

*M a a t a l o u d e n
t u t k i m u s k e s k u k s e n
j u l k a i s u j a*

S A R J A A

67

*Riitta Salo
Markku Yli-Halla (toim.)*

**Maataloustieteen päivät
2000**

**Kasvintuotanto ja maaperä
Puutarhatuotanto
Helsinki, 10.–11.1.2000**

Riitta Salo
Markku Yli-Halla (toim.)

Maataloustieteen päivät 2000

**Kasvintuotanto ja maaperä
Puutarhatuotanto
Esitelmät ja posteritiivistelmät
Helsinki, 10.–11.1.2000**

Agriculture Days 2000

**Plant production and Soil
Horticulture
Proceedings of the Symposium
Helsinki, 10–11 January 2000**

Maatalouden tutkimuskeskus

Salo, R.¹⁾ & Yli-Halla, M.²⁾ (toim.) 1999. Maataloustieteen päivät 2000. Kasvintuotanto ja maaperä, Puutarhatuotanto. Esitelmät ja posteritiivistelmät. Helsinki, 10.–11.1.2000. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 67. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 238 p. ISSN 1238-9935, ISBN 951-729-557-X.

¹⁾ Maatalouden tutkimuskeskus, Tietopalveluyksikkö, 31600 Jokioinen

²⁾ Maatalouden tutkimuskeskus, Luonnonvarojen tutkimus, Luonnonvarat, 31600 Jokioinen, markku.yli-halla@mtt.fi

Salo, R.¹⁾ & Yli-Halla, M.²⁾ (eds.) 1999. Agriculture Days 2000. Plant production and Soil, Horticulture. Proceedings of the Symposium, Helsinki, 10–11 January 2000. Publications of Agricultural Research Centre of Finland. Serie A 67. Jokioinen: Agricultural Research Centre of Finland. 238 p. ISSN 1238-9935, ISBN 951-729-557-X.

¹⁾ Agricultural Research Centre of Finland, Data and Information Services, FIN-31600 Jokioinen, Finland

²⁾ Agricultural Research Centre of Finland, Resource Management Research, Environmental Resources, FIN-31600 Jokioinen, Finland, markku.yli-halla@mtt.fi

ISBN 951-729-557-X

ISSN 1238-9935

Copyright

Maatalouden tutkimuskeskus

Kirjoittajat

Julkaisija

Maatalouden tutkimuskeskus, 31600 Jokioinen

Jakelu ja myynti

Maatalouden tutkimuskeskus, tietopalveluyksikkö, 31600 Jokioinen

Puh. (03) 4188 2327, telekopio (03) 4188 2339

Painatus

Vammalan Kirjapaino Oy 1999

OHJELMA

MAATALOUSTIETEEN PÄIVÄT 2000

Maanantai 10.1.

Kotieläimet (Sali B1)

10.00 Valitse oikea ruokintastrategia

pj. Marketta Rinne

Kohti dynaamisia rehuarvojärjestelmiä, Pekka Huhtanen, MTT

Seosrehua lypsylehmille, Päivi Mäntysaari, MTT

Säilörehun syönti-indeksi auttaa ruokintastrategian toteuttamisessa, Juha Nousiainen, Valio Oy

11.30 Lounas

13.00 Kotieläinten jalostusohjelmat

pj. Asko Mäki-Tanila

Uudistuva lypsykarjan jalostussuunnittelu, Ulla Voutilainen, Faba

Lihan- ja maidontuotanto-ominaisuudet lypsykarjan jalostuksessa, Anna-Elisa Liinamo, HY

Testauskapasiteetin käyttö sikojen jalostuksessa, Timo Serenius, MTT

Kirjolohen valintaohjelman resurssointi, Anne Kettunen, MTT

15.00 Kahvi

15.30 Kotieläinten genomin tutkimus

pj. Pekka Uimari

Maidon juoksettumiskyvyn geneettinen tausta suomalaisessa lypsykarjapopulaatiossa, Anna- Maria Tyrisevä, HY

Naudan geenikartasta työkaluja markkeriavusteiseen valintaan, Johanna Vilkki, MTT

Munijakanan perimästä etsitään tuotantoon vaikuttavia geenejä, Maria Tuiskula-Haavisto, MTT

Talous ja teknologia (Sali B2)

10.00 Maaseutuelinkeinojen tulevaisuus - mitä tutkimus tarjoaa?

pj. Matti Ryhänen

EU:n rakenne- ja maaseutupolitiikan tulevaisuus, Jukka Kola, HY

Maaseudun pienyritykset muuttuvassa markkinaympäristössä, Sari Forsman, MTTL

Non-food-tuotannon mahdollisuudet, Aarne Pehkonen, HY

Maaseudun rakennemuutos ja sen ohjaaminen, Raija Volk, PTT

12.00 Lounas

13.30 Elintarvikeketjujen tehokkuus ja laadun kehittäminen

pj. Juha Marttila

Elintarvikeketjun ohjaaminen ja tehokkuus - taloudellisen ketjuanalyysin menetelmät ja mahdollisuudet, Panu Kallio, PTT

Elintarvikeketjujen ohjaaminen ja tehokkuus - teknologiset ratkaisut, Silja Home, VTT

Elintarvikeketjujen ekotehokkuus, Jyrki Aakkula, MTTL

15.00 Kahvi

15.30 Elintarvikeketjujen tehokkuus ja laadun kehittäminen jatkuu

pj. Laura Alakukku

Markkinat eriytyvät - uusia haasteita elintarvikevalmistajille, Saara Hyvönen, HY

Systeemianalyysi ja simulointi elintarvikeketjujen analysoinnissa, Hannu Haapala, MTT

Funktionaaliset elintarvikkeet - esimerkki erikoislaadusta, Hannu Korhonen, MTT

Peltokasvit ja maaperä (Sali B3)

10.00 Peltolohkon maaperäominaisuuksien vaihtelu ja vaikutukset

pj. Markku Yli-Halla

Tietotekniikka ympäristökuormituksen arvioinnissa, Hanna-Riikka Tuhkanen, MTT
Viljelytekniikan vaikutus pintavirtailuun peltoalueella, Jyrki Pitkänen, MTT
Tilastollisia käsitteitä ja työvälineitä maaperän vaihtelun ymmärtämiseen, Visa Nuutinen, MTT
Peltolohkotiedon soveltaminen lannoituksessa, Jouko Kleemola, Kemira

12.00 Lounas

13.30 Tutkimuksesta tehokkuutta nurmituotantoon

pj. Oiva Niemeläinen

Nurmituotannon talous, Timo Sipiläinen, HY
Nurmisadon kehityksen mallintaminen, Erkki Aura, MTT
Määrää vai laatua - nurmikasvijaalostajan näkökulma, Pertti Pärssinen, Boreal

15.00 Kahvi

15.30 Tutkimuksesta tehokkuutta nurmituotantoon jatkuu

pj. Oiva Niemeläinen

Nurmipalkokasveista säilörehua, Liisa Syrjälä-Qvist, HY
Laitumen hyväksikäytön tehostaminen, Perttu Virkajärvi, MTT
Luonnonmukaisen nurmituotannon erityispiirteet, Päivi Nykänen-Kurki, MTT

Puutarhatuotanto (Sali B4)

10.00 Vihannesten ja marjojen kasvun hallinta

pj. Risto Tahvonen

Porkkanan kasvu ja varastokestävyyyden muuttuminen kasvukauden lopulla, Terhi Suojala, MTT
Talvenkestävyys ja sokerit vadelman versoissa ja silmuissa, Pauliina Palonen, HY
Mansikkalajikkeiston uusiutuminen, Tarja Hietaranta, MTT

11.30 Lounas

13.00 Uutta viljelytekniikkaa kasvihuoneisiin

pj. Irma Voipio

Etanolipohjainen hiililannos kasvihuoneessa, Liisa Särkkä, MTT
Tekovalotuksen vaikutus gerberan satomäärään, Janne Autio, HY
Kasvumallit kasvihuoneessa, Timo Kaukoranta, MTT
Kasvihuonemansikan kukittaminen, Hannu Mäki, HY

15.00 Kahvi

15.30 Viherrakentamisen uudet kasvit

pj. Pekka Leskinen

Uusia koristekasveja Suomeen, Aune Koponen, HY
Liikennealueitten vihreyttäminen, Minna Heikkilä, MTT
Kestävät perennat, Veli-Pekka Pelkonen, Oulun yliopisto

MAATALOUSTIETEEN PÄIVÄT 2000

Tiistai 11.1.

