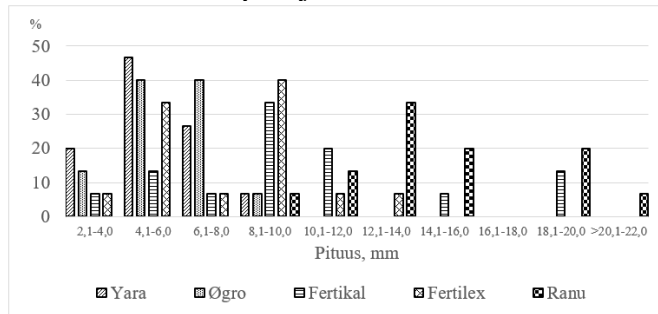
Effect of the properties of fertilizer pellets on their suitability to be spread with centrifugal spreader

Petri Kapuinen¹⁾ & Ari-Matti Seppänen²⁾

¹⁾ Luonnonvarakeskus, Itäinen Pitkäkatu 4, 20520 Turku, petri.kapuinen@luke.fi

²⁾ Luonnonvarakeskus, Latokartanonkaari 9 00790 Helsinki, ari-matti.seppanen@luke.fi

Lannoitteen levittimet on suunniteltu rakeisten mineraalilannoitteiden levittämiseen, jolloin paras olomuoto myös lannasta ja muista kierrätysravinteista valmistetuille tuotteille on mahdollisimman samanlainen olomuoto. Täysin vastaavan olomuodon lannoitevalmistetta niistä on vaikea valmistaa, mutta mahdollisimman lähellä sitä oleva olomuoto on yleensä toimiva. Koska pelletit valmistetaan puristamalla ne matriisiin läpi, niiden halkaisija ei yleensä vaihtele paljon (Taulukko 1). Sen sijaan pituudessa voi olla suurtakin vaihtelua (Kuva 1), mikä huonontaa pellettien levitysominaisuuksia erityisesti levityksessä keskipakoislevittimellä. Pellettien halkaisijan tulisi olla lähellä lannoiterakeen noin 4 mm:n halkaisijaa. Pituuden tulisi olla mahdollisimman tarkasti samainen noin 4 mm, ja pellettien pitäisi kestää käsittelyä jauhaantumatta. Jauho on erityisen haitallista keskipakoislevitinlevityksessä, koska siinä se tyynellä säällä se lentää hyvin lyhyen matkan levittimen taakse levityskuvion keskelle ja kovalla tuulella kulkeutuu sen mukana kauaskin. Pienen halkaisijan pelletin valmistaminen on kuitenkin vaikeampaa, ja siihen kuluu enemmän energiaa ja aikaa.

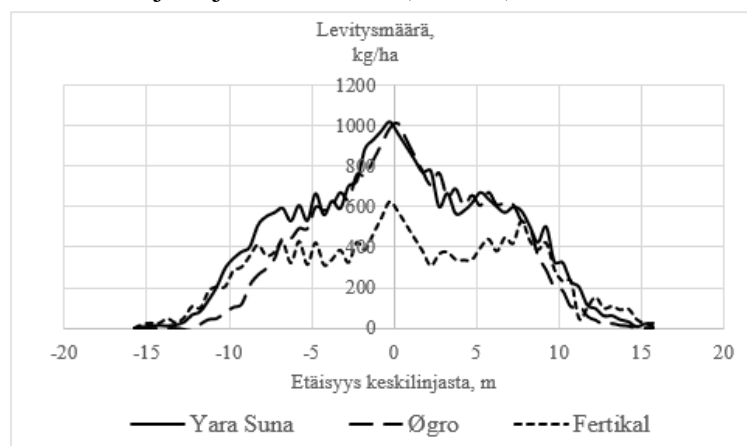


	Pituus, mm $\bar{x} \pm s$	Halkaisija, mm $\bar{x} \pm s$	Irtotilavuus- paino, kgm^{-3} $\bar{x} \pm s$
Yara Suna	5,8±2,3	4,10±0,12	700±3
Øgro	5,7±1,5	3,98±0,10	650±7
Fertikal	10,2±4,8	4,36±0,28	700±5
Fertilex	7,7±2,9	5,49±0,15	800±3
Ranu	15,1±3,8	6,11±0,10	900±10

Kuva 1. Pellettien pituusjakauma

Taulukko 1. Pellettien ominaisuuksia

Keskipakoislevittimissä levitysmäärää voidaan lisätä ajonopeutta ja työleveyttä vähentämällä. Samalla kuitenkin hehtaarimääräinen työsaavutus vähenee vastaavasti. Optimaalinen levityskuvio on symmetrinen kolmio. Pellettejä leviää tällöin yhdellä ajokerralla kahden tehollisen työleveuden verran. Seuraava ajolinja on kohdassa, johon viimeiset pelletit ovat edelliseltä ajolinjalta lentäneet (Kuva 2).



Kuva 2. Erilaisten pellettien levityskuvio

Pellettien ominaisuuksien vaikutusta niin käyttäytymiseen tutkittiin Ravinteet rakeiseksi -hankkeessa Amazone ZA-M ProfiS 1500 -keskipaikoislevittimellä, joka oli varustettu 10 – 16 metrin työleveydelle tarkoitetuilla OM 10-16 levityslautasilla. Niitä on saatavilla selvästi suuremmalle työleveydelle, mutta lannoitepellettien levitysmäärä, tyypillisesti 800 kg ha⁻¹ eli 1200 l ha⁻¹, on niin suuri suhteessa tavanomaisten rakeisten mineraalilannoitteiden levitysmäärää, 300 – 400 kg ha⁻¹ ja 330 – 440 l ha⁻¹ pienen ravinnepitoisuuden ja irtotiheyden takia, että suuremman työleveyden käyttö ei ole perusteltua. Käytännön levityksessä säätöluukut ovat lähes kokonaan auki, ja ajonopeus on korkeintaan levitysmäärän sallima. Ko. levittimessä levityskuviota säädetään säätämällä levityslautasten pitkien ja lyhyiden siipien asentokulmaa suhteessa levityslautasen säteeseen. Pitkät siivet levittävät kauas sivuille ja taakse, lyhyet siivet keskialueelle. Toisissa keskipaikoislevittimissä levityskuvion säätö voi perustua esim. lannoitteen pudotuskohtaa lautasella ja siipien pituuteen. Tällä voi olla merkittävästi vaikutusta levityskuvion muodostumiseen.

Levityskuvio määritettiin kolmelle lannoitepelletille (Yara Suna kesäkuun lopussa ja Øgro ja Fertikal elokuun puolessa välissä) hyödyntäen standardin EN-13739 mukaisia keräyskaukaloita (0,5 m x 0,5 m). Lautasten siivet säädettiin levitinvalmistajan Yara Suna -pelleteille ja 15 m:n teholliselle työleveydelle antaman ohjeen mukaiseksi (52/24). Kaukalot levitettiin neljään riviin. Jokaisessa rivissä astioiden väli oli 0,5 m ja peräkkäisissä riveissä lomittain, koska laatikoiden reunukset olisivat estäneet täsmällisen 0,5 metrin jakovälin samassa rivissä. Samalla kohdalla ajosuunnassa olevien kahden kaukalon sisällöt yhdistettiin, jolloin se vastasi 0,5 m² saamaa lannoitemäärää. Traktorin pyörien kohdalta kaukalot 4 kpl kummaltakin puolelta puuttuivat. Niiden levitysmäärät interpoloitiin. Øgroa ja Fertikalia levitettäessä siipikulmia muutettiin alkuperäisesti, koska pitkät siivet pyrkivät levittämään Yara Sunaa liian kauas suhteessa lyhyisiin siipiin, jolloin levityskuvioon muodostui olakkeet noin 5 metrin etäisyydelle ajolinjasta (Kuva 2).

Levityskuvion mittaus on varsin hidasta. Käytännössä työpäivässä pystyy tekemään kaksi mittausta kahden hengen voimin. Kullekin pelletille siipien säädöt pitäisi optimoida mitatun toteutuneen levityskuvion perusteella. Käytännön toiminnassa edellä kuvatun menettelyn mukainen mittaus olisi aivan liian työläs. Tähän on kuitenkin saatavilla yksinkertaistettuja menetelmiä. Yksinkertaisimmassa menetelmässä kerätään ajolinjalta ja kahden ajolinjan puolesta välistä kahteen keruuastiaan pelletit ja laitetaan kaksiosaisen suppilon eri puoliskoihin. Siipien asentoa säädetään suppilon puoliskoissa olevien pellettien korkeuseron perustella. Tässä menettelyssä ajolinjojen välissä olevat keruuastiat osuvat helposti virheellisen levityskuvion olakkeen kohdalle, mikä ei johda hyvään tuloksen. Kehittyneemmässä menetelmässä keruulinjoja on neljä, kaksi edellisten välissä tasavälein. Korjaustarve lasketaan ohjaimessa tai puhelimen applikaatiossa (MySpreader). Viimeisin ratkaisu perustuu keruumatoille kertyneen lannoitteen optiseen mittaukseen matkapuhelimen applikaatiolla (<https://amazone.net/en/products-digital-solutions/agricultural-technology/fertilising-technology/amazone-easycheck-digital-mobile-test-kit-for-the-simple-optimisation-of-lateral-distribution-1065386>).

Fertikal poikkesi kahdesta muusta siten, että siinä oli huomattava määrä pitkiä pellettejä (Taulukko 1). Pitkät pelletit aiheuttavat holvaantumista pienenäkin osana pellettejä vähentävät pellettien juoksevuutta sekä muuttavat levityskuviota optimaalisesta poikkeavaksi. Levityskuvion keskiosa oli huipukas, jonka kummallakin puolella oli tasainen levitysmäärä. Reunoilla levityskuvio oli samanlainen kuin kahden muun pelletin, joiden levityskuvio oli lähellä optimaalista. Pienikin poikkeama optimaalisesta heikentää levitystasaisuutta oleellisesti. Mittauksia tehtäessä vallitsi voimakas sivutuuli, joka kuljetti erityisesti pitkien siipien heittämiä pellettejä ajosuunnassa oikealle. Tuulen aiheuttamaa poikkeamaa levityskuvioissa ei voi kompensoida ajamalla aina samaan suuntaan, koska tuulen erilainen

vaikutus eri mittaisten siipien heittämiin pelleihin on erilainen tuottaen epäsymmetrisen levityskuvion. Levitystä kovassa erityisesti sivutuulella pitää välttää.

Lannoitepellettien ominaisuuksien vaikutus niiden levitettävyyteen kylvölannoittimella

Effect of the properties of fertilizer pellets on their suitability to be spread with combi-drill

Petri Kapuinen¹⁾ & Ari-Matti Seppänen²⁾

¹⁾ Luonnonvarakeskus, Itäinen Pitkätatu 4, 20520 Turku, petri.kapuinen@luke.fi

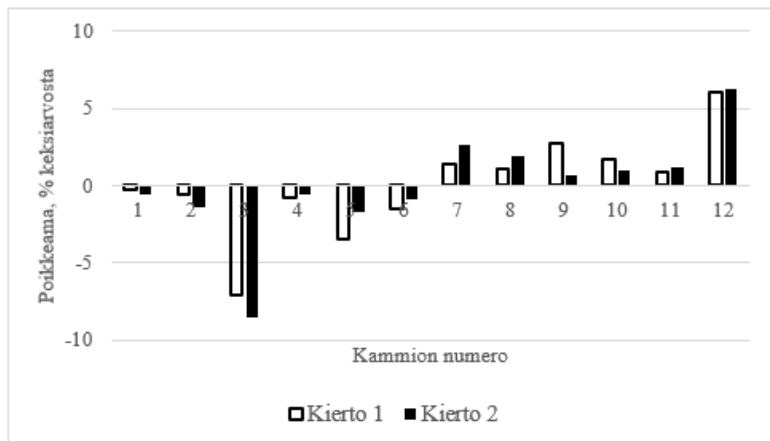
²⁾ Luonnonvarakeskus, Latokartanonkaari 9 00790 Helsinki, ari-matti.seppanen@luke.fi

Kylvölannoittimissa ja vastaavissa lannoitepellettien pieni irtotilavuuspaino suhteessa mineraalilannoiterakeiden vastaavaan johtaa oletusarvoisesti vastaavasti pienempiin levitysmääriin, koska syöttökammiot periaatteessa syöttävät litroja eikä kiloja. Levitysmäärän kasvattaminen välityksiä muuttamalla ei välttämättä onnistu laskematta ajonopeutta vastaavasti, koska syöttöpyörien pyörimisnopeuden kasvattaminen johtaa helposti siihen, että niiden rihlojen välit eivät täyty keskipakoisvoimien kasvun takia ja samalla pellettien ja rakeiden jauhaantuminen lisääntyy. Ajonopeuden alentamisen takia taasen työsaavutus vähenee vastaavasti, mikä lisää kustannuksia ja vähentää kierrätyslannoitepellettien käytön kannattavuutta. Lannoitepellettien ravinnesuhteet eivät välttämättä vastaa kasvien tarpeita, mikä voi johtaa tarpeeseen käyttää myös toista lannoitetta jopa eri levityskertana, mikä lisää kustannuksia ja vähentää kannattavuutta edelleen.