Kotieläimet (Sali B1)

9.00 Aminohapot valkuaisruokinnan perusta

pj. Matti Näsi

Viljan aminohappojen sulavuus lihasioilla, Jarmo Valaja, MTT

Sulavia aminohappoja siipikarjalle, Sini Perttilä, MTT

Aminohappopohjainen ruokinnansuunnittelu tulevaisuutta myös lypsylehmillä, Aila Vanhatalo, MTT

10.30 Kahvi

11.00 Maatilyritysten muutospaineet - taloudelliset ja teknologiset valinnat

pj. Petri Kapuinen

Jaloittelualueet ja ulkotarhat - kotieläinten hyvinvointia vai ympäristön uhka? Jaana Uusi-Kämpä, MTT

Lietelannan levitys nurmeen - tilan ja ympäristön yhteinen etu, Helvi Heinonen-Tanski, Kuopion yliopisto

Edulliset kotieläinrakennukset maatilan omasta puutavarasta omalla työpanoksella, Tapani Kivinen, MTT

12.30 Lounas

14.00 Kotieläimistä muutakin kuin ruokaa

pj. Markku Saastamoinen

Hevosien elämänlaatu, Helena Jansson, MTT

Hevosten ruokinta - perimä- ja mututiedosta tutkittuun tietoon, Laura Kajanto, MTT

Työkoirien elinvoima lähtee ruuasta, Riitta Kempe, MTT

Ovatko ketut sopeutuneet tarhaoloihin? Teppo Rekilä, STKL

Talous ja teknologia (Sali B2)

9.00 Maatilayritysten muutospainheet - taloudelliset ja teknologiset valinnat

pj. Hannu Haapala

Maatilojen teknologiset valinnat muuttuvassa ympäristössä, Markus Pyykkönen, MTT
Uudistuva maatalouspolitiikka lisää viljelijän halukkuutta luomutekniikkaan, Kyösti Pietola, MTTL
Liikkeenjohtamisen merkitys maitotiloilla, Aimo Turkki, HY

10.30 Kahvi

11.00 Maatilayritysten muutospainheet - taloudelliset ja teknologiset valinnat jatkuu

pj. Matti Ylätalo

Maatalouden henkilöriskit muutostilanteessa, Juha Suutarinen, MTT
Maatalouden liiketuloskäsitteet kannattavuuden mittaamisessa, Arto Latukka, HY
FinAgEng - Maaseudun teknologia ry:n esittely ja kunniapuheenjohtajan kutsuminen

12.30 Lounas

14.00 Maatilayritysten muutospainheet - taloudelliset ja teknologiset valinnat jatkuu

pj. Mika Hemming

Puunmyyntitulot ja muuttuva yksityismetsätalous, Pekka Ripatti, Metla
Metsätalouden tuloskehitys pitkän aikavälin metsälökirjanpitojen perusteella, Jussi Leppänen, Metla
Metsä- ja puutuotealan pk-yritystoiminnan näkymät, Pekka Mäkinen, Metla

Peltokasvit ja maaperä (Sali B3)

9.00 Moderni, monipuolinen kasvinsuojelu

pj. Pirjo Peltonen-Sainio

Kasvien taudinkestävyysgeenit, niiden rakenne, toiminta ja käyttömahdollisuudet, Jari Valkonen, SLU, Ruotsi

Kasvitauteja aiheuttavien gram-positiivisten bakteerien molekyyli-tason tautimekanismin selvitys: *Clavibacter michiganensis* ssp. *sepedonicus* -lajin virulenssitekijät, Mary Metzler, Biocity
Virusgeenien käyttö perunan Y-viruskestävyyden lähteenä siirtogeenisissä kasveissa, Tuula Mäki-Valkama, HY

10.30 Kahvi

11.00 Moderni, monipuolinen kasvinsuojelu jatkuu

pj. Pirjo Peltonen-Sainio

Taudinaiheuttajan löytymisestä kohti PCR-diagnostiikkaa mustaherukan suonenkato-taudin määrittämisessä, Anne Lemmetty, MTT

Öljykasvien resistenssigeenien paikantaminen ja merkkiavusteinen valinta, Pirjo Tanhuanpää, MTT
Kasvunsäätin viljojen kasvua muokkaamaan, Ari Rajala, HY

Torjunta-aineiden vaikutus peltoekosysteemeissä, Erja Huusela-Veistola, MTT

13.00 Lounas

14.30 Muuttuvan ilmaston vaikutus kasvintuotantoon

pj. Veli-Matti Rokka

Muuttuvan ilmaston ja otsonin vaikutus perunan satoon ja laatuun, Katinka Ojanperä, MTT

Kestävätkö Suomen viljelykasvit tulevan ilmaston voimakasta UV-B -säteilyä sadon vaarantumatta?
Kaija Hakala, MTT

Ilmaston muutos ja sen vaikutus kevätiljojen viljelyyn Suomessa, Riitta Saarikko

SUOMEN MAATALOUSTIETEELLINEN SEURA ry

Suomen Maataloustieteellinen Seura ry. toimii yhdyssiteenä maatalouden ja siihen läheisesti liittyvien alojen tutkijoiden ja tutkimustuloksia hyödyntävien tahojen välillä. Seuraan kuuluu yli 500 henkilöjäsenä ja kannattajajäsenenä useita yhteisöjä.

Seura juhlistaa 90 vuotta kestänyttä toimintaansa järjestämällä Maataloustieteen päivät Viikissä tammikuussa 2000. Päivillä pidetään 70 esitelmää ja niihin liittyy laaja posterinäyttely. Kuukausittain järjestettävissä iltakokouksissa tai pidemmissä seminaareissa käsitellään kasvintuotannon, kotieläintuotannon, maatalousekonomian ja -teknologian sekä puutarhatuotannon ajankohtaisia kysymyksiä ja esitellään uusimpia tutkimustuloksia. Seuran jäsenet saavat tiedon tilaisuuksista postitse henkilökohtaisella kutsulla. Tilaisuuksista tiedotetaan myös seuran verkkosivuilla osoitteessa www.agroent.fi/maataloustieteellinenseura.

Seura on Agro-Food ry:n taustayhteisö. Tutkimustuloksia välitetään Agricultural and Food Science in Finland -julkaisusarjan kautta, jota Seura julkaisee yhdessä Maatalouden tutkimuskeskuksen kanssa. Seura jakaa matka-apurahoja stipendirahastostaan ensisijaisesti jäsenilleen.

Liity jäseneksi!

Seuran jäseneksi voivat liittyä alan tutkimuksesta ja sen tuloksista kiinnostuneet henkilöt ja yhteisöt. Jäsenmaksu henkilöjäseniltä on 120 mk ja yhteisöiltä 800 mk (kannattajajäsenyys) vuodessa. Jäsenet saavat tilata Agricultural and Food Science in Finland -lehden vuosikerran puoleen hintaan.

Mikäli haluat liittyä Seuran jäseneksi, ota yhteyttä alla mainittuihin Seuran toimihenkilöihin tai palauta oheinen hakemuskavake. Liittyminen käy kätevästi myös Seuramme verkkosivun kautta osoitteessa www.agroent.fi/maataloustieteellinenseura/jasenasiat.html.

Seuran hallitus

puheenjohtaja	Professori Pirjo Peltonen-Sainio, Kasvintuotantotieteen laitos, Helsingin yliopisto
varapuheenjohtaja	Yliassistentti Matti Ryhänen, Taloustieteen laitos, Helsingin yliopisto
sihteeri	Erikoistutkija Markku Yli-Halla, Luonnonvarojen tutkimus, MTT
rahastonhoitaja	Vanhempi tutkija Laura Alakukku, Kasvintuotannon tutkimus, MTT
tiedotussihteeri	Tutkija Marketta Rinne, Kotieläintuotannon tutkimus, MTT

Ehdotus Suomen Maataloustieteellisen Seuran jäseneksi

Palautusosite: Marketta Rinne, Maatalouden tutkimuskeskus/ERA, 31600 Jokioinen

Ehdokkaan nimi _____
Osoite _____
Sähköpostiosoite _____
Syntymäaika _____
Oppiarvo ja pääaine _____

Haluun liittyä myös Puutarhatieteen osaston jäseneksi: Kyllä / En (ei lisämaksua).
Haluun tilata Agricultural and Food Science -lehden jäsenhintaan 150 mk/vuosi: Kyllä / En.

Perustelu/toiminta alalla _____

Suosittelijat (kahden Seuran jäsenen allekirjoitukset - tarvittaessa hallitus hankkii suosittelijat):

Esipuhe

Arvoisa Maataloustieteen päiville osallistuja,

Suomen Maataloustieteellinen Seura perustettiin 2. päivä joulukuuta 1909 edistämään maamme maataloustutkimusta ja tekemään sitä tunnetuksi niin kotimaassa kuin ulkomaillakin. Seura on 90-vuotisen taipaleensa aikana myötäkokenut suomalaisen maatalouden suuret muutokset ja tukenut suomalaisen tieteellisen maataloustutkimuksen matkaa alkuaskelmiltaan nykypäivän syväluotaavaan, monitieteiseen, kansainväliseen tutkimustoimintaan. Seura toimii perinteidensä mukaisesti niin aktiivisen vuorovaikutuksen virittäjänä kuin keskustelufooruminkin.

Toiminta-ajatustaan Seura toteuttaa harjoittamalla julkaisutoimintaa ja järjestämällä tutkijatapaamisia kuukausittain. Kiinnostus seuran jäsenten keskuudessa rohkaisi meitä järjestämään maataloustieteen suur tapahtuman, kaksipäiväiset Maataloustieteen päivät lähes kymmenen vuoden tauon jälkeen. Mikä olisikaan sopivampi ajankohta herättää kaivattu maataloustieteellinen tapahtuma henkiin kuin Seuran

90-vuotisjuhlallisuudet vuosituhannen vaihtuessa. Maataloustieteen päivät järjestetään yhteistyössä Helsingin yliopiston maatalous-metsätieteellisen tiedekunnan kanssa. Päivien ohjelma on läpileikkaus Suomen maataloussektorin ajankohtaiseen tutkimukseen. Uskomme näiden päivien edistävän vuorovaikutusta ja luovan yhä vahvemman yhdysiteen maatalouden ja sen lähitieteiden alalla toimivien tutkijoiden ja alasta kiinnostuneiden henkilöiden ja yhteisöiden välille.

Olemme nyt kokoontuneet tämän päivän haastavien tutkimuskysymysten äärelle. Tämä on mahdollista vain, koska lukuisat seuramme jäsenet ja tahot ovat korvaamattomalla panoksellaan osallistuneet tapahtuman järjestelyihin. Haluan Suomen Maataloustieteellisen Seuran hallituksen puolesta lämpimästi kiittää Maatalouden tutkimuskeskusta tämän julkaisun julkaisemisesta sekä kaikkia niitä henkilöitä ja tahoja, jotka ovat ututteruudellaan mahdollistaneet kaksipäiväisen, suomalaisen maataloustieteen suur tapahtuman järjestämisen.

Helsingissä 21.10.1999
Professori Pirjo Peltonen-Sainio

Suomen Maataloustieteellisen Seuran Hallituksen puheenjohtaja

Kiitokset

Maataloustieteen päivien järjestelytoimikunta kiittää seuraavia asiantuntijoita, osallistumisesta tässä julkaisussa olevien kirjoitusten arviointiin:

Alakukku, Laura
Haapala, Hannu
Hakala, Kaija
Heikkilä, Terttu
Holopainen, Jarmo
Högmander, Harri
Jaakkola, Seija
Junnila, Sanni
Karhu, Saila
Klemola, Jouko
Kontturi, Markku
Kulmala, Airi
Kurppa, Sirpa
Kärenlampi, Lauri
Peltonen, Sari
Peltonen-Sainio, Pirjo
Pietola, Kyösti
Pietola, Liisa
Raininko, Kyösti
Rokka, Veli-Matti
Sippola, Jouko
Tahvonen, Risto
Tiilikkala, Kari
Turtola, Eila
Vanhatalo, Aila
Virkajärvi, Perttu
Yli-Halla, Markku

Sisällys

Ohjelma	3
Jäsenhaku	10
Esipuhe	11
Kiitokset	12
<i>Peltonen, S.</i> Tietotekniikka ympäristökuormituksen arvioinnissa	17
<i>Pitkänen, J.</i> Viljelytekniikan vaikutus pintavirtailuun peltoalueella	22
<i>Nuutinen, V.</i> Tilastollisia käsitteitä ja työvälineitä maaperän spatiaalisen vaihtelun ymmärtämiseen	34
<i>Kleemola, J.</i> Peltolohkotiedon soveltaminen viljelyssä	45
<i>Sipiläinen, T. & Ryhänen, M.</i> Katsaus politiikkavalintojen vaikutuksesta nurmitalouteen	51
<i>Aura, E. & Rinne, M.</i> Nurmisadon kehityksen mallintaminen	61
<i>Pärssinen, P.</i> Määrää vai laatua – nurmikasvijaostajan näkökulma	71
<i>Syrjälä-Qvist, L. & Tuori, M.</i> Nurmipalkokasveista säilörehua	81
<i>Virkajärvi, P. Sairanen, A. Nousiainen, J. & Kbalili, H.</i> Laiduntamisen tehostamisen mahdollisuudet Suomessa	90
<i>Nykänen-Kurki, P., Leinonen, P. Kuusela, E., Nykänen, A., Sormunen-Cristian, R. & Granstedt, A.</i> Luonnonmukaisen nurmituotannon erityispiirteet	97
<i>Suojala, T.</i> Porkkanan kasvu ja varastokestävyyden muuttuminen kasvukauden lopulla	106
<i>Palonen, P.</i> Talvenkestävyys ja sokerit vadelman versoissa ja silmuissa	112
<i>Hietaranta, T.</i> Mansikkalajikkeiston uusiutuminen	118
<i>Särkkä, L.</i> Hiililannoitus kasvihuoneessa	119
<i>Autio, J.</i> Tekovalotuksen vaikutus gerberan satomäärään keskitalvella	121
<i>Kaukoranta, T.</i> Kasvumallit kasvihuoneessa	127
<i>Mäki, H.</i> Toisen lyhytpäiväkäsittelyn vaikutus Korona-mansikan kukkien lukumäärään ja kukinnan ajoittumiseen	133
<i>Koponen, A.</i> Uusia koristekasveja Suomeen	140
<i>Jubanoja, S. & Heikkilä, M.</i> Liikennealueitten vihreyttäminen	145
<i>Valkonen, J.</i> Kasvien taudinkestävyysgeenit, niiden rakenne, toiminta ja käyttömahdollisuudet	151
<i>Metzler, M.</i> Kasvitauteja aiheuttavien gram-positiivisten bakteerien molekyyli- ja tautimekanismien selvitys: <i>Clavibacter michiganensis</i> subsp. <i>sepedonicus</i> -lajin virulenssitekijät	157
<i>Mäki-Valkama, T.</i> Virusgeenien käyttö perunan Y-viruskestävyyden lähteenä siirtogeenisissä kasveissa	160