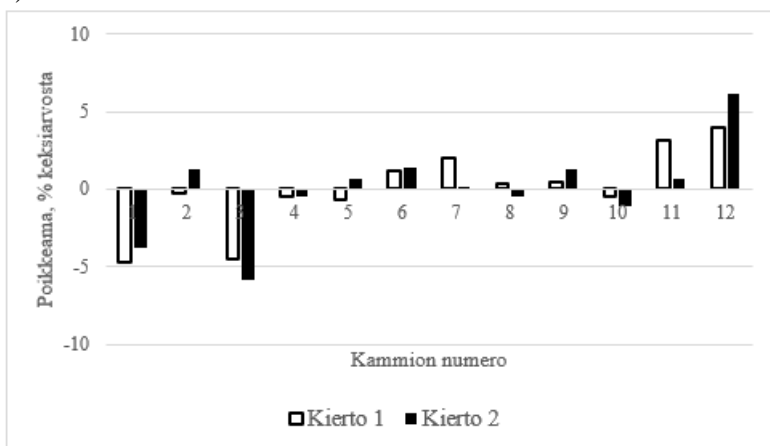
Pellettien ominaisuuksien vaikutusta niin käyttäytymiseen tutkittiin Ravinteet rakeiseksi -hankkeessa 1,5 metriä leveällä koeruutusorakylvökoneella, joka oli koottu pääasiassa Tume NovaCombin osista ja vastasi sitä oleellisilta osin sen rakennetta ja toimintaa. Suurimmat mahdolliset eri pellettien levitysmäärät vakiovälityksillä ja pohjaluukkujen asennolla 2 ja olivat: Yara Suna 317 kg ha⁻¹ tai 453 l ha⁻¹, Øgro 296 kg ha⁻¹ tai 441 l ha⁻¹, Fertikal 264 kg ha⁻¹ tai 371 l ha⁻¹, Fertilex 263 kg ha⁻¹ tai 324 l ha⁻¹ ja Ranu 441 kg ha⁻¹ tai 492 l ha⁻¹. Pohjaluukun asento 2 on ohje lannoiterakeille, ja suurempi asetusrvo saattaisi sopia paremmin erityisesti isokokoisille pelleteille, kuten Ranulle (kts. [1]), vaikka sen koko ei aiheuttanut ongelmia asennossa 2:kaan. Kiertokokeissa toistettavuus samalla pelletillä oli hyvä. Tavanomaisen rakeisen mineraalilannoite rakeen Befert NPKS 27-3-5-2,5 syöttömäärä samoilla asetuksilla oli 461 kg ha⁻¹ eli 124 kg N ha⁻¹, 13,8 kg P ha⁻¹, 23 kg K ha⁻¹ ja 12 kg S ha⁻¹, mikä on varsin sopiva esimerkiksi kevätvehnälle mutta ei mahdollista suurimpia mahdollisia typpitasoja. Pelleteistä tuleva typpiannos jäi pieneksi ottaen huomioon se, että suurin osa siitä on orgaanista. Øgrossä ei ollut fosforia lainkaan. Kananlantapohjaisten Fertikalin ja Fertilexin mukana tullut fosforiannos 2,6 - 4,6 kg ha⁻¹ oli selvästi pienempi kuin Yara Sunan ja Ranun 12,7 - 13,2 kg ha⁻¹ mukana tullut. Ne olivat samaa tasoa mineraalilannoitteen mukana tulleen kanssa. Fosforin käyttökelpoisuus saattoi kuitenkin erota mineraalisen lannoitteen vastaavasta huomattavasti.

Vaikka levitysmäärien 1 ha⁻¹ irtotilavuutena pitäisi olla periaatteessa yhtä suuret, näin ei ollut. Suuret levitysmäärät, 1 ha⁻¹, saavutettiin pelleteillä, joiden irtotilavuuspainot olivat tutkitun joukon toisaalta pienimpiä ja toisaalta suurin, joten pellettien levitysmäärä samoilla säädöillä selittyy jollakin aivan eri ominaisuudella kuin irtotilavuuspainolla. Mikään mukaan pellettien ominaisuuksia kuvaava määritetty suure (kts. [1]) ei vaikuta selittävän erilaisia syöttömääriä samoilla asetuksilla, mikä tarkoittaa sitä, että levitysmäärää suhteessa tavanomaisiin rakeisiin mineraalilannoitteisiin ei voida näiden tulosten perusteella ilman kiertokoetta ao. materiaalilla. Kananlantapohjaisten pellettien suurin syöttömäärä jäi kuitenkin pieneksi suuresta tilavuuspainosta huolimatta.

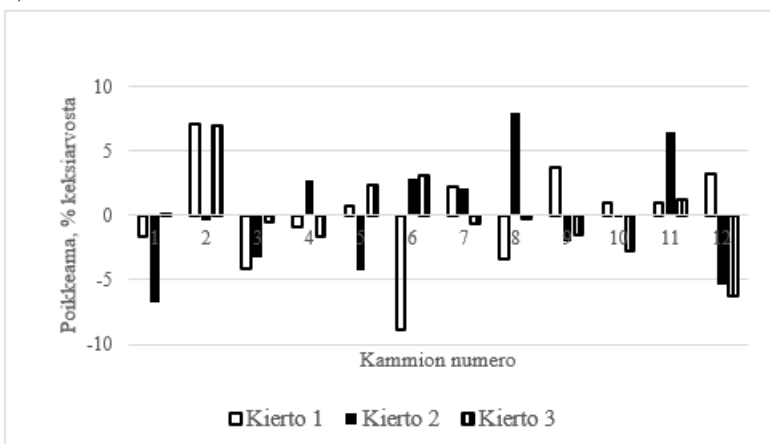
Pellettien pituuden vaihtelu aiheuttaa levitystasaisuuden vaihtelua myös kylvölannoittimissa, vaikka vaikutukset levitystasaisuuteen eivät ole yhtä radikaaleja kuin keskipakoislevittimissä. Syöttömäärän vaihtelu yksittäisessä kammiossa ja eri kammioiden välillä lisääntyy pellettien pituusvaihtelun myötä (Kuva 1), jolloin levitysmäärän vaihtelu lisääntyy ajosuunnassa ja sen poikki. Tasakokoisen lannoitepelletin (Kuva 1b) syöttömäärä poikkeaa hyvin vähän kiertokokeiden välillä ja poikkeamat muistuttavat poikkeamia lannoiterakeilla (Kuva 1a). Syöttömäärissä saattaa olla eroa kammioiden välillä, mutta niiden perussäädön poikkeamisesta johtuvat erot toistuvat joka kiertokokeella. Pellettien pituuden kasvu ja sen suuri vaihtelua lisää syöttömäärän vaihtelua huomattavasti sekä kammioiden että kiertokokeiden välillä (Kuva 1c). Jauhoinen materiaali tai jauhaantuva materiaali kulkee läpi syöttökammion ja edelleen lannoiteputken ja vantaan kautta maahan eikä kulkeudu tuulen mukana. Tuulella yleensäkin ottaen ei ole vaikutusta levitystasaisuuteen kylvölannoittimissa.



a)



b)



c)

Kuva 1. Syöttömäärien poikkeamat syöttökammioiden ja kiertokokeiden välillä a) Befert-rakeilla, b) Øgro-pelleteillä ja c) Ranu-pelleteillä.

Kirjallisuus

[1] Kapuinen, P. & Seppänen, A.-M., 2025. Lannoitepellettien ominaisuuksien vaikutus niiden levitettävyyteen keskipakoislevitimellä. Tämä julkaisu.

Tuotteistettujen kasvualustojen biologinen monimuotoisuus

Biological diversity of commercial growth media

Outi Tahvonen¹, Outi-Maaria Sietiö¹ ja Janne Salminen¹

¹ Hamk BIO, Hämeen ammattikorkeakoulu

Johdanto

Tuotteistetut kasvualustat ovat suomalaisen viheralan toteutusketjussa eräs kaikkein keskeisimmistä materiaaleista. Kasvualustat ovat kemiallisilta ja fysikaalisilta ominaisuuksiltaan huolella määriteltyjä ja niiden ominaisuuksien vaatimuksia kehitetään jatkuvasti. Tuotteistamisen ja kehitystyön tavoitteina on ollut rakennetuilla viheralueilla varmistaa kasvien hyvä kasvu sekä minimoida rikkakasvien ilmaantuminen uusille istutusalueille. Rikkakasvien siementen, juurten palojen sekä muiden kasvun haitta-aineiden minimointi on kuitenkin samalla johtanut tuotteistettujen kasvualustojen biologisten ominaisuuksien yksipuolistumiseen eikä niissä ole tukeuduttu paikallisiin tai habitaattikohtaisiin mikrobilajistoon (Zhou et al., 2024).

Viherrakentamisen kasvualustatöiden jälkeen maan mikrobiologinen elämä ottaa kaupalliset kasvualustat vähin erin elinympäristökseen. Tiivistyvässä kaupunkirakenteessa rakennetaan maavaraisten kasvillisuusalueiden lisäksi katoille ja seinille, jolloin kasvualustalla ei ole lainkaan yhteyttä pohjamaahan. Näiden rajattuihin kasvualustoihin perustuviin istutusalueisiin kohdistuu samat monimuotoisuuden tukemisen vaateet kuin muihinkin rakennetun ympäristön kasvillisuusalueisiin, mutta tuotteistettujen kasvualustojen monimuotoisuuden tutkimustieto on vielä vähäistä.

Vertailemme laboratorio-olosuhteissa erilaisten tuotteistettujen kasvualustojen vaikutuksia mikrobiyhteisöjen rakenteeseen: lajiston runsauteen, mikrobien aktiivisuuteen ja biomassaan. Tulosten perusteella pystymme arvioimaan, miten eri kasvualustat tukevat maaperäeliöiden diversiteetin kehittymistä rakennetussa ympäristössä. Lisäksi tulokset luovat pohjaa laajempaan tuotteistettujen kasvualustojen käytön muuttamiseen, sillä niiden valmistusprosessiin on käytännössä suhteellisen helppoa lisätä ainesosia, joilla voidaan monipuolistamaan tuotteistettujen kasvualustojen mikrobiyhteisöjä ja siten tukea rakennetun kasvuyhteisön kehittymistä luonnon monimuotoisuutta tukevaan suuntaan (Jansson et al., 2023).

Aineisto ja menetelmät

Laboratiovertailussa oli mukana neljä kasvualustatyyppeä: 1) tavanomainen ja laajasti saatavilla oleva Kekkilän Istutusmulta PLUS, 2) Kekkilän Maksaruohokattomulta PLUS, 3) hyvä puutarhamaa vakiintuneelta ja puutarhahoidetulta piha-alueelta sekä 4) puhdistettu hyvä puutarhamaa (autoklavoitu kontrolli). Kaikkiin kasvualustoihin ympäritiin kokeen alussa elävän maan mikrobistoa ja sen yhteisörakenteen kehittymistä hoidetaan kahden kuukauden ajan. Tutkimuksessa tehtiin alku- ja lopputilanteessa kasvualustan kemialliset ja fysikaaliset perusmittaukset, seurattiin mikrobiyhteisön kehittymistä ja sukkulamatojen määrää sekä tehdään kasvatusajalta hiilidioksidimittauksia.

Tulokset ja tarkastelu

Alustavien tulosten mukaan vertailussa olleet tuotteistetut kasvualustat ovat fysikaalisilta ja kemiallisilta ominaisuuksiltaan selkeästi ja luotettavasti kuvattu viherrakentamisen ohjeistuksessa ja rakentamiskäytännöissä yleisesti käytetyssä muodossa. Lähtöoletuksen mukaisesti ne ovat biologisilta ominaisuuksiltaan suhteellisen köyhiä. Vertailun perusteella ne tarjoavat kuitenkin toimivan lähtökohdan mikrobiyhteisön kehittymiseen, ja sen tukemisesta voitaisiin jatkossa hyvin tehdä jo kasvualustavalmistajien toimesta.