<i>Lemmetty, A., Latvala-Kilby, S., Susi, P., Tuovinen, T. & Lehto, K.</i> Mustaherukan suonenkatotaudin aiheuttajan löytyminen ja määrittäminen PCR-tekniikalla	167
<i>Tambuanpää P.</i> Öljykasvien resistenssigeenien paikantaminen ja merkkiavusteinen valinta	172
<i>Rajala, A., Jackson, M., Onnela, M. & Peltonen-Sainio, P.</i> Kasvunsäätin kevätiljojen kasvua manipuloimaan	177
<i>Huusela-Veistola, E.</i> Torjunta-aineiden vaikutus peltoekosysteemissä	184
<i>Ojanperä, K., Vorne, V., Piblava, J.-M. & Tubkanen, M.</i> Muuttuvan ilmaston ja otsonin vaikutus perunan satoon ja laatuun	193
<i>Hakala, K.</i> Kestävätkö Suomen viljelykasvit tulevan ilmaston voimakasta UV-B -säteilyä sadon vaarantumatta?	199
<i>Saarikko, R.</i> Ilmastonmuutos ja sen vaikutus kevätiljojen viljelyyn Suomessa	206
Posteritiivistelmät	209
<i>Lindén, L. & Palonen, P.</i> Vadelman ja mansikan talvenkestävyyden parantaminen lajikevalinnan ja viljelytekniikan keinoin	211
<i>Laurila, J., Larkka, J., Tauriainen, A. & Rokka, V.-M.</i> <i>Solanum acaloe</i> (+) <i>Solanum tuberosum</i> -fuusiot viljellyn perunan monipuolistamisessa somaattisen hybridisaation avulla	212
<i>Manninen, O. & Nissilä, E.</i> Agronomisiin ominaisuuksiin vaikuttavien kvantitatiivisten geenilokusten paikantaminen ohralla	213
<i>Seppänen, M., Perälä, S., Somersalo, S. & Pehu, E.</i> Kylmänkestävästä villiperunasta (<i>Solanum commersonii</i> Dun.) tuotettu hybridijälkeläistö (<i>S. commersonii</i> x <i>S. tuberosum</i> SPV11) perunan kylmänkestävyydysmekanismien tutkimisessa	214
<i>Sevelius, N. & Somersalo, S.</i> Gerberalajikkeiden valinta alhaiseen valotasoon fotosynteesiominaisuuksien perusteella	215
<i>Hulshof, J. & Jurchenko, O.</i> Pollen as an alternative food source for <i>Orius laevigatus</i> (Heteroptera: Anthocoridae): a behavioural study	216
<i>Vänninen, I., Linnamäki, M. & Jaaksi, S.</i> Kalifornianripsäisen biologinen ja integroitu torjunta leikkoruusulla	217
<i>Hannukkala, A. & Avikainen, H.</i> Perunan harmaahilseen torjunta <i>Gliocladium catenulatum</i> -biofungisidilla	218
<i>Rantanen, T., Lehtinen, U. & Kurppa, A.</i> Perunan maltokaariviruksen uusi diagnostiikka	219
<i>Siimes, K., Laitinen, P. Rämö, S. & Eronen, L.</i> Viiden herbisidin sitoutumisesta suomalaisiin maihin	220
<i>Kirkkari, A.-M., Rajala, A., Peltonen-Sainio, P. & Mikkola, H.</i> Korjuu- ja kuivaus-tekniikalla kuorettoman kauran laatua varmistamaan	221
<i>Mäkelä, P. & Peltonen-Sainio, P.</i> Villiriisistä viljelykasvi Suomeen?	222
<i>Mäkelä, P., Muurinen, S., Kleemola, J. & Peltonen-Sainio, P.</i> Kevätviljonon yhteytämistuotteiden ja välivarastointi tutkimuskohteena	223

<i>Sormunen-Cristian R., Nykänen-Kurki, P. & Leinonen, P.</i> Yksivuotiset nurmipalkko- kasviseokset lammaslaitumena	224
<i>Tarmi, S., Tuuri, H. & Helenius, J.</i> Pientareiden kasvillisuustyypit ja lajimoni- muotoisuus neljällä eri maantieteellisellä alueella	225
<i>Kuusela, E. & Vuorinen, A.</i> Lannoituksen vaikutukset rehusatoihin ja maan biologiseen aktiivisuuteen omavaraisessa maidontuotannossa	226
<i>Mattila, P., Joki-Tokola, E. & Tanni, R.</i> Ammoniakkin haihtuminen nurmelle levitetystä naudan lietelannasta ja nurmisadossa korjatun typen määrä	227
<i>Nykänen-Kurki, P., Kemppainen, E., Miettinen, E., Tontti, T., Sippola, J. & Jalava, T.</i> Ammoniumtiosulfaatin ja naudan lietelannan vaikutus rehuohran rikkipitoisuuteen ja rikkipitoisten aminohappojen määrään	228
<i>Tontti, T. & Mäkelä-Kurtto, R.</i> Uusi laatuluokitusjärjestelmä kompostituotteille	229
<i>Joukainen, S.</i> Happamien sulfaattimaiden valumavesien hallinta	230
<i>Puustinen, M., Koskiabo, J., Puumala, M. & Riibimäki, J.</i> Vesiensuojelukosteikot maatalouden valumavesien käsittelyssä	231
<i>Saarela, I. & Saarela, K.</i> Ravinteiden saatavuuden ja sijainnin määrittäminen maasta ohutkerrosdiffuusiotekniikoilla	232
<i>Salo, Y. & Saarela, I.</i> Kalkituksella lisää satoa ja ravinteiden hyväksikäyttö paremmaksi	233
<i>Partala, A., Mela, T. Esala, M. & Ketoja, E.</i> Ruokohelven lannoitetyypin hyväksikäyttö	234
<i>Alakukku, L.</i> Pohjamaan tiivistymisen pitkäaikaisvaikutus maahan ja viljojen satoon	235
<i>Palojärvi, A., Alakukku, L., Martikainen, E., Niemi, M., Vanbala, P., Jörgensen, K. & Esala, M.</i> Maaperän biologiset, fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet luonnonmukaisessa ja tavanomaisessa viljelyssä	236
<i>Pietola, L., Laxåback, J. & Tanni, R.</i> Kynnöstä luopumisen vaikutukset kevätiljojen juuriston kasvudynamiikkaan savimaalla	237
<i>Simojoki, A. & Jaakkola, A.</i> Dityppioksidin emissio sadetusta hietasavimaasta	238

Tietotekniikka ympäristökuormituksen arvioinnissa

Simo Peltonen

Maatalouden tutkimuskeskus, Luonnonvarojen tutkimus, Luonnonvarat, 31600 Jokioinen

Eroosiota estävät toimenpiteet painottuvat Suomessa suurelta osin vesistöjen suoje-
luun. Niillä pyritään vähentämään maata-
louden aiheuttamaa typpi-, fosfori- ja sedi-
menttikuormaa. Eroosiota ja ravinteiden
huuhtoutumisen aiheuttamaa vesistöjen re-
hevöitymistä voidaan vähentää valitsemalla
peltolohkoille mahdollisimman sopiva vil-
jelykasvi ja –menetelmä. Valintaa voidaan
helpottaa vertailemalla erilaisten viljelytoi-
menpiteiden vaikutuksia alueen eroosio- ja
huuhtoutumisherkkyyteen.

Maatalouden tutkimuskeskuksessa
(MTT) kehitetään Suomen oloihin soveltu-
vaa, paikkatietoon ja eroosiomallinnukseen
perustuvaa suunnittelumenetelmä VER-
HOa. Sen avulla voidaan arvioida eri viljely-
toimenpiteiden ja niiden tilakohtaisen si-
joittumisen vaikutusta eroosioon ja ravinne-
kuormitukseen. VERHOn avulla eroosiota
estävät toimenpiteet voidaan ohjata alueil-
le, joilla niillä on suurin merkitys.

*Avainsanat: tietotekniikka, maatalous, ympäristönsuojelu, eroosio, ravinteet,
huuhtoutuminen, paikkatietojärjestelmät, GIS, Internet*

Information technology in assessing environmental load: VERHO – a farm-scale planning system

Abstract

The prevention of erosion in Finland focuses largely on water pollution control and on reducing nitrogen, phosphorus and sediment losses due to agriculture. However, erosion and the eutrophication of water systems caused by the leaching of nutrients can be reduced by applying the best management practice for each site. The choice can be facilitated by comparing the effects of different agricultural practices on erodibility of the area.

An application called VERHO, based on GIS and erosion modelling, is being developed to identify the critical source areas for erosion and nutrient losses and to estimate the effects of different agricultural practices on soil erosion and nutrient load. With the aid of VERHO, erosion prevention actions can be directed to the areas where they are most effective.

Key words: information technology, agriculture, environmental protection, erosion, nutrients, leaching, geographical information systems, GIS, Internet

Johdanto

Tehokas elintarviketuotanto sisältää sekä tuotannollisia että ympäristöllisiä riskejä. Harkitsemattomasti toteutetut viljelytoimenpiteet voivat johtaa yleisten viljelyolosuhteiden ratkaisevaan heikkenemiseen, jolloin peltomaan tuotto saattaa vähentyä jo lyhyelläkin aikavälillä. Heikosti kasvipeitteinen maaperä altistuu myös helposti pintavalunnan aiheuttamalle eroosiolle ja ravinteiden huuhtoutumiselle aiheuttaen ympäristön tilan huononemisen.

Optimoidusti toteutetuilla viljelytoimenpiteillä ravinteiden huuhtoutumista voidaan vähentää ja samalla parantaa viljelymaan tuottavuutta ja sadon määrää. Näin voidaan yhdistää eri intressitahojen elintarvikkeiden tuotantoon ja viljelymaahan kohdistuvat odotukset. Ravinteiden tehokas käyttö lisää viljelymaan tuotantokapasiteettia kasvattaen sadon määrää. Tällöin pellot ovat kasvipeitteisinä vastustuskykyisiä eroosiolle ja ravinteiden huuhtoutumiselle. Paras mahdollinen tuotantokyky voidaan tällä tavoin säilyttää ja samalla minimoida tuotannosta aiheutuvat ympäristöhaitat.

Maatalouden tutkimuskeskuksessa (MTT) kehitetään Suomen oloihin soveltuvaa, paikkatietoon ja eroosiomallinnukseen perustuvaa suunnittelumenetelmää. Sen avulla voidaan arvioida eri viljelytoimenpiteiden ja niiden tilakohtaisen sijoittumisen vaikutusta eroosion ja ravinnekuorituksen suuruuteen. Kehitysprojektinsa mukaan VERHOksi nimettyä (Viljelytekniikka, Eroosio ja Ravinteiden Huuhtoutuminen maatilamittakaavassa) suunnittelumenetelmää voidaan käyttää Internet-selaimella, jolloin se on helposti ja laajasti hyödynnettävissä.

Menetelmät

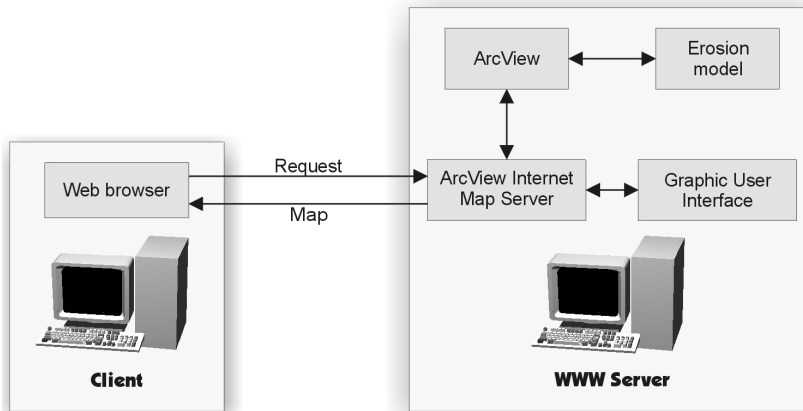
Simulointimalli

Eroosiomääriä on jo pitkään voitu arvioida matemaattisten mallien avulla, jolloin useiden erilaisten tilanteiden simulointi on mahdollista ilman kalliita ja aikaa vieviä kenttäkokeita. Suunnittelumenetelmässä käytetään eroosioherkkyyden ja -määrien sekä ravinnekuorituksen arvioimiseen eroosio- ja huuhtoutumismallia, joka on muokattu Suomen ympäristökeskuksessa ja MTT:ssa kehitetyn ICECREAM-mallin pohjalta. Malli arvioi eroosiomääriä ja -herkkyyttä USA:ssa kehitetyn USLE-yhtälön (Universal Soil Loss Equation) avulla. Sen perusteella voidaan simuloida tutkittavan alueen erodoitumista erilaisissa olosuhteissa. Myös Suomessa tehtyjä kenttäkokeita on hyödynnetty kalibroitaessa mallia Suomen olosuhteisiin sopivaksi.

Paikkatietojärjestelmä

Eroosio- ja huuhtoutumismallin käyttöä ja tarvittavan datan hankintaa voidaan helpottaa merkittävästi yhdistämällä malli paikkatietojärjestelmään. Yhdistäminen lisää molempien tuottaman tiedon arvoa ja perinteisen eroosiomallinnuksen tuloksiin voidaan liittää spatiaalinen ulottuvuus ja havainnollinen esitystapa.

VERHO-suunnittelumenetelmässä ArcView -paikkatieto-ohjelmisto ja muokattu ICECREAM -eroosio- ja huuhtoutumismalli on yhdistetty yksinkertaisen graafisen käyttöliittymän ja yhteisen tietokannan avulla. Mallin tarvitsemat parametrit luetaan karttatasojen ominaisuustiedoista, joista osa tuotetaan automaattisesti paikkatietoanalyysien avulla ja osa on käyttäjän määriteltävissä. Käyttäjä voi interaktiivisesti antaa ja muuttaa käyttöliittymässä esitettyjä parametrejä, jotka lähetetään paikkatietojärjestelmään muokattavaksi eroosiomallille soveltuvaan muotoon.



Kuva 1. Tiedon siirto VERHOn eri komponenttien välillä.

Internet

Paikkatietojärjestelmien ulottuvuuksia on lisätty viime vuosina liittämällä niitä yhteen www-selainten kanssa. Kommunikointi paikkatieto-ohjelmiston ja selaimen välillä voidaan toteuttaa Java-ohjelmoinnin avulla (Kuva 1). Siten sovellus on kaikkien niiden tavoitettavissa, joilla on Internet-yhteys. Paikkatieto-ohjelmistoa käytetään edelleen kartan piirtämiseen sekä tiedon muokkaamiseen, mutta käyttöliittymänä toimii Java-ohjelmointikielillä laadittu sovellus.

Suunnittelumenetelmän toiminta

VERHO-sovellus on toteutettu ArcView Internet Map Serverin sekä Java-ohjelmointikielen avulla interaktiivisena Internetissä (Kuva 2). Käyttöliittymä toimii siten, että käyttäjä valitsee ensin kartalta haluamansa peltolohkot ja sen jälkeen alasvetovalikoista määriteltävät parametrit. Seuraavaksi käyttäjä hyväksyy antamansa parametrit painamalla Apply-painiketta. Tämän jälkeen tiedot siirtyvät paikkatieto-ohjelmaan ja käytettävään laskentamalliin, jossa analyysit tehdään. Eroosiomalli lukee paikkatietojär-

jestelmän tuottamat sisääntulotiedot ja tekee niiden perusteella analyysin eroosion tai ravinteiden huuhtoutumisen määrästä. Analyysin antama tieto talletetaan yhteiseen tietokantaan. Tämän perusteella tuotetaan eroosio- ja huuhtoutumisherkkyysskartta.

Suunnittelumenetelmän tuottama kartta voidaan tulostaa paperille sekä tulevaisuudessa myös ladata digitaalisena tiedostona käyttäjän henkilökohtaiselle tietokoneelle hyödynnettäväksi GIS-ohjelmistoissa ja viljelysuunnitteluohjelmistoissa. Näin sovelluksen antamia tuloksia voivat hyödyntää maatalousyrittäjien ja neuvonta- ja ympäristöviranomaisten lisäksi maankäytön suunnittelua sekä kestävä elintarviketuotantoa harjoittavat yritykset. Tuloksellisen käytön edellytyksenä ovat ainoastaan tarkastelualueen perustiedot, jotka on mahdollista saada esim. viljavuustutkimuksesta.

Lopuksi

Paikkatietojärjestelmän sekä eroosio- ja huuhtoutumismallin yhdistämisen tuloksena syntyvän sovelluksen käyttäminen on tehty mahdollisimman yksinkertaiseksi. Käyttö ei vaadi myöskään kalliita investoin-



Kuva 2. Suunnittelumenetelmän graafinen käyttöliittymä.

teja, jolloin sovelluksella on hyvät mahdollisuudet muodostua käytännön työvälineeksi viljelijöille. Sovellus on toteutettu interaktiivisena Internetissä, jolloin ohjelmaan saa yhteyden tavallisen selaimen välityksellä. Sovelluksen avulla käyttäjä voi helposti paikallistaa eniten vesistökuormitusta aiheuttavat alueet ja arvioida, kuinka tietyt toimenpiteet kyseisillä lohkoilla vaikuttaisivat

vesistöön tulevan kuormituksen suuruuteen. Eroosiota ja huuhtoutumista vähentävät toimenpiteet voidaan tämän jälkeen ohjata suurimman kuormituksen aiheuttaville alueille sekä arvioida eri toimenpiteiden vaikutus kokonaiskuormitukseen.

Viljelytekniikan vaikutus pintavirtailuun peltoalueella

Jyrki Pitkänen

*Maatalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, Peltokasvit ja maaperä,
31600 Jokioinen, jyrki.pitkanen@mtt.fi*

Pintavirtailun aiheuttama eroosio- ja ravinnekuormitus vesistöihin on merkittävä ympäristöongelma. Topografian ja säätekijöiden lisäksi useat peltomaan fysikaaliset ominaisuudet ovat tärkeitä pintavalunnan synnyssä. Viljelytekniikalla voidaan muuttaa merkittävästi näitä ominaisuuksia. Koska pintavalunnan osuus kokonaisvalunnasta on Suomessa suurin syksyllä syyssateiden aikana ja keväällä lumen sulaessa, erityisesti syksyn viljelytoimenpiteillä on suuri vaikutus pintavirtailun kokonaismäärään.