Kirjallisuus

Jansson, J., McClure, R., Egbert, R. 2023. Soil microbiome engineering for sustainability in changing environment. *Nature Biotechnology*, <https://doi.org/10.1038/s41587-023-01932-3>

Zhou, Y., Liu, D., Li, F., Dong, Y., Jin, Z., Liao, Y., Li, X., Peng, S., Delgado-Baquerizo, M., Li, X. 2024. Superiority of native soil core microbiomes in supporting plant growth. *Nature Communications*, <https://doi.org/10.1038/s41467-024-50685-3>

Maanparannusaineiden rinnakkaiskäyttö Savijoen valuma-alueella

The use of soil improvers in the Savijoki catchment area

Jaana Uusi-Kämpä¹, Eerika Albrecht², Jenna Bergholm³, Petri Ekholm², Jari Hyväluoma¹, Tuomas Kahma², Riikka Keskinen¹, Maria Kämäri², Elina Nurmi¹, Juuso Pelkonen², Karoliina Rimhanen¹, Helena Soinne¹, Risto Uusitalo¹, Pasi Valkama² & Juho Valtiala¹

¹ Luonnonvarakeskus, Tietotie 4, 31600 Jokioinen

² Suomen ympäristökeskus, Latokartanonkaari 11, 00790 Helsinki

³ Varsinais-Suomen ELY-keskus, PL 236, 20101 Turku

Maanparannusaineet

Maanparannusaineen (kipsi, rakennekalkki tai maanparannuskuitu) levittäminen pellolle parantaa savi- ja kivennäismaan rakennetta sekä vähentää pellolta vesiin päätyvää ravinne- ja kiintoainekuormaa. Aikaisemmissa tutkimuksissa on seurattu kipsin, rakennekalkin tai maanparannuskuidun vaikutuksia, kutakin eri kohteessa, mutta Varsinais-Suomessa vuonna 2023 alkaneessa hankkeessa Maanparannusaineiden yhteiskäytön mahdollisuudet – kiertotaloutta ja maanhoitoa (AIN3) tutkitaan kolmen maanparannusaineen rinnakkaiskäyttöä samalla valuma-alueella vuosina 2023–2025 [1].

Savijoen valuma-alue ja vedenlaadun tarkkailu

Koealueeksi valikoitui Savijoen valuma-alue, jossa aiemmin on tutkittu pellolle levitetyn kipsin vaikutuksia TEHO- ja SAVE-hankkeissa [2]. Savijoen keskiosassa (1770 hehtaaria) levitettiin elo-syyskuussa 2024 Siilinjärven kipsiä 75 peltohehtaarille, Soilfoodin rakennekalkkia 163 hehtaarille ja ravinnekuitua 185 hehtaarille. Levitetyt aineet olivat teollisuuden sivuvirroista valmistettuja tai kierrätystuotteita. Ravinnekuitu oli hygienisoitu joko kompostoimalla tai kalkkistabiloimalla. Levitysala vastasi 48 % alueen koko peltoalasta (880 ha). Käsitellyt pellot muokattiin (10–12 cm) vuorokauden sisällä levityksestä lautasmuokkaimella (Horsch Terrano MT4), jossa kultivaattori oli keskellä ja lautaset sekä edessä että takana.

Vedenlaatumittauksista vastaa Varsinais-Suomen ELY-keskuksen koordinoima Saaristomeren alueen KIPSI-hanke, ja vesitulosten tulkinnasta Suomen ympäristökeskus. Savijoesta otetaan vesinäytteitä ja vedenlaatua seurataan myös jatkuvatoimisilla antureilla yläjuoksun vertailualueella ja koealueen alapuolella.

Miten maanparannusaineet toimivat?

Kipsin ja rakennekalkin kalsiumionit muodostavat siltoja maapartikkelien välille ja edistävät siten murujen muodostumista. Kipsin sisältämät kalsium- ja sulfaatti-ionit sekä rakennekalkki myös kasvattavat maanesteen ionivahvuutta, jolloin maahiukkasia ympäröivä vesikehä ohenee ja hiukkaset pääsevät lähemmäksi toisiaan muodostaen isompia muruja. Maanparannuskuidun toiminta perustuu kuidun sisältämään suureen hiilimäärään ja sitä hyödyntäviin mikrobeihin. Kuitua hajottaessa mikrobit erittävät liima-aineita, jotka maahan muodostuvan sienirihmaston kanssa parantavat murujen kestävyyttä [3].

Maanparannusaineiden valintatyökalu ja kriteerit

Syksyllä 2023 koealueen pelloilta otettiin viljavuus- ja murunäytteet 100–200 metriä pitkiltä näyteenottolinjoilta. Näytteistä määritettiin lajitekoostumus, pää- ja hivenravinteiden pitoisuudet, pH, johtoluku, orgaanisen hiilen pitoisuus sekä saveksen ja hiilen suhde. Analyysitulosten perusteella arvioitiin, mikä maanparannusaine on paras, toiseksi ja

kolmanneksi paras valinta kullekin lohkolle. Muruanalyysin tuloksia ja RUSLE-mallia hyödyntämällä selvitettiin, millä lohkoilla on suurin riski kiintoainekuormitukselle. Syksyllä 2024 maanparannusaineiden levitykseen valittiin oletettavasti kuormittavimmat lohkot. Yksityiskohtaiset kriteerit ja niihin perustuva valintatyökalu julkistetaan vuonna 2025.

Maanparannusaineiden ruutukokeet

Maanparannusaineiden vaikutuksia maan rakenteeseen ja satoon seurataan valuma-alueella tarkemmin 9 peltolohkolle perustetuilla ruutukokeilla. Kullakin lohkolle on 4 ruutua (3 m x 3 m). Yhteensä ruutuun lisättiin ravinnekuitua, toiseen rakennekalkkia ja kolmanteen kipsiä, neljännen ruudun ollessa vertailualue.

Muut seurannat

Viljelijöiden ainevalintoihin vaikuttavia tekijöitä selvitettiin haastatteluissa syksyllä 2023. Levitysten jälkeen seuranta toistetaan samoilla tiloilla. Lisäksi haastateltiin alueen viittä neuvojaa. Haastattelujen pohjalta tehtiin nettikysely, johon kaikilla neuvojilla Suomen laajuisesti oli mahdollisuus vastata. Haastatteluista ja kyselyistä ilmeni, että tietoa maanparannusaineista tarvitaan lisää. Myös tutkimustietoa maaperä- ja satovaikutuksista tarvitaan.

Helsingin yliopisto selvittää maanparannusaineiden kustannusvaikuttavuutta, mukaan lukien ilmastovaikutukset. AIN3 tuottaa myös käytännöllistä tietoa politiikan suunnittelun tueksi mm. maanparannusaineiden käytön ongelmakohtia tunnistamalla.

Lopuksi

Hankkeen alkaessa havaittiin, että varsinkin rakennekalkki ja ravinnekuitu sekä niiden käyttötavat ovat vielä monelle neuvojalle ja viljelijälle melko tuntemattomia. Lisää tietoa tarvitaan muun muassa siitä, miten viljelykierrossa kannattaa valmistautua maanparannusaineen levitykseen. Levityksen jälkeen viljelyssä tulee toteuttaa viljelytoimenpiteitä, jotka ylläpitävät hyvää maanrakennetta ja vedenlaatua.

Kiitokset

Kiitos hankkeessa mukana oleville viljelijöille. AIN3 tekee yhteistyötä KIPSI-hankkeen kanssa. Ympäristöministeriö on avustanut hanketta 1,5 miljoonalla eurolla Ahti-ohjelmasta.

Kirjallisuus

[1] Luke 2023. *Maanparannusaineiden yhteiskäytön mahdollisuudet – kiertotaloutta ja maanhoitoa (AIN3)*. www.luke.fi/fi/projektit/ain3

[2] Ekholm, P., Ollikainen, M., Ala-Harja, V., Begum, K., Huttunen, M., Järvenranta, K., Kiirikki, M., Kuosa, H., Lötjönen, S., Riihimäki, J., Taskinen, A., Tikkanen, T. & Yli-Halla, M. 2022. *Peltojen kipsikäsittely fosforikuormituksen hallinnassa*. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 32/2022. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-5506-2>

[3] Ajosenpää, T., Anttila, L., Ekholm, P.,... Uusi-Kämppe, J. & Uusitalo, R. 2021. *Kipsi, kuitu ja rakennekalkki – opas viljelijöille*. ProAgrian hankejulkaisut 10. <https://www.proagria.fi/hankkeet/kipsikuiturakennekalkki>

Maanalaisen happikonsentraation monitorointi avaa ennennäkemättömiä mahdollisuuksia

Monitoring Underground Oxygen Concentration Opens Up Unprecedented Possibilities

Tieteellinen johtaja MMT, dos. Johannes Tiusanen¹

¹ Soil Scout OY, Vetokuja 4, 01610 Helsinki, johannes.tiusanen@soilscout.com

Kasvien juuret ottavat respiraatioon tarvittavan hapen maalaisten huokosten atmosfääristä. Happikonsentraatio terveessä viljelymaassa on tyypillisesti 15-18%, hyvin harvoin lähellä ilmakehän 21%:a. Maan ilma, jonka happea juuriston elintoiminnot kuluttavat, hapettuu hitaasti passiivisen kaasunvaihdon myötä. Tämä elintärkeä ventilaatio voi häiriintyä monen eri mekanismin seurauksena, aiheuttaen lyhyt- tai pitkäkestoisia, lieviä tai vakavia hapenpuutostiloja (hypoksia), jolloin kasvien elintoiminnot häiriintyvät tai estyvät kokonaan.

Soil Scout on patentoinut ja julkaissut maailman ensimmäisen jatkuvatoimisen maanalaisen happikonsentraatioanturin Happi100, joka on yrityksen strategian mukaisesti kokonaan haudattava, langaton ja monivuotisesti huoltovapaa. Tässä esitelmässä tehdään lyhyt kirjallisuuskatsaus siitä, mitä maaperän hypoksiasta jo tiedetään, sekä esitellään yllättäviä ja mielenkiintoisia mittausarjoja, joita on saatu 18 kk:n koekäyttöjakson aikana Saksasta, Yhdysvalloista, Latviasta ja Suomesta.

Kirjallisuuskatsaus viljelymaan happikonsentraatiosta

Costello *et al.* [1] osoittivat juuristokehityksen riippuvuuden maaperän happitasosta, juurten kasvun estyessä kokonaan alle 10 %:n pitoisuudessa. Tämä korostaa riittävän hapen saannin kriittistä roolia juurien kehityksen ja yleisen kasvien terveyden tukemisessa. Stepniewskin [2] kasvihuonekokeet osoittivat että happitason laskiessa syysrukiin satotaso laski merkittävästi, jopa 30-50 %:iin kontrolliin verrattuna. Varhainen maaperän hypoksian alkaminen johti olkien painon laskuun, mikä korosti haitallista vaikutusta sadon tuottavuuteen. Friedman & Naftaliev [3] havaitsivat hedelmätarhamaissa että aktiivisilla juurisyvyyksillä happitasot ylittivät tyypillisesti 15 %, vaikkakin ne laskivat syvyyden myötä. Ben-Noah *et al.* [4] havaitsi, että vaikka hypoksian pysäytti banaanin juuristokehityksen, pikainen uudelleenilmastus palautti juuren kasvunopeuden osittain. Pitkään jatkunut hypoksia johti peruuttamattomiin vaurioihin. Yalinin *et al.* [5] havaitsivat korrelaation avokadon satotason ja kasveille haitalliseksi katsotun alle 10 %:n happikonsentraation keston välillä.

Yhteenvedona, maan atmosfäärin happikonsentraation tulisi pysyä yli 14 %:ssa. Alle 14 % on lievä hypoksia, jota tulisi välttää, alle 12 % on merkittävä elintoimintoja rajoittava hypoksia ja 10 % on vakava hypoksia, joka voi vaurioittaa juuria peruuttamattomasti.