Ojien toiminnan varmistaminen ja maan tiivistämisen välttäminen ovat keskeisiä toimenpiteitä pintavirtailun vähentämisessä. Perusmuokkaus lisää merkittävästi maan pintakerroksen läpäisykykyä ja pinnanvarastoa muokkaamattomaan maa-

han verrattuna vähentäen pintavalunnan riskiä. Rinneoloissa myös muokkauksen suunnalla voi olla suuri merkitys pintavirtailun synnyssä. Kasvipeitteen määrään voidaan vaikuttaa viljelytekniisesti melko helposti. Toistaiseksi on kuitenkin epäselvää, mikä rooli itse kasvipeitteellä on pintavalunnan tai eroosion torjunnassa Suomen oloissa.

Uudet fysikaalisperusteiset mallit, joissa voidaan hyödyntää GIS-tekniikkaa, kykenevät periaatteessa ennustamaan realistisesti pintavirtailun määrää. Näiden mallien hyödyntäminen suomalaisissa maaperä- ja sääoloissa kaipaa lisätutkimusta varsinkin lumen sulamisen hydrologian sekä viljelytekniikan vaikutusten osalta.

Avainsanat: eroosio, kasvillisuus, lumi, sulaminen, mallintaminen, muokkaus, ravinteiden huuhoutuminen, maa-aines, pintavalunta, pellot, viljely

Effect of soil management on surface runoff at field scale

Abstract

Surface runoff is linked to various types of environmental problems such as erosion and loss of nutrients and pesticides absorbed by the topsoil or in solution. It is heavily dependent not only on weather conditions and topography but also on soil management. At field scale, several hydrological processes control the amount of surface runoff: infiltration, surface cover and storage, flow resistance, macroporosity and soil moisture. Each one of these processes is affected by agricultural practices.

Under Finnish weather conditions, surface runoff is most marked in autumn and spring. Thus, soil management after harvest is crucial in minimizing the risk of runoff. A good soil structure obtained by proper soil management and a well opera-

ting drainage system play a major role in the prevention of surface runoff. Tillage increases infiltration and depression storage in topsoil to a considerable extent; likewise the direction of tillage may have an important effect on surface runoff on field slopes. Soil management also affects the crop/residue cover. However, it is not clear exactly what role the cover plays on runoff or erosion under Finnish soil and weather conditions.

The results presented here are based on research done by the EU project 'Effective land management for surface runoff control' (FAIR CT95-0458), which aimed at defining a series of environmentally friendly soil management scenarios to minimise surface runoff in an agricultural area.

Key words: erosion, vegetation, snow, melting, modelling, tillage, nutrient leaching, soil, surface runoff, soil management, surface roughness, fields, cultivation

Johdanto

Pintavirtailun aiheuttama eroosio- ja ravinkuormitus vesistöihin on yksi merkittävimmistä peltoviljelyn aiheuttamista ympäristöongelmista. Monien Euroopan maiden kansallisten ympäristöohjelmien (Suomessa maatalouden ympäristöohjelma) tavoitteena on pintavalunnan aiheuttamien ongelmien vähentäminen (Sibbesen 1997). Ohjelmissa esitetään mm. muutoksia maan kasvipeitteisyyteen ja suositellaan suoja-kaistojen tai -vyöhykkeiden sekä monivuotisten viherkesantojen perustamista vesistöjen varrelle. Mainitut toimenpiteet vaikuttavat usein vain välillisesti pintavirtailuun, jolloin itse pintavirtailun syntyy vaikuttavat tekijät jäävät vähemmälle huomiolle.

Pintavalunta on ilmiö, johon vaikuttavat pääasiassa seuraavat tekijät: sateen intensiteetti ja kesto (talvella lumen sulaminen), peltoalueen topografia, kasvipeitteen vedenpidätyskyky, maan painannevarasto ja vedenläpäisevyys sekä maan kosteus. Viljelytoimenpiteet vaikuttavat merkittävästi pintavirtailun synnyssä tärkeisiin maan ominaisuuksiin. Esimerkiksi muokkaus muuttaa voimakkaasti mm. maanpinnan kasvipeitteen määrää sekä pintakerroksen huokostilaa ja painannevarastoa. Toisaalta raskaiden koneiden aiheuttama maan tiivistyminen voi merkittävästi heikentää maan vedenläpäisevyyttä, mikä lisää pintavalunnan riskiä.

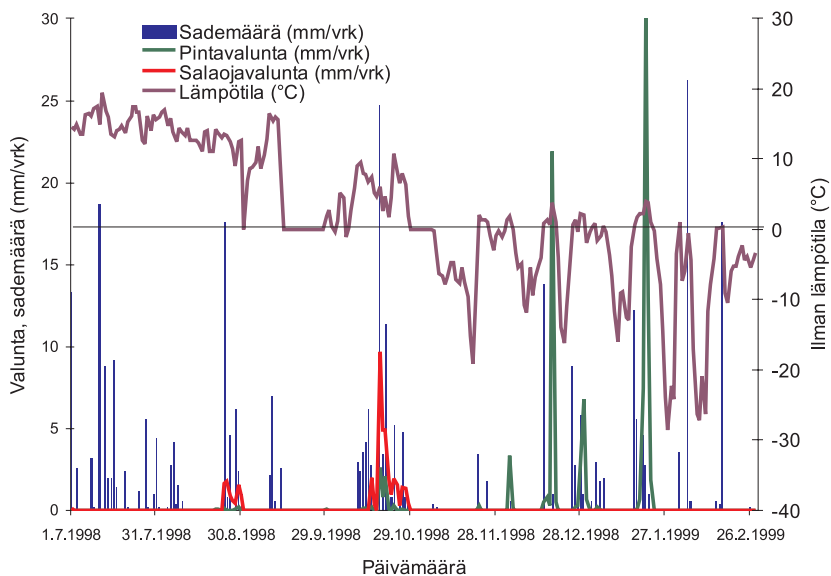
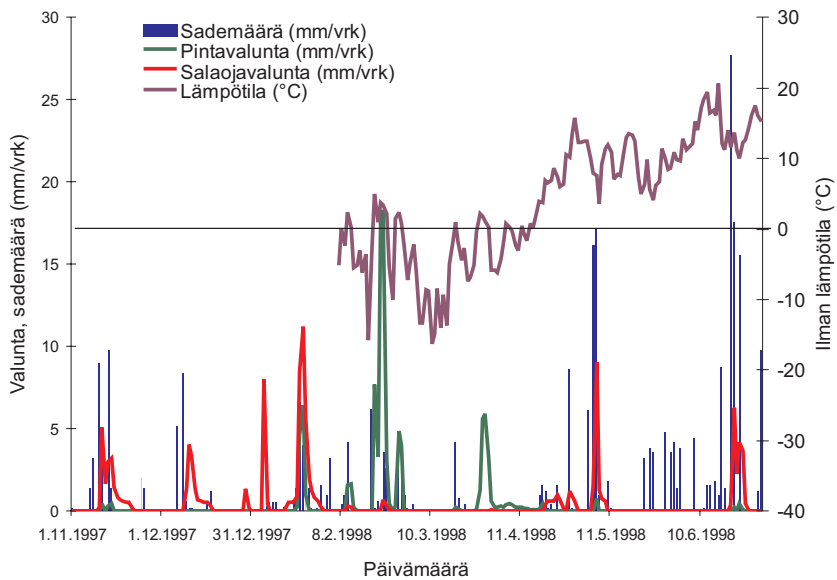
Tässä artikkelissa esitetyt tutkimus- ja mallitustulokset ovat suurelta osin peräisin juuri päättyneestä Euroopan unionin rahoittamasta seitsemän maan tutkimushankkeesta 'Effective land management for surface runoff control' (FAIR CT95-0458), jonka tavoitteena oli selvittää eri viljelymenetelmien vaikutusta pintavirtailun syntyyn ja määrään. Hankkeen tärkein lopputulos on vielä kehitteillä oleva asiantuntijajärjestelmä, jonka avulla viljelijä ja neuvoja voivat arvioida viljelytoimenpiteiden vaikutusta pintavirtailun määrään peltovalunta-alueella.

Pintavaluntahuiput syksyllä ja kevättalvella

Pintavalunnan osuus valunnasta on Suomen olosuhteissa suurin keväällä lumen sulassa ja syksyllä syysateiden aikana. Lumen sulamisella on keskeinen vaikutus pintavaluntahuippujen muodostumisessa (Hyvärinen 1986). Etelä-Suomessa talvi ($T_{\text{vrk}} < 0^\circ\text{C}$) kestää noin 120–140 päivää. Koska vuotuinen sadanta on melko tasaisesti jakautunut eri vuodenojoille, lumena tulevan sateen osuus on noin 30–40 % koko vuoden sademäärästä (Kuusisto 1986). Niinpä lumipeitteen sulaminen on merkittävä valunnan aiheuttaja. Pintavalunnan osuus kokonaisvalunnasta on suuri lumen sulamisen aikana myös siksi, että peltomaan huokosto on kevättalvella yleensä osin tai kokonaan jäässä, mikä olennaisesti vähentää maan kykyä varastoida ja läpäistä sulamisvettä.

Suomessa keskimääräinen sateen intensiteetti on varsin alhainen päävalumakausien, syksyn ja kevään, aikana (Katajisto 1969). Sateen intensiteetti on harvoin Suomen oloissa niin suurta, että se itsessään voisi aikaansaada pintavaluntaa. Tämäntyyppisissä sateissa pisaroiden liike-energia on niin pieni, etteivät ne aiheuta mainittavaa maapartikkelien hajoamista (Davies & Payne 1988). Sateen aiheuttamaa pintavaluntaa syntyy yleensä vain silloin, kun maan huokosto ja painannevarasto on vedellä kylästynyt pitkän sadejakson jälkeen tai maan huokosto on jäässä.

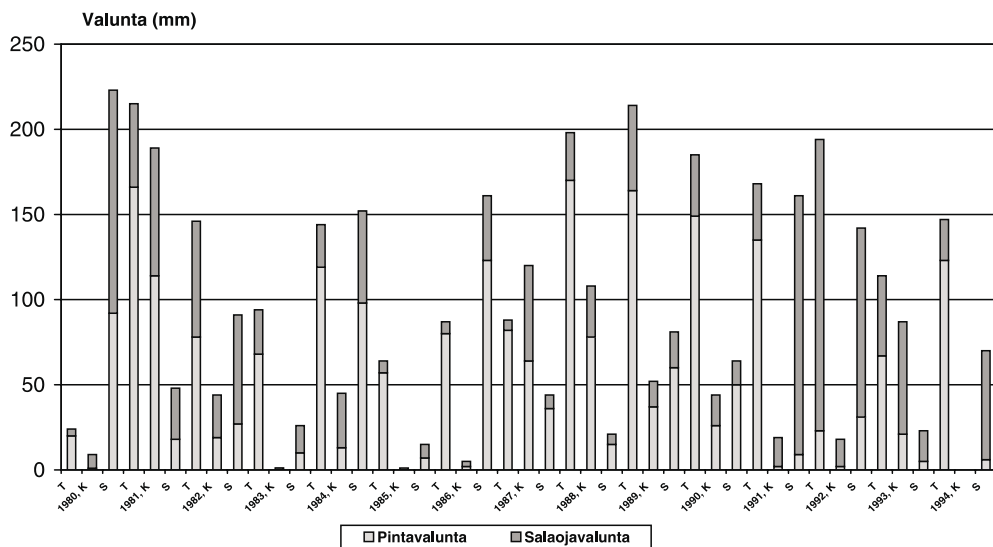
Kuvassa 1 on esitetty pinta- ja salaojaväluuntamittausten tuloksia kahdeksan hehtaarin peltovalunta-alueella Jokioisten Lintupajussa. Tutkimuksen aikana peltolohkolla kasvoi säilörehunurmi. Noin puolen toista vuoden mittausjakson aikana lähes kaikki pintavalunta keskittyi lumensulamistahtumiin mittauskentällä. Lumen sulamisen aikaan vesisateet lisäsivät selvästi pintavalunnan määrää (Kuva 1). Vaikka seurantajakso on melko lyhyt, voidaan tuloksista päätellä, että kasvukausien aikana tältä nurmilohkolta tuli vain hyvin pieniä



Kuva 1. Pinta- ja salaojavalunta kahdeksan hehtaarin peltovalunta-alueella Jo-
kioisten Lintupajussa 1.11.1997–30.6.1998 (1a) ja 1.7.1998–28.2.1999 (1b) vä-
listen mittausjaksojen aikana. Tutkimuksen aikana peltolohko oli säilörehunur-
mena.

määriä pintavaluntaa. Jopa vuoden 1998
märissä oloissa pintavaluntaa ei juuri synty-
nyt sulan maan aikana, vaan liikavesi virtasi
salaojien kautta pois lohkolta (Kuva 1b). Li-

säksi rehevän nurmikasvuston käyttämä
vesi vähensi olennaisesti valuntariskejä kas-
vukauden aikana.



Kuva 2. Pitkäaikaiset mittaustulokset pinta- ja salaojavalunnasta Kotkanojan huuhtoutumiskentällä Jokioisissa. Mittausperiodit olivat talvi + kevät (T, 1.1.–30.4.), kesä (K, 1.5.–31.8.) ja syksy (S, 1.9.–31.12.). Viidentoista vuoden aikana kentällä oli useampia erilaisia koejärjestelyjä (aineisto: Eila Turtola, MTT).

Sulamis- ja jäätymisjaksot lisäävät pintavaluntaa

Syysateiden ja lumen sulamisen suuri merkitys pintavalunnan synnyssä näkyy hyvin Maatalouden tutkimuskeskuksen (MTT) Kotkanojan huuhtoutumiskentän pitkäaikaisissa mittauksissa (Kuva 2). Viidentoista koejakson aikana vuosittaiset pintavaluntahuiput olivat useimmiten talvipäivinä (1.1.–30.4), jolloin lumi sulii jäätyneellä maalla.

Jos talven aikana on useampia sulamis- ja jäätymistapahtumia, pintavalunnan määrä kokonaisvalunnasta muodostuu usein kerta kerralta suuremmaksi (Kuva 1a). Esimerkiksi talvella 1997–1998 joulukuussa Lintupajun valuntakentällä ensimmäinen leuto jakso ja lumen sulaminen aiheuttivat vain salaojavaluntaa. Seuraavassa sulamisjaksossa tammikuussa oli jo pinta-

virtailua, mutta salaojavalunnan osuus oli vielä suurempi kuin pintavalunnan. Helmikuun puolenvälin ja maaliskuun vaihteen sulamisjaksoissa valunta oli pääasiassa pintavaluntaa.

Lumen sulaminen ja sulamisvesien jäätyminen sykleinä talven mittaan vähentävät maan kykyä läpäistä vettä. Jäätyessään vesi tukkii makrohuokostoa, jolloin vesi ei enää pääse salaojiin. Myös maan pinnalle voi muodostua talven mittaan vettä läpäisemätön jääkuori. Kuinka nopeasti maan huokosto tukkeutuu jäätyneen seurauksena, riippuu siitä, kuinka paljon maassa on makrohuokosia ja kuinka suuri osuus niistä on veden täyttämää ilman kylmetessä. Jos maa on jo syksyllä lähes vedellä kyllästetys-tilassa ja talvi tulee nopeasti, voi maan huokosto olla läpäisemätön jo alkutalvesta lähtien. Näin kävi Lintupajun mittausjakson toisena syksynä vuonna 1998, jolloin maa oli jäätyessään märkä (Kuva 1b).

Maan rakenne

Säatekijät, topografia ja maalaji ovat tärkeitä tekijöitä pintavalunnan muodostumisessa, mutta niihin ei voida suoraan vaikuttaa. Viljelytoimenpiteiden avulla näiden tekijöiden vaikutuksia pintavirtailuun voidaan kuitenkin joko lisätä tai vähentää. Pintavalunnan riski lisääntyy, jos maanpinta läpäisee huonosti vettä ja pintamaan huokostilavuus on pieni tai se on jo vedellä kyllästynyt. Maan pintakerroksessa ja jankossa tulisi olla riittävästi makrohuokosia ($\phi > 0,03$ mm), jotka kykenevät varastoimaan sateen tai sulamisvesien tuoman lisäveden, jotta pintavirtailua ei pääsisi syntyään.