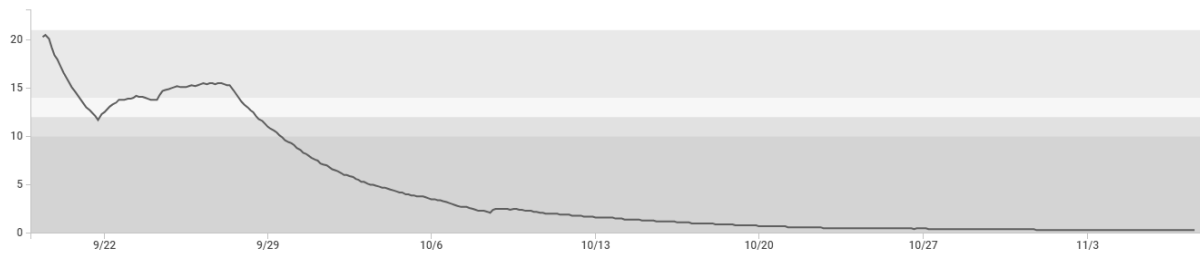
Kasvien juuret selviävät 4 tunnin hypoksiasta, kun taas toipuminen 8 tunnin jälkeen muuttuu epävarmaksi. Joillakin kasvilajeilla on poikkeuksellinen hypoksian sietokyky.

Soil Scoutin uusi anturi Happi100

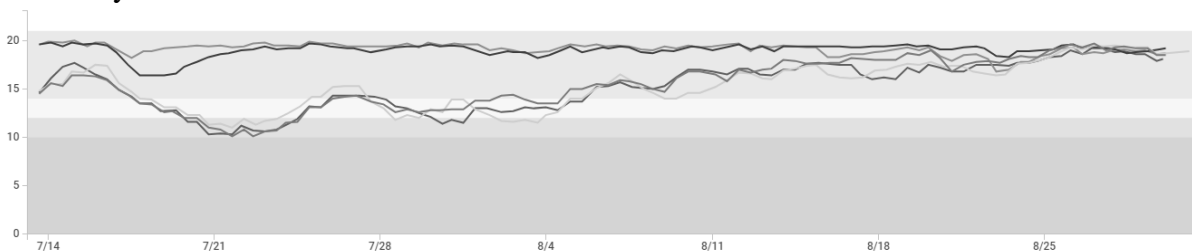
Soil Scout on kehittänyt langattoman, maanalaisen ja pitkäkestoisen anturin Happi100, joka mittaa maanalaisen atmosfäärin happikonsentraatiota, kosteutta ja lämpötilaa samasta mittauspisteestä ja integroituu Soil Scoutin olemassa olevaan tiedonsiirtojärjestelmään.

Anturia on koekäytetty eri kohteissa 18 kk ajan ennen tuotejulkistusta. Suullisessa esityksessä esitellään yksityiskohtaisesti kohteista mitattuja mielenkiintoisia kuvaajia, jotka avaavat uuden näkökulman viljelymaan terveyteen ja kasvuolosuhteisiin.

Sadonkorjuun jälkeen kuminaa kasvavan savimaahan kyntökerroksen alle asennetun anturin happitila alkoi luonnottoman korkeana maan mekaanisen häiritsemisen seurauksena, jonka jälkeen aerobiset mikrobit nopeasti kuluttivat hapen ja menehtyivät, jonka jälkeen happitila lähti nousuun. Nousu kuitenkin katkesi sateen aiheuttamaan pintamaan liettymiseen ja maa muuttui elinkelvottomaksi 2 vrk:ssa.



Golfkentällä Saksassa saman viheriön korkeaan ja matalaan osaan sijoitetut anturit osoittivat, että rankkasateen jälkeen osa palautuu optimaaliselle happitasolle muutamassa tunnissa, kun taas huonompirakenteisten osien palautuminen voi kestää jopa viikon. Erityisen mielenkiintoista on havaita, miten happikonsentraatio alenee valoisan ajan kasvin elintoimintojen seurauksena, ja palautuu hyvissä kohdissa mutta pysyy vakiona huonoissa kohdissa yön aikana.



Anturit latvialaisella karpalosuolla osoittavat, miten syksyllä edennyt vettyminen häiritsee kaasunvaihtoa estäen sen lopulta kokonaan kun pohjaveden pinta saavuttaa mittaussyvyuden.

Happi100-anturia käytetään myös juuri käynnistyneessä kokeessa, jossa lisätään nanokuplien avulla hapetettua ja hapettamatonta vettä kasvatusturpeeseen sen selvittämiseksi, pystyykö hapetettu vesi kohottamaan turpeen huokosten happikonsentraatiota. Nämä alustavat testitulokset valmistuvat vuoden 2024 aikana ja niitä esitellään suullisessa esityksessä.

Kirjallisuus

- [1] Costello *et al.* 1991. Soil Aeration and Tree Health: Correlating Soil Oxygen Measurements With the Decline of Established Oaks. *USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-126*.
- [2] Stepniewski *et al.* 1992. The influence of soil oxygen availability on yield and nutrient uptake (P, K, Ca, Mg, Na) by winter rye. *Plant and Soil* 143: 267-274.
- [3] Friedman & Naftaliev. 2012. A survey of the aeration status of drip-irrigated orchards. *Agricultural Water Management* 15: 132-147.
- [4] Ben-Noah *et al.* 2018. Review and Evaluation of Root Respiration and of Natural and Agricultural Processes of Soil Aeration. *Vadose Zone Journal* 17(1):1-47.
- [5] Yalin *et al.* 2021. Soil oxygen and water dynamics underlying hypoxic conditions in the root-zone of avocado irrigated with treated wastewater in clay soil. *Soil and Tillage Research* 212.

Peltojen fosforitila ja jokivesien fosforipitoisuus

Field phosphorus status and river water phosphorus concentration

Katri Rankinen¹ & Johanna Laakso²

¹ Suomen ympäristökeskus, Latokartanonkaari 11, 00790 Helsinki

² Luonnonvarakeskus, Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki

Johdanto

Suomalaisten peltojen fosforitila erityisesti intensiivisen kotieläintuotannon alueilla on korkeampi kuin hyvän peltomaan fosforipitoisuuden tarvitsisi olla, jotta viljelykasvit saisivat riittävästi ravinnetta kasvuun. Fosfori huuhtoutuu vesistöihin ja aiheuttaa niiden rehevöitymistä. Vuonna 2023 tuli voimaan Valtioneuvoston asetus fosforia sisältävien lannoitevalmisteiden ja lannan käytöstä [1]. Asetuksessa annetaan fosforilannoituksen enimmäismäärät kasvin, satotason ja maan viljavuusluokan perusteella. Korkeampia fosforimääriä saa käyttää viljavuusluokissa 4 ja 5 silloin, kun fosforilannoituksessa käytetään pelkästään kotieläinten lantaa.

Aineisto ja menetelmät

Tässä työssä arvioitiin fosforiasetuksen vaikutuksia peltojen fosforitilan ja jokiveden fosforipitoisuuden kehitykseen tyypillisellä karjatalousvaltaisella Saaristomereen laskevalla valuma-alueella. Arviointi tehtiin INCA (Integrated Nutrients in CATCHments) mallilla, jonka voi määrittellä termeillä dynaaminen, prosessipohjainen ja osittain hajautettu. Mallilla laskettiin neljä eri vaihtoehtoa:

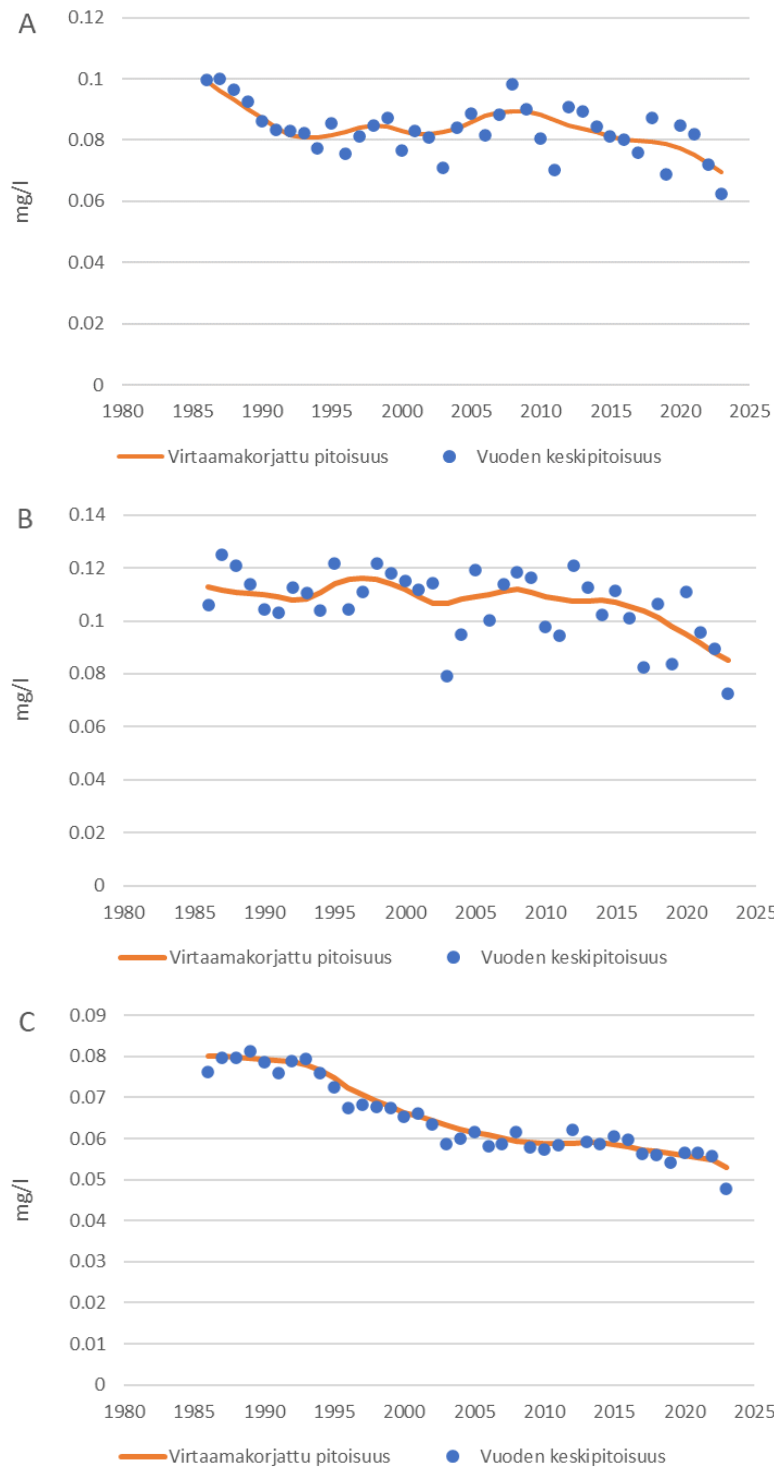
- Fosforiasetuksen perustilanne
- Fosforiasetuksen lantapoikkeus eläintiloilla
- Kaikki alueella syntyvä lantafosfori levitetään alueen eläintilojen pelloille
- Peltoja lannoitetaan ainoastaan kasvien tarpeen mukaisesti [2]

Tulokset

Maan fosforitila laskee perustilanteen mukaisella lannoituksella. Lantapoikkeuksen mukainen lannoitus aiheuttaa tietyissä tilanteissa selvän riskin fosforitilan nousulle, tai ainakin sen pysymiselle vakiona. Lannoitustaso heijastuu selkeästi lohkon liukoisen fosforin ominaiskuormituslukuun. Näin karjatalousvaltaisella alueella vaikutus näkyy myös kokonaisfosforin ominaiskuormituksessa, vaikka alueella ei ole oletettu eroosiota vähentäviä toimenpiteitä.

Jokiveden laadun muutosten havainnollistamista vaikeuttaa se, että vaikutukset ovat hitaita ja tulos näkyy vasta pitkän ajan jälkeen. Lannan käyttö näkyy erityisesti korkeissa fosforipitoisuuksissa. Kumulatiivinen vaikutus on kuitenkin selvä. 20 vuoden aikana lantapoikkeuksen mukainen lannoitus lisäisi fosforikuormitusta noin 1000 kg vuodessa.

Jokien fosforipitoisuudet ovat kääntyneet laskuun jopa Saaristomeren alueella (Kuva 1). Fosforiasetus vähentää omalta osaltaan fosforin kulkeutumista Saaristomereen, mutta lantapoikkeus hidastaa hyvää kehitystä tai saattaa jopa vaarantaa sen. Kaiken alueella syntyvän lantafosforin levittäminen alueen pelloille kääntäisi nykyisen hyvän kehityksen huonoksi.



Kuva 1. Jokivesien fosforipitoisuuden keskiarvon kehitys Suomessa. A. Suomenlahteen laskevat joet, B. Saaristo- ja Selkämereen laskevat joet, C. Pohjanlahteen laskevat joet

Kiitos: SikaSimu (Maa- ja metsätalousministeriö) ja Nordbalt Ecosafe (EU Horizon)

Kirjallisuus

- [1] Valtioneuvoston asetus fosforia sisältävien... 64/2023 - Säädökset alkuperäisinä - FINLEX®
- [2] E Valkama, P Virkajärvi, R Uusitalo, K Ylivainio, E Turtola. 2016. Meta-analysis of grass ley response to phosphorus fertilization in Finland. Grass and Forage Science 71 (1), 36-53

Kestävä maankäyttö valuma-alueilla, joilla on happamia sulfaattimaita viljelykäytössä *Sustainable land use in catchments with acid sulfate soils*

Miriam Nystrand¹, Peter Österholm¹ & Casimir Näsi¹

¹ Åbo Akademi, Akademigatan 1, 20500 Åbo, contact person: miriam.nystrand@abo.fi

While being the most productive/expensive farmlands, sulfide-bearing soils that transform into acid sulfate soils (pH < 4) if disturbed (anthropogenic) are regarded as “the nastiest soils in the world” due to the severe environmental problems they cause on water courses. In Europe, Finland has the largest surface area of acid sulfate soils (10 000 km²; Edén et al. 2024) with a toxic metal discharge one magnitude higher than the entire Finnish industry (including mines) and serious negative effects on water ecology. This is the main reason why streams in Finland do not meet the requirements of the EU Water Framework Directive (WFD, 2000/60/EG). This will also be in conflict with the EU Nature Restoration Law (NRL).

The severe environmental problems associated with acid sulfate soils emerged half a century ago as a direct result of increased land use that expose sulfides to oxygen and enables leaching of the resulting sulfuric acid and acid soluble toxic metals to recipient streams. Since then, knowledge about these soils has gradually increased through various research efforts and activities. Despite these efforts, the problems persist largely due to conflicts of interests between land use and environmental protection.

The ultimate goal of this project is to decrease and prevent acid and toxic metal leakage from farmland acid sulfate soils in order to improve the water quality, enhanced biodiversity and ecosystem services within the Baltic Sea region. On a catchment scale we will study what drives the current and future acid and metal leaching from acid sulfate soils, as well as the risk of increased metal leaching due to ongoing large scale gypsum treatment of acid sulfate soils. We expect to produce new information that will contribute to the ongoing work on management strategies in Finland and Sweden, and to provide answers on what is possible in Sweden and Finland to achieve in a changing climate. Such questions are highly relevant in order to address the issue on: (1) why the countries have not yet met the requirements of the WFD and (2) what will be possible to achieve in a foreseeable future. The EU Nature Restoration Law (NRL) issued in June 2024 is another political incentive to find management solutions for acid sulfate soils.

This project is funded by Maa- ja vesitekniikan tuki ry and will be conducted between 1.12.2024 and 30.10.2026.

Kirjallisuus

[1] Edén, P., Boman, A., Mattbäck, M., Auri, J., Yli-Halla, M. and Österholm, P. 2024. Mapping, impacts, characterization and extent of acid sulfate soils in Finland. *Bulletin of the Geological Society of Finland* 95: 135 -160.

Maatalousmaan väliaikainen vedellä kyllästäminen muutti CO₂ vuon dynamiikkaa mutta ei kumulatiivisia päästöjä

Temporary soil waterlogging affected CO₂ flux dynamics but not cumulative emissions

Reija Kronberg^{1,2}, Sanna Kanerva¹, Markku Koskinen^{1,2}, Tatu Polvinen^{1,2}, Tuomas Mattila³, & Mari Pihlatie^{1,2}

¹University of Helsinki, Department of Agricultural Sciences, Unit of Environmental Soil Science, Viikinkaari 9, P.O. Box 56, FI-00014 Helsinki, reija.kronberg@helsinki.fi

²INAR/Agricultural Sciences, University of Helsinki, Viikinkaari 9, P.O. Box 56, FI-00014 Helsinki

³Finnish Environment Institute, Helsinki

Background

Increasingly variable rainfall patterns and mild winters may lead to more frequent and prolonged off-season soil waterlogging in northern latitudes. However, the effects of waterlogging on soil carbon (C) dynamics in mineral soils remain uncertain. Unlike in perennially waterlogged wetland soils where organic C (OC) typically accumulates as particulate organic matter (OM), the majority of OC in arable mineral soils is associated with soil minerals^{1,2}. Consequently, due to differing mechanisms of C stabilization in these two pools³, temporary waterlogging may enhance rather than suppress OM mineralization in mainly aerobic mineral soils⁴⁻⁶. In agricultural soils, overwintering cover crops used to improve soil quality and enhance C sequestration may further stimulate soil OM mineralization during waterlogging by offering microbes an additional substrate supply as root exudates.

Aim

We studied how temporary off-season soil waterlogging and overwintering cover crop affect carbon dioxide (CO₂) and methane (CH₄) fluxes, and dissolved C species dynamics in arable mineral soil profiles in boreal climate.

Methods

We conducted a 1.5-year soil monolith experiment using 32 cylindrical soil profiles (l=63 cm, d=15.2 cm) collected from two agricultural fields with contrasting texture (silty clay, sandy loam) in southern Finland. The experiment consisted of three simulated growing- and off-seasons. Conditions during growing season with barley (*Hordeum vulgare*) and undersown Tall Fescue (*Festuca arundinacea*) followed natural seasonal temperature fluctuations. During the off-seasons soil temperature was maintained at a range typical to boreal region in autumn and spring, and soil was saturated with water for ~50 days by excessive irrigation mimicking warmer and wetter winters. Monoliths where soil moisture was maintained at ~70 % field capacity served as controls. Soil temperature, moisture and redox potential were continuously monitored, and dissolved organic and inorganic C (DIC) concentrations in pore water were analyzed at three depths (10, 30 & 50 cm). CO₂ and CH₄ fluxes were measured weekly or bi-weekly with a dark manual chamber. Additionally, an empirical soil temperature and moisture dependency soil respiration model was fitted to the data to evaluate how accurately this simple model could simulate observed CO₂ flux dynamics during and after waterlogging.

Results

Soil waterlogging reduced immediate CO₂ fluxes but increased soil DIC content indicating an accumulation of respired CO₂ in the soil pore water. Accumulated CO₂ accounted for 6–29% of the total respired CO₂ calculated as the sum of accumulated DIC and cumulative CO₂ efflux during waterlogging. Drainage induced a rapid pulse in CO₂ flux in sandy loam and a more gradually increased CO₂ release in slowly drying silty clay. The increase in CO₂ fluxes after drainage roughly equaled that of the decrease during saturation and hence, waterlogging did not significantly alter cumulative CO₂ emissions from either soil. Cover crop increased the overall CO₂ fluxes, but it did not alter the soils' response to waterlogging.

Conclusions

Our results suggest that temporary soil waterlogging occurring outside growing seasons in boreal climate might not significantly impact total CO₂ emissions from arable mineral soils. However, our observations demonstrate that soil CO₂ efflux should not be considered equivalent to soil respiration as the two are decoupled in periodic waterlogging events. Thus, the changes in soil CO₂ storage during and after high soil moisture events should not be overlooked especially in short-term studies as neglecting these changes could lead to biased view of momentary soil respiration. Our findings support the idea that incorporating a storage flux term, as previously proposed by Hirsch et al.⁷ and Maier et al.⁸, could enhance the accuracy of simple empirical models.

Literature

- [1] Salonen, AR., de Goede, R., Creamer, R., Heinonsalo, J. & Soinne, H. 2024. Soil organic carbon fractions and storage potential in Finnish arable soils. *Eur. J. Soil Sci.* 75(4):e13527.
- [2] von Lützow, M., Kögel-Knabner, I., Ekschmitt, K., Flessa, H., Guggenberger, G., Matzner, E. & Marschner, B. 2007. SOM fractionation methods: Relevance to functional pools and to stabilization mechanisms. *Soil Biol. Biochem.* 39(9):2183–207.
- [3] Lavalley J.M., Soong J.L., Cotrufo M.F. 2020. Conceptualizing soil organic matter into particulate and mineral-associated forms to address global change in the 21st century. *Glob. Change Biol.* 26(1):261–73.
- [4] Huang, W., Wang, K., Ye, C., Hockaday, W.C., Wang, G. & Hall, S.J. 2021 High carbon losses from oxygen-limited soils challenge biogeochemical theory and model assumptions. *Glob. Change Biol.* 27(23):6166–80.
- [5] Huang, W. & Hall, S.J. 2017. Elevated moisture stimulates carbon loss from mineral soils by releasing protected organic matter. *Nat. Commun.* 8(1):1774.
- [6] Winkler, P, Kaiser, K, Jahn, R, Mikutta, R, Fiedler, S, Cerli, C, Kölbl, A, Schulz, S, Jankowska, A, Schloter, M, Müller-Niggemann, C, Schwark, L, Woche, SK, Kümmel, S, Utami, SR & Kalbitz, K. 2019 Tracing organic carbon and microbial community structure in mineralogically different soils exposed to redox fluctuations. *Biogeochemistry*. 2019 Mar 1;143(1):31–54.
- [7] Hirsch, AI, Trumbore, SE & Goulden, ML. 2004 The surface CO₂ gradient and pore-space storage flux in a high-porosity litter layer. *Tellus B. Chem. Phys Meteorol.* 2004 Jan 1;56(4):312–21.
- [8] Maier, M., Schack-Kirchner, H., Hildebrand, E.E. & Schindler D. 2011. Soil CO₂ efflux vs. soil respiration: Implications for flux models. *Agric For Meteorol.* 151(12):1723–30.

Herneen ja härkäpavun sato- ja esikasvivaikutukset N₂O-päästöihin hiuesavimaasta eri viljelykierroissa

The main- and pre-crop effects by faba bean and pea on N₂O emissions from a clay loam soil in different crop rotations

Simojoki A.^{1,2}, Koivula A.¹, Alitalo J.¹, Mäkelä P.¹ & Alakukku L.¹ & Stoddard F.L.¹

¹ Department of Agricultural Sciences, University of Helsinki, Finland.

² Email: asko.simojoki@helsinki.fi

Introduction

Biological nitrogen (N) fixation by legumes reduces the need for synthetic N fertilizers in agriculture and the greenhouse gas emissions from their production. Nevertheless, current research data on the greenhouse gas emissions from legume-supported crop rotations are scarce. Legumes may reduce greenhouse gas emissions from soil [1, 2] due to decreased N fertilization, but the accumulation of N-rich legume residues may increase the risk of denitrification in wet soils. The Leg4Life project [3] aimed to examine this risk in multi-year field experiments on legume-supported crop sequences with faba bean and pea in boreal conditions.

Methods

In 2020, two multi-year field experiments were set up in the fields of Haltiala farm, Helsinki, Finland, in order to study the greenhouse gas emissions from the crop rotations including faba bean (*Vicia faba* L.), pea (*Lathyrus oleraceus* Lam., aka *Pisum sativum* L.) and other Finnish food/feed and catch crops during growing seasons 2020-2024. Each field experiment had 10 different crop rotations as experimental treatments, set up in a randomized complete block design with four replicates. Plant growth was measured by biomass samplings at different growth stages and harvesting the mature grain yield. The N₂O emissions from soil were measured by closed dark chambers and GC analysis biweekly during the growing season, concurrently with the water content and mineral N content in topsoil. Rainfall, air temperature and the moisture and temperature of topsoil were monitored by data loggers. During the last year of field experiments in 2024, we investigated the pre-crop effects of different legume-supported cropping sequences on the plant growth and greenhouse gas emissions under unfertilized and N fertilized oats (*Avena sativa* L., 90 kg(N)/ha) compared with monocultures of legumes (faba bean and pea), N fertilized oats and unfertilized fallow.

Results and discussion

Crop yields, cumulative and yield-scaled N₂O emissions of pea during the last experimental year were of the same order of magnitude as those of monocultured and N-fertilized oats (control). In contrast, for faba bean, the yields tended to be lower and the yield-scaled N₂O emissions higher, even if the N₂O emissions were broadly similar to those of the control treatment. The mean cumulative N₂O-N emissions in experimental treatments ranged from 0.4 to 1.7 kg/ha, and the seed DM yield-scaled N₂O-N emissions were 0.3 – 1.3 g/kg. The seed N-yield scaled N₂O-N emissions of legumes (at 16 – 22 g/kg), were generally between those of unfertilized and N-fertilized monocultured oats (10 – 20 and 28 – 33 g/kg, respectively).