Viljelytekniikalla on sekä suoria että epäsuoria vaikutuksia maan huokostilaan. Perusmuokkauksen (kyntö, kultivointi) yhteydessä maahan syntyy runsaasti makrohuokosia. Edullisissa oloissa tehdyllä muokkauksella saadaan jäykällä savilla aikaan melko kestävä huokosrakenne, joka säilyy syksystä kevääseen. Kevyillä savilla ja hiesumailla syksyisen muokkauksen kuohkeuttava vaikutus vähenee voimakkaasti syksyn sateissa ja lumen sulamisen yhteydessä. Syksyisellä muokkauksella vaikutetaan myös välillisesti siihen, missä kosteudessa maa jäätyy. Kuohkea, runsaasti huokosia sisältävä maa ei yleensä ole yhtä märkä pintaosistaan kuin hyvin matalaan muokattu tai muokkaamaton maa.

Tiivistyminen lisää pintavirtailua

Maan tiivistyessä makrohuokosten osuus maassa ja maan vedenläpäisevyys pienenevät, mikä lisää pintavalunnan riskiä. Pintavalunnan vähentämiseksi maan tiivistämistä tulisi välttää erityisesti syksyllä. Syysmuokkauksen tekeminen edullisissa oloissa, jolloin maa ei vielä ole liian märkää, vähentää toisaalta tiivistymisriskiä ja toisaalta muokkauksen maata kuohkeuttava vaikutus

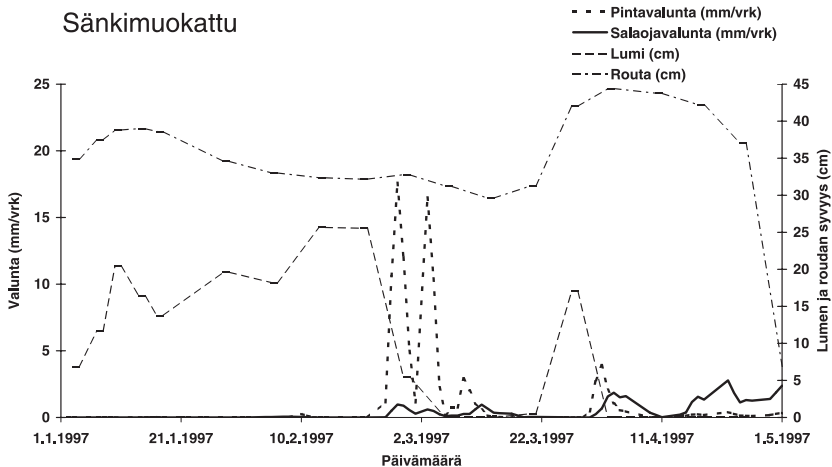
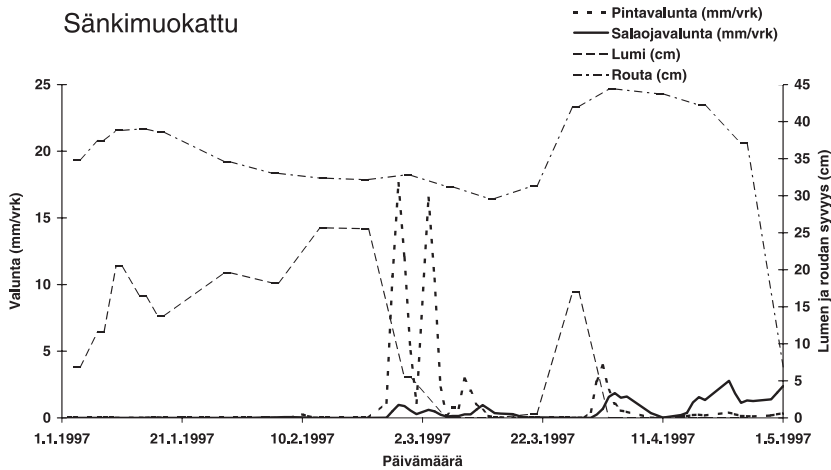
on tehokkainta. Koneiden maata tiivistävää vaikutusta voidaan vähentää mm. välttämällä suuria akselipainoja ja alentamalla työkoneen renkaiden pintapainetta.

Peltojen ojitus on keskeinen viljelytekniinen toimenpide pintavalunnan vähentämiseksi. Salaojituksen parantamisen vaikutus pintavaluntaan näkyy selvästi Kotkanojan valuntamittauksissa (Kuva 2). Vuonna 1991 toteutettu uusintaojitus vähensi selvästi pintavalunnan osuutta kokonaisvalunnasta (Turtola & Paajanen 1995).

Joissain tapauksissa jo oikean muokkaussyvyyden valinta saattaa olla ratkaisevaa. Kotkanojan huuhtoutumiskentällä vesi virtasi kynnyksellä maalla valumahuipujen aikana salaojiin, kun taas hyvin matalaan sänkimuokatussa maassa valunta oli pääasiassa pintavaluntaa (Kuvat 3a ja 3b). Vaikka mittaustulokseen vaikuttivat muutkin tekijät kuin muokkaussyvyys (mm. erot veden varastointikyvyssä, huokosmäärissä, maan jäätyiskosteudessa jne.), oli tällä huonosti läpäisevällä savi- ja maalla hyvin tärkeää se, että perusmuokkaussyvyys ulottui lähelle salaojakaivannon täytemaata. Tällöin irtovesi pääsi nopeasti ”ohivirtauksena” salaojiin ja pintavalunnan kumuloituminen rinteessä katkaistiin jokaisen imuojan kohdalla. Hyvin matalaan muokatussa maassa vesi ei päässyt esteettä salaojiin, joten pintavalunnan määrä kasvoi.

Kasvipeitteen vaikutukset ristiriitaisia

Kansainvälisesti yleisin keino torjua pintavalunnan aiheuttamaa eroosiota on jättää maan pintaan riittävä kasvipeite, joka estää maahiukkasten irtoamisen ja liikkeellelähdön. Johnsonin (1988) mukaan 20–30 %:n kasvipeite vähensi vesieroosiota 50–90 % verrattuna täysin paljaaseen maan pintaan. Bloughin et al. (1990) mukaan 30 %:n kasvipeite vähensi pintavalunnan määrää 25 % ja kiintoaineen kulkeutumista 50 %. Yhdysvalloissa CTC:n (Conservation Tillage

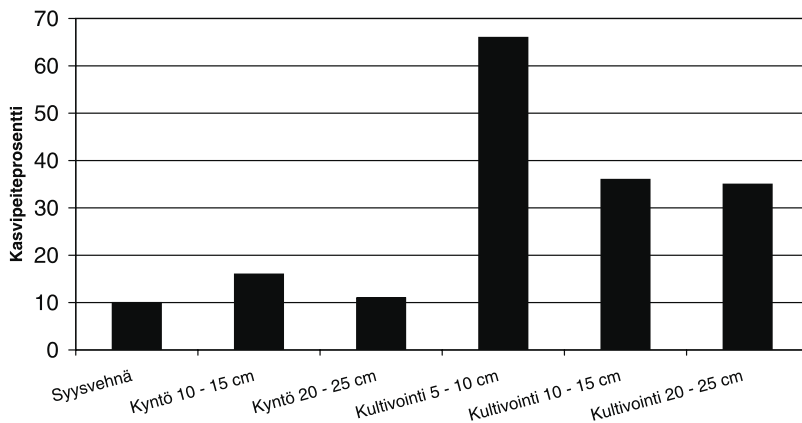


Kuva 3. Pinta- ja salaojavalunnan suhteet syyskynnetyllä (3a) ja matalaan (<10 cm) sänkimuokatulla (3b) maalla Kotkanojan huuhtoutumiskentällä talvella 1996–1997 (aineisto: Eila Turtola, MTT).

Information Centre) suositusten mukaan 30 % maanpinnasta täytyy olla kasvinjätteen peitossa kasvukauden jälkeen, jotta menetelmä luokiteltaisiin viljelymaata ja ympäristöä suojelevaksi (*conservation tillage*, Johnson 1988).

Ulkomainen tutkimustieto kasvipeitteen vaikutuksista ei aina ole käyttökelpoista Suomessa, koska sekä sadeolot, maalajit että viljelymenetelmät eroavat melkoisesti suomalaisesta käytännöstä. Tähänastisissa kotimaisissa tutkimuksissa on lähinnä selvi-

tetty eri