N fertilization increased the biomass yields and N₂O emissions, even if it did not significantly increase the seed yields. Legumes as pre-crops increased the biomass growth and N uptake of oats by 500–1100 kg/ha and 8–22 kg/ha, respectively. Pea as a pre-crop increased the N₂O emissions under both unfertilized and N-fertilized oats, whereas faba bean increased the

emissions only under N-fertilized oats. The legume precrop-induced N₂O-N emissions were moderate and in the range of 0.4–1.3 kg/ha.

Crop yields and N₂O emissions were generally low due to a very dry growing season. The volumetric moisture contents in topsoil (0–20 cm) were below 50% of plant-available water capacity already at the beginning of June and approached the permanent wilting point by the end of July. Yield-limiting dry conditions are known to cause low yield benefit of legumes in dry years [4]. Early summer drought contributed to decreased yields and pre-crop effects in these experiments in 2021 as well [5, 6]. The yield decreases should have increased the yield-scaled N₂O emissions, but these were not particularly high, as the concurrent decreases in the emissions counteracted the effect.

The N₂O emissions were numerically the largest from N-fertilized oat precropped with legumes. However, even if legumes as precrops slightly increased the N₂O emissions from soil, the total N₂O emissions or the yield-scaled emissions of N₂O from any given legume treatment, or oat treatments pre-cropped with faba bean or pea, were not significantly different from those in the monocultured, N-fertilized oats.

Conclusions

The N₂O emissions from soil under faba bean or pea were not greater than those from soil under N-fertilized oats, which agrees with our earlier results [7]. Moreover, the yield-scaled N₂O emissions from soil under faba bean and pea were moderately small even at the low yields achieved in a dry year. The results on legume precrop-induced N₂O emissions partly support earlier results that faba bean and pea as pre-crops in crop rotations do not cause large increases of N₂O emissions from soil.

Literature

- [1] Williams, M., Stout, J., Roth, B., Cass, S., Papa, V. & Rees, B. 2014. Environmental implications of legume cropping. *Legume Futures Report 3.7*. Available from www.legumefutures.de
- [2] Legume Futures 2014. *Legume-supported cropping systems for Europe. General project report*. Available at www.legumefutures.de
- [3] <https://www.leg4life.fi/en/project-info/>. SRC 2019, University of Helsinki/Pajari/327698.
- [4] Preissel, S., Reckling, M., Schläfke, N. & Zander, P. 2015. Magnitude and farm-economic value of grain legume pre-crop benefits in Europe: A review. *Field Crops Research* 175: 64–79. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2015.01.012>
- [5] Orjala, J. 2023. Herneen esikasvivaikutukset kauran ja rapsin kuiva-aine- ja typpisadon muodostukseen. Maisterintutkielma. Helsingin yliopisto, maataloustieteiden osasto. 63 s.
- [6] Vihanto, N. 2023. Härkäpavun (*Vicia faba* L.) esikasvivaikutus kauran (*Avena sativa* L.) kuiva-aine- ja typpisadon muodostukseen. Maisterintutkielma. Helsingin yliopisto, maataloustieteiden osasto. 46 s.
- [7] Härkönen, T. 2023. Herneen (*Lathyrus oleraceus* Lam.) vaikutus hiuesavimaan dityppioksidiemissioihin hernetä sisältävissä monivuotisissa viljelykierroissa 2020–2022. Maisterintutkielma. Helsingin yliopisto, maataloustieteiden osasto. 71 s.

Orgaanisten aineiden vaikutuksen N₂O-päästöihin: meta-analyysi

The effect of organic matter inputs on N₂O emissions: a meta-analysis

Elena Valkama¹, Domna Tzemi², Ulises Ramon Esparza-Robles³, Alina Syp⁴, Adam O'Toole⁵, Peter Maenhout⁶

¹Natural Resources Institute Finland (Luke), Itäinen Pitkätatu 4 A, 20520, Turku, Finland
elena.valkama@luke.fi

²Natural Resources Institute Finland (Luke), Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki, Finland
domna.tzemi@luke.fi

³Institute of Soil Research (IBF), University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna (BOKU), Peter-Jordan-Straße 82, 1190 Vienna, Austria ulises.esparza-robles@boku.ac.at

⁴Institute of Soil Science and Plant Cultivation - State Research Institute (IUNG), Department of Bioeconomy and System Analysis, Czartoryskich 8, 24-100 Puławy, Poland
asyp@iung.pulawy.pl

⁵Norwegian Institute of Bioeconomy Research (NIBIO), Department of Biogeochemistry and Soil Quality, Høyskoleveien 7, 1433, Ås, Norway adam.otoole@nibio.no

⁶Flanders Research Institute for Agriculture, Fisheries and Food (ILVO), Plant Sciences Unit, Burgemeester van Gansberghelaan 109, 9820 Merelbeke, Belgium
peter.maenhout@ilvo.vlaanderen.be

Introduction

Soil management strategies involving the application of organic matter (OM) inputs (crop residues, green and livestock manure, slurry, digestate, compost, and biochar) can increase soil carbon storage but simultaneously lead to an increase in non-CO₂ greenhouse gas (GHG) emissions such as N₂O. Although multiple meta-analyses have been conducted on the topic of OM input impacts on GHG, none has focused specifically on European arable soils. This study plugs this gap and can assist policymakers in steering European agriculture in a more sustainable direction. The objective of this meta-analysis was to quantify how OM inputs of different nature and quality, but also the application strategy, can mitigate soil N₂O emissions in different pedoclimatic conditions in Europe.

Material and Methods

By using a meta-analysis, we quantitatively synthesised the results of over 50 field experiments conducted in 15 European countries. The annual average precipitation and average annual temperature measured on the experimental sites ranged between 250 mm and 1,300 mm, and between 4.5 °C and 19.6 °C respectively. Diverse arable crops, mainly cereals (maize, spring wheat, winter wheat, and spring barley), were cultivated in monoculture or in crop rotations on mineral soils. Cumulative N₂O emissions were monitored during periods of 30 to 1,070 days in treatments, which received OM inputs, alone or in combination with mineral N fertiliser; and in controls fertilised with mineral N.

Results

The overall effect of OM inputs had a slight tendency to reduce N₂O emissions by 10% ($n=53$) compared to the control, i.e. mineral N fertiliser (Median of 1.8 kg N₂O-N ha⁻¹). Organic matter with C/N ratio < 20 had a risk for increased N₂O emissions, whereas with the increasing C/N ratio of the OM inputs, this mitigation effect became more pronounced. In particular, compost and biochar significantly reduced N₂O emissions by 25% ($n=6$) and 33% ($n=8$) respectively. However, their effect strongly depended on pedoclimatic characteristics. A smaller efficiency

of biochar and compost was observed under warmer or drier climatic conditions such as in the Mediterranean South than that in a temperate or boreal climate. Moreover, increasing soil pH and sand content was related to a decline of the mitigation effect of biochar and compost, and it became zero in soils with a sand content ranging from 80% to 95%, depending on soil pH.

It should be noted that the extensive use of biochar in European agriculture is scant, and N₂O reductions from biochar observed in research experiments (also in the studies included in this meta-analysis) have mostly been achieved when high dose rates have been used (>10 t ha⁻¹). It is unrealistic to expect these high dose rates in broadacre agriculture due to the current high market price for biochar (€800 t⁻¹).

The effect of other OM types (green manure, crop residues, livestock manure, slurry, and digestate) on N₂O emissions ranged from -18% to +15% compared to mineral N fertiliser, but not statistically significantly. Inputs of crop residues tended to decrease N₂O emissions per unit area, but not significantly. This contradicts the general statements of previous meta-analyses, where crop residues reported stimulation of N₂O emissions. However, this is mainly because the N₂O stimulation was significant for vegetables and legumes, but not for cereals [1]. Our results for livestock manure and slurry were consistent with the global meta-analyses, which demonstrated statistically non-significant effects on N₂O emissions [2, 3].

Here, we stress the importance of the input strategy for organic fertilisers (green manure, livestock manure, slurry, and digestate), as their addition to soils in combination with mineral N fertiliser increased N₂O emissions by 30%, while their inputs alone showed a decline trend by 16%. In the meta-analysis [2], it was shown that the organic substitution of mineral fertiliser non-significantly decreased N₂O emissions by about 13%, while at the high fertilisation rate, N₂O emissions were significantly decreased by about 37%.

Conclusions

We conclude that among the seven OM inputs studied, the application of compost and biochar are the most promising soil management practices, clearly demonstrating N₂O emission reduction compared to mineral N fertiliser. In contrast, other OM inputs had a small tendency to mitigate N₂O emissions only when applied without mineral N fertiliser.

Literature

[1] Abalos, D., Rittl, T. F., Recous, S., Thiébeau, P., Topp, C. F. E., van Groenigen, K. J., Butterbach-Bahl, K., Thorman, R. E., Smith, K. E., Ahuja, I., Olesen, J. E., Bleken, M. A., Rees, R. M. and Hansen, S. 2022. Predicting field N₂O emissions from crop residues based on their biochemical composition: A meta-analytical approach. *Science of the Total Environment* 812: 152532.

[2] Wei, Z., Ying, H., Guo, X., Zhuang M., Cui Z. and Zhang F. 2020. Substitution of mineral fertilizer with organic fertilizer in maize systems: a meta-analysis of reduced nitrogen and carbon emissions. *Agronomy* 10: 1149.

[3] Fan, X., Chen, X., Chen, T., Liu, X., Song, Y., Tan, S., Chen, Y., Yan, P. and Wang, X. 2023. Effects of substituting synthetic nitrogen with organic amendments on crop yield, net greenhouse gas emissions and carbon footprint: A global meta-analysis. *Field Crops Research* 301: 109035.

Typpioksiduulin päästöt turvepelloilta – maaperän fosfori avainasemassa selittämässä paikallista vaihtelua

Nitrous oxide emissions from agricultural peat soil – soil phosphorus a key variable influencing spatial variation

Marja Maljanen^{1*}, Yu Zheng¹, Minna Pääkkönen¹, Carolina Voigt², Arja Louhisuo³ & Perttu Virkajärvi³

¹Department of Environmental and Biological Sciences, University of Eastern Finland, (Yliopistonranta 8), P.O. Box 1627, FI-70211 Finland. *Corresponding author: marja.maljanen@uef.

²Department of Soil Science, Universität Hamburg, Allende-Platz 2, 20146 Hamburg, Germany

³Natural Resources Institute Finland, Production systems, Halolantie 31 A, FI-71750 Maaninka, Finland.

Nitrous oxide (N₂O) is about 300 times as strong greenhouse gas as carbon dioxide (CO₂). Drained organic soils are known to be hotspots for CO₂ but also for N₂O emissions. Understanding the factors that influence the N₂O emissions is crucial to mitigate these emissions. Spatial variation in the emission rates of N₂O in soil can be significant due to the diverse biological, chemical, and physical conditions that affect the production and consumption of these gases. We conducted N₂O emission measurements at 28 sites across a 7-hectare agricultural peat soil used for cultivating grass and cereals in Eastern Finland [1]. This involved eight campaigns spanning winter and the growing season. During the growing season the chamber method was used and during winter with deep snow cover the emissions were measured using snow gradient method. Alongside N₂O fluxes, several soil parameters were measured from each sampling location. Among measured soil parameters, plant available phosphorus concentration was identified as a limiting factor and a critical determinant of spatial variations in N₂O emissions, whereas soil mineral nitrogen concentration did not correlate with measured N₂O emission rates. Additionally, our study demonstrated that soil ploughing and fertilization practices significantly amplified N₂O emissions, leading to pronounced temporal variations in N₂O emission rates.

References

[1] Maljanen, M., Zheng, Y., Pääkkönen, M., Voigt, C., Louhisuo, A. and Virkajärvi, P. 2024. Phosphorus - A key element determining nitrous oxide emissions from boreal cultivated peat soil. *Soil Biology and Biochemistry* 195 (2024) 109483, Doi: 10.1016/j.soilbio.2024.109483

Vaikuttavatko porot pohjoisten soiden metaanipäästöihin – ja miten se saadaan selville?

Do reindeer impact on methane emissions from northern peatlands – and how can we find that out?

Raija Laiho¹, Petri Salovaara¹, Päivi Mäkiranta¹, Krista Peltoniemi¹, Timo Penttilä¹, Tuomas Rajala¹, Jenni Hultman¹, Mika Korkiakoski² & Hannu Fritze¹

¹ Luonnonvarakeskus, PL 2, 00791 Helsinki

² Ilmatieteen laitos, PL 503, 00101 Helsinki

Porot (*Rangifer tarandus* L.) laiduntavat kesäisin soilla. Suurikokoisten laiduntajien valikoiva laidunnus, tallaus ja ulkoeritys voivat vaikuttaa maaperäekosysteemien rakenteeseen ja toimintaan, esimerkiksi kasvihuonekaasupäästöihin. Laboratoriokokeissa havaitsimme, että poronpapanat lisäsivät merkittävästi turpeen metaanipäästöä^[1,2], ja että jotkut pötsimikrobit siirtyivät osaksi turpeen metanogeeniyhteisöä ja osallistuivat metaanin tuottoon^[2].

Tapahtuuko näin myös luonnossa? Selvitimme^[3] tätä kahdella saranevalla: Lompolojänkkä Kittilässä ja Halssiaapa Sodankylässä. Molemmilla soilla on aidattu osa, jonne poroilla ei ole pääsyä, sekä vastaavaa kasvillisuutta edustava osa, jossa porot voivat liikkua vapaasti. Teimme tässä nelikentässä kokeen, jossa papanoita i) lisättiin suon pinnalle, ii) lisättiin 5-10 cm syvyyteen simuloidulla tallauksella, iii) ei lisätty eikä pintaa tallattu (käsittelemätön kontrolli), tai iv) ei lisätty mutta pintaa tallattiin. Näiltä pisteiltä mitattiin ekosysteemin metaanipäästöä ilmakehään kammiomenetelmällä vuosina 2019 ja 2020, analysoitiin kasvillisuuden koostumus ja sarojen lehtialan kehitys, analysoitiin turpeen aktiiviset metanogeeni- ja metanotrofyhteisöt, sekä mitattiin vedenpinnan tasoa ja pintaturpeen lämpötilaa (5 cm ja 15 cm syvyydet).

Sekä porojen läsnä- tai poissaolo että papanalisäykset heijastuivat turpeen mikrobiyhteisöjen koostumukseen. Vasteet olivat erilaiset eri soilla. Rakenneyhtälömallit osoittivat, että metaanivuo riippui molemmilla soilla mittausvuodesta sekä sarojen lehtialasta. Halssiaavalla tallattu papanalisäys ja Lompolojänkkällä sekä tallaamaton että tallattu papanalisäys vähensi sarojen lehtialaa. Halssiaavalla papanalisäyksen vaikutus metaanivuohon ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Lompolojänkkällä tallaamaton papanalisäys vähensi metaanivuota sekä suoraan että epäsuorasti lehtialan kautta.

Tutkimuskokonaisuuden merkittävimmät johtopäätökset saattavat nekin olla epäsuoria: i) laboratoriossa selvästi tunnistetut ilmiöt ja vuorovaikutukset eivät suinkaan välttämättä toteudu sellaisinaan maasto-olosuhteissa, missä vaikuttavia tekijöitä on mukana enemmän, ja ii) analysoitaessa aineistoja, joissa on selkeitä usean muuttujan vuorovaikutussuhteita, kannattaa valita menetelmiä, jotka tunnistavat ja ottavat huomioon nämä vuorovaikutukset. Paras uutinen on kuitenkin se, että Joulupukin matkat eivät aiheuta epäsuoria kasvihuonekaasupäästöjä, ainakaan metaanipäästöjä.

Kirjallisuus

[1] Laiho, R., Penttilä, T. and Fritze, H. 2017. Reindeer droppings may increase methane production potential in subarctic wetlands. *Soil Biology and Biochemistry* 113: 260–262.

[2] Fritze, H., Penttilä, T., Mäkiranta, P., Laiho, R., Tuomivirta, T., Forsman, J., Kumpula, J., Juottonen, H. and Peltoniemi, K. 2021. Exploring the mechanisms by which reindeer droppings induce fen peat methane production. *Soil Biology and Biochemistry* 160, 108318.

[3] Laiho, R., Salovaara, P., Mäkiranta, P., Peltoniemi, K., Penttilä, T., Rajala, T., Hultman, J., Korkiakoski, M. and Fritze, H. 2024. Reindeer shape soil methanogenic and methanotrophic communities in subarctic fen peatlands but the impact on methane emissions is minor – A field study. *Soil Biology and Biochemistry* 199, 109590.

Hivenaineita ja maaperäfyysiikkaa – katsaus professori Mikko Sillanpään tieteelliseen tuotantoon

Trace elements and soil physics – A review of professor Mikko Sillanpää's scientific output

Markku Yli-Halla¹

¹ Maataloustieteiden osasto, Maaperä- ja ympäristötiede, PL 56, 00014 Helsingin yliopisto

Lyhyt henkilöhistoria

Mikko Sillanpää (1925–1993) oli ensimmäisiä suomalaisia maaperäalan kansainvälisiä tutkijoita. Perustutkinnon (HY) jälkeen hän valmistui maaperätieteen maisteriksi Wisconsinin yliopistosta USA:sta v. 1953 ja väitteli Helsingissä v. 1956. Sillanpää työskenteli lähes koko uransa ajan Maatalouden tutkimuskeskuksessa (MTTK), suurimmaksi osaksi maantutkimuksen professorina (1960–1989). Hän toimi v. 1959–1960 vuoden ajan vierailevana professorina Guelphin yliopistossa Kanadassa. Sillanpään merkittävin kansainvälinen työskentely oli FAO, jonka päämajassa Roomassa hän työskenteli v:sta 1969 alkaen neljästi vähintään vuoden kerrallaan ja johti muunakin aikana hivenaineita koskevia kansainvälisiä tutkimuksia aina kuolemaansa asti. Hänet muistetaan ennen muuta maan mikroravinteiden tutkijana. – Mikko Sillanpää toimi Kansainvälisen maaperätieteen seuran Suomen osaston eli Suomen Maaperätieteiden Seuran esiasteen puheenjohtajana v. 1972–1980.

Maaperäfyysiikan aika

Mikko Sillanpää aloitti uransa maaperäfyysiikan parissa. USA:ssa ja MTTK:ssa tekemässään väitöskirjassa [1] hän tutki maan vedenjohtavuuden määritysmenetelmiä. Vuosina 1958–1961 ilmestyi ainakin yhdeksän julkaisua, joissa Sillanpää käsitteli maan murujen muodostumista ja kestävyyttä kationikoostumuksen, jäätyneen ja sulamisen sekä murujen kosteuden funktiona [2]. Tutkimukset olivat ilmiölähtöisiä laboratoriokokeita tai koskivat mittausmenetelmiä, eivätkä ne kohdistuneet suomalaisiin viljelymenetelmiin, mikä saattaa selittää niiden saaman vähäisen huomion niin aikalaisten kuin jälkipolvienkin keskuudessa.

Sillanpää hivenainetutkijana

Mikko Sillanpää siirtyi 1960-luvulla tutkimaan Suomen viljelymaiden mikroravinteiden pitoisuuksia sekä niiden ja maan muiden ominaisuuksien välisiä yhteyksiä. Hän oli tärkeä toimija Suomen Akatemian rahoittamassa hankkeessa, jossa kartoitettiin peltojemme ja niillä kasvavan timotein ravinnepitoisuuksia. FAO:ssa hän paneutui mikroravinteiden globaaliin merkitykseen. Sillanpää toimi aktiivisesti *FAO-European Research Network on Trace Elements* -verkostossa. Hän onnistui perustamaan Suomen kehitysyhteistyövaroin toteutetun suuren hankkeen, jossa MTTK:een lähetettiin tutkittavaksi lähes 2000 maanäytettä 30 valtion alueelta eri puolilta maailmaa. Maanäytteistä määritettiin mikroravinteiden pitoisuudet ja niissä kasvatettiin vehnää, jonka koostumus analysoitiin. Vuonna 1982 FAO:n sarjassa ilmestyikin ”Sillanpään keltainen kirja” [3], joka on hänen tunnetuin saavutuksensa. Kirja, jossa tulokset esitetään sekä mikroravinteittain että valtiokohtaisesti, on edelleen hyödyllinen, jos haluaa saada yleiskäsityksen tietyn alueen viljelymaiden ominaisuuksista. Oli ensimmäinen kerta, kun maantieteellisesti näin kattavasta aineistosta määritettiin mikroravinteita samalla menetelmällä ja saatiin siis eri maista aidosti vertailukelpoisia tuloksia. Laajat maan ja kasvien koostumusta koskevat tutkimukset kävivät mahdollisiksi 1970-luvulla, kun atomiabsorptiospektrofotometrit tulivat käyttöön ja syrjäyttivät työläät kolorimetriset menetelmät. Tutkimus jatkui lannoituskokeilla, joita tehtiin yhteensä 190 kpl lähes identtisellä koeasetelmalla seuraavissa 15 maassa: Etiopia, Filippiinit, Irak, Malawi, Meksiko, Nepal, Pakistan, Sambia, Sierra Leone, Sri Lanka, Suomi, Tansania, Thaimaa, Turkki ja Zaire [4]. Sillanpää julkaisi raportin

maanäyteaineiston seleenin ja haitallisten raskasmetallien pitoisuuksista [5] vielä ollessaan eläkkeellä, joka aika jäi kuitenkin vain muutamaan vuoteen.

Muut aihepiirit

Uransa alussa Sillanpää osallistui maataloudelliseen maaperäkartoitukseen, jota varten MTTK:n Maantutkimuslaitos oli ainakaan perustettukin. Laitos oli FAO:n yhteysorganisaatio Euroopan (ilmestynyt 1965) ja Maailman maaperäkartan (1974) laadinnassa. Näistä yhteyksistä tuskin oli haittaa, kun Sillanpää rakensi hivenaineita koskevaa yhteistyöverkostoaan.

Vuosina 1967–1970 MTTK:ssa tutkittiin heinäkasveista koostuvan säilörehunurmen voimaperäistä viljelyä 18 koepaikalla. Nämä ”vihreän linjan” kokeet loivat perustan runsaaseen typpilannoitukseen pohjautuvalle nurmiviljelylle maassamme. Sillanpää oli mukana monissa maan ravinnetilan kehitystä ja nurmisatojen kivennäiskoostumusta (esim. $K/(Ca+Mg)$, Ca/P) koskevissa julkaisuissa [esim. 6]. Niissä tunnistettiin myös suurten satojen aiheuttama karkeiden ja eloperäisten maiden kaliumvarojen ehtyminen. Tämä massiivinen koesarja kaikkine maa- ja kasvianalyyseineen kuvastaa aikansa maataloustutkimusta, joka perustui tiheään koeasemaverkkoon, riittävään perusrahoitukseen ja teknisen henkilökunnan määrään.

Sillanpään perintö

Mikko Sillanpään tieteellinen toiminta käynnistyi kontrolloiduissa oloissa tehdyillä maaperäfyysiikan mittauksilla, mutta tuotannon pääosa koostuu kuitenkin laajan näyteaineiston kemialliseen analysointiin perustuvista tutkimuksista. Ne antavat edelleen käsityksen maan ja viljelykasvien tavanomaisista alkuainepitoisuuksista ja niiden vaihtelusta. Tämä työ jatkuu Luonnonvarakeskuksessa Peltomaiden kemiallisen tilan seurantatutkimuksissa (Valse) [7] vakiintuneella tavalla. Sillanpään kansainvälinen toiminta on saanut jatkoa etenkin Egyptissä ja muissa Afrikan maissa toteutetuissa projekteissa, viimeisimpänä esimerkkinä laajan maaperäosuuden sisältänyt FoodAfrica-hanke [8].

Kirjallisuus

- [1] Sillanpää, M. 1956. Studies on the hydraulic conductivity of soils and its measurement. *Suomen Maataloustieteellisen Seuran Julkaisuja – Acta Agralia Fennica* 87. 109 s.
- [2] Sillanpää, M., Webber, L.R. 1961. The effect of freezing-thawing and wetting/drying cycles on soil aggregation. *Canadian J. Soil Science* 41: 182-187.
- [3] Sillanpää, M. 1982. Micronutrients and the nutrient status of soils: a global study. *FAO Soils Bulletin* 48. 444 s.
- [4] Sillanpää, M. 1990. Micronutrient assessment at the country level: an international study. *FAO Soils Bulletin* 63. 208 s.
- [5] Sillanpää, M., Jansson, H. 1992. Status of cadmium, lead, cobalt and selenium in soils and plants of thirty countries. *FAO Soils Bulletin* 65. 195 s.
- [6] Sillanpää, M., Rinne, S-L. 1975. The effect of heavy nitrogen fertilization on the uptake of nutrients and on some properties of soils cropped with grasses. *Ann. Agric. Fenn.* 14: 210-226.
- [7] Soigne, H. et al. 2022. Decadal trends in soil and grain microelement concentrations indicate mainly favourable development in Finland. *J. Plant Nutrition and Soil Science*: 185, 578– 588.
- [8] Keskinen, R. et al. 2019. Readily available concentrations of selected micronutrients and harmful metals in soils of Sub-Saharan Africa. *Geoderma* 347: 203-209.

Vihreän linjan nurmikokeiden perintö muuttuvassa tuotantoympäristössä – lannoituskäytännöt, maaperä ja uudet tutkimustarpeet

Arja Louhisuo¹ ja Markku Yli-Halla²

¹ Luonnonvarakeskus, Nurmet ja kestävä maatalous, Halolantie 31A, 71750 Maaninka

² Maataloustieteiden osasto, PL 56, 00014 Helsingin yliopisto

Maatalouden tutkimuskeskuksessa (MTTK) v. 1967–1970 peräti 18 koepaikalla toteutetut typpilannoituksen porraskokeet loivat pohjan säilörehu viljelykäytännöille vuosikymmeniksi Suomessa. MTTK:n Maantutkimuslaitos vastasi satojen kivennäiskoostumusta ja maan ominaisuuksia koskevasta osuudesta, ja professori Mikko Sillanpää oli kirjoittajana seitsemässä näitä aihepiirejä koskevassa tieteellisessä julkaisussa [esim. 1, 2, 3]. Näissä ”Vihreän linjan” kokeissa lannoitus pohjasi runsaaseen väkilannoitetyn käyttoon. Typpiportaat olivat 0, 150, 300, 450 ja 600 kg N ha⁻¹. Myös fosforilannoitus oli runsas, 100 kg P ha⁻¹, mutta kaliumlannoitus maltillinen 90–120 kg K ha⁻¹. Kokeissa nurmisato laski lähes kolmanneksen kolmen vuoden aikana, minkä takia satovuosien määräksi suositellaan edelleen kolmea tai korkeintaan neljää vuotta.

Typpi on merkittävin heinänurmiin sadon määrään vaikuttava kasviravinne. Vihreän linjan kokeissa nuorien nurmiin sadot lannoitustasolla 450 kg N ha⁻¹ olivat hyviä (8500–10000 kg ka ha⁻¹), mutta kolmantena satovuonna sato oli keskimäärin enää 6300 kg ka ha⁻¹. Uusissa kokeissa vastaavalla lannoitustasolla on saavutettu jo 13000–15000 kg ka ha⁻¹ sato ensimmäisenä ja toisena satovuonna ja vielä kolmantenakin yli 9000 kg ka ha⁻¹ [4]. Erityisesti kolmannen niiton satopotentiaali on kasvanut. Nykyiset suuret nurmisadot ehdyttävät maan ravinnevaroja Vihreän linjan kokeissa havaittua voimakkaammin.

Vihreän linjan kokeissa käytettiin pelkästään väkilannoitteita. Nytemmin lannan käyttö nurmilla on lisääntynyt, mikä on muuttanut N-lannoitusvaikutuksen ajoittumista, heikentänyt N-käytön tehokkuutta ja aiheuttaa päästöjä ilmaan ja veteen. Ratkaisuja ammoniakkipäästöjen vähentämiseksi on jo löydyntä [5], mutta kasvihuonekaasupäästöjäkin olisi vähennettävä. Tämä haastaa nurmen kolmen vuoden uusimisväliä.

Runsaan P-lannoituksen takia Vihreän linjan kokeissa ei havaittu maan P-pitoisuuden ehtymistä vaan maan P-varat päinvastoin kasvoivat. Suurten satojen, runsaan P-oton ja alentuneen P-lannoituksen takia maan P-tilan kehitys on noussut huoleksi nurmiviljelyssä. Viimeisten 20 vuoden aikana maan P-pitoisuus on laskenut. Kahden alimman viljavuusluokan osuus on lisääntynyt erityisesti Sisä-Suomen nurmiviljelyalueilla, joilla niiden osuus on paikoin jo noin kolmannes [6]. Nurmiviljelyssä maan P-varat ehtyvät nykyisten säädösten mukaista P-lannoitusta käytettäessä [7]. Fosforin riittävyys nurmiviljelyssä on nyt relevantimpi tutkimuskysymys kuin Vihreän linjan kokeiden aikaan.

Sillanpään tutkijaryhmän tulokset maan ja sadon K-pitoisuudesta ovat edelleen monilta osin ajankohtaisia. N-lannoituksen lisäämisen havaittiin kasvattavan rehun K-pitoisuutta erityisesti hienojakoisilla mailla. Eläinterveydelle haitallisinta K-pitoisuuden nousu on silloin, kun rehussa on vähän kalsiumia ja magnesiumia, ja K/Ca+Mg suhde on korkeampi kuin 2,2 [3]. Säilönnässä puristenesteen mukana poistuva K parantaa kivennäissuhdetta. Esikuivatun säilörehun yleistettyä kivennäistasapainoon jouduttiin taas kiinnittämään huomiota. Maan korkeampi rikkipitoisuus vaikuttaa rehun anioni–kationi tasapainoon, ja se voisi selittää tiettyjen maakuntien vähäisempää poikimahalvausmäärää [8]. Mikäli kivennäistasapainoa rehussa voitaisiin parantaa, olisi tällä merkittäviä positiivisia vaikutuksia eläinterveyteen.

Vihreän linjan tutkimuksissa havaittiin suurten satojen mukana poistuvan K:n ehdyttävän maan K-varoja. Kolmen vuoden aikana maan reservi-K:n varoista poistui yli 500 kg K ha⁻¹ [1]. Myöhemmin on havaittu, että reservi-K, silloin kun sitä on maassa runsaasti, vähentää merkittävästi nurmen K-lannoitustarvetta [9]. Reservi-K:n määrittäminen on tarjolla myös kaupallisesti, mutta analyysituloksia ei vielä hyödynnetä lannoitussuunnittelussa [10].

Kirjallisuus

- [1] Joy, P., Lakanen, E., Sillanpää, M. 1973. Effects of heavy nitrogen dressings upon release of potassium from soils cropped with ley grasses. *Ann Agric Fenn* 12: 172–184.
- [2] Sillanpää, M, Rinne, S-L. 1975. The effect of heavy nitrogen fertilization on the uptake of nutrients and on some properties of soils cropped with grasses. *Ann Agric Fenn* 14: 210–226.
- [3] Rinne, S-L et al. 1978. The effect of nitrogen fertilization on K/(Ca+Mg) ratio in grass. *Ann Agric Fenn* 17: 83–88.
- [4] Termonen, M et al. 2020. Effects of nitrogen application rate on productivity, nutritive value and winter tolerance of timothy and meadow fescue cultivars. *Grass Forage Sci* 75: 111–126.
- [5] Keskinen, R et al. 2022. Slurry acidification outperformed injection as an NH₃ emission-reducing technique in boreal grass cultivation. *Nutr Cycl Agroecosyst* 122: 139–156.
- [6] Lemola, R et al. 2023. Fosforin kierrätyksen tarve ja potentiaali kasvintuotannossa: synteesiraportti. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 10. 55 s.
- [7] Louhisuo, A et al. 2024. Long-term changes in soil phosphorus in response to fertilizer application and negative phosphorus balance under grass rotation in mineral soils in Nordic conditions. *Soil Use Manage* 40: e13013.
- [8] Järvenranta, K. 2019. Nurmirehun kivennäisainetasapaino ja siihen vaikuttavat tekijät. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 17: 21–22.
- [9] Virkajärvi, P. et al. 2014. Nurmien kaliumtalous. Maan reservikaliumin merkitys kaliumlannoituksen suunnittelussa. *MTT raportti* 165. 52 s.
- [10] Saarela, I., Mäntylähti, V. 2002. Kiillepitoisten karkeiden maiden kaliumin vapautuminen kasveille. *Pro Terra* 15: 140–142.

Viljelymenetelmien pitkäaikaisvaikutukset Loimaan kenttäkokeessa

Muutokset multavuudessa, rakenteessa ja biologiassa 20 vuoden jälkeen

Jussi Knaapi¹ & työryhmä Eemeli Linna, Uolevi Oristo, Erkki Mäkelä, Tuomas Levomäki²

¹ Knaapi Jussi, Pohjankyröntie 127, 61500 Isokyrö

² Koneviesti c/o Eemeli Linna, Simonkatu 6, 00101 Helsinki

Kokeen rakenne

Viljelymenetelmäkoe perustettiin Loimaan Novida koulutuskuntayhtymän omistamalle Pohjan tilalle vuonna 2006. Alkuvaiheen kylvötekniikkapainotteinen koe muutettiin 2012 menetelmäkokeeksi, jossa verrokkeina on ollut ns aitosuorakylvö, suorakylvö esimuokkaimella, kyntö, sekä kultivaattori- että lautasmuokkainperustaiset kevytmuokkaukset. Merkittävää on, että kokeen ruudut (a' 0,5 ha) ovat pysyneet samoilla paikoilla koko ajan. Viljelytyöstä on vastannut Tuomas Levomäki ja työryhmä on organisoanut muut kentän aktiviteetit. Koejärjestelyt ovat mahdollistaneet myös ajoraideviljelyn (CTF farming) vertaamisen ns tavanomaiseen viljelyyn.

Pääpaino on ollut maan multavuuden ja kasvukunnon seurannassa. Mittaustekniikoissa olemme käyttäneet maaperäskannausta, multavuuden mittausta koko maaprofiilin syvyydeltä (0-100 cm), sekä maaperän terveyden osalta ns Solvita Healt Suite-testikokonaisuutta ja mikrobiologisen tilanteen seurantaan ns Microbiometer-testillä. Vuosina 2023 ja -24 olemme yhteistyössä Jyväskylän Yliopiston kanssa kartoittaneet kentän mikrobiologista statusta., josta Benjami Laine pitää oman esityksensä.

Kokeen yhteyteen on perustettu ns maanparannekoe, jossa on vertailtu erilaisten maaparanteiden (rakennekalkki, kipsi, sekä kipsin ja eräisen orgaanisen ravinteiden seokset) vaikutusta valumavesien ravinnepitoisuuksiin ja maan rakenteeseen.

Merkittävimät tulokset

Viljelymenetelmillä on saatu muutoksia maaprofiilin multavuuteen. Seuranta on hyvin haasteellista, mutta trendinä on voitu todistaa, että suorakylvö on lisännyt maan multavuutta verrattuna kyntöön. Kevytmuokkauksojajäsenissä tilanne on vaihdellut, mutta kokonaisuudessaan niissäkin multavuus on jonkin verran korkeampi kuin kynnessä.

Multavuuden muutokset koko maaprofiilissa ovat myös olleet vertailussa. Viljelykierto ja monet muutkin tekijät ovat vaikuttamassa multavuuden kehitykseen ruokamultakerroksen alapuolella. Viljelymenetelmät ovat kuitenkin vaikuttaneet myös jankkokerroksen multavuuteen.

Mikrobiaktiivisuus on ollut suorakylvössä korkein ja tällä on ollut mitattavissa oleva vaikutus maan terveyteen (Solvita- ja Microbiometer-testit), sekä tätä kautta myös satotasoon. Toinen satotasoon vaikuttanut tekijä on ollut keväisen maavesireservin hyödynnys, eli haihdunnan hallinta. Kolmantena merkityksellisenä tekijänä on ollut tiivistymäkerrosten ns sulaminen. Kyntökoeruudulla nimensä mukainen kyntöantura on iso maan toimivuutta rajoittava tekijä. Suorakylvöruuduilla ko antura on hiljalleen hävinnyt ja vaikka maa niissäkin on edelleen varsin tiivistä, on tilanne selvästi parantunut. Kokeen maalaji, multava hietasavi, on ravinnesuhteiltaan tyyppillisen hankala, koska Ca/Mg-suhde on mg-voittoinen ja maan täten varsin sitkeää ja huonosti vettä läpäisevää. Tältä osin emme ole toistaiseksi onnistuneet muuttamaan maan ominaisuuksia merkittävästi.

Kokonaisuudessaan suorakylvö on osoittautunut varsin toimivaksi menetelmäksi Viljelymenetelmäkokeen hietasavi-tyypin maalajeilla.

ISBN 978-952-84-0754-6 (nid.)
ISBN 978-952-84-0755-3 (PDF)
ISSN 1457-263X

Helsinki 2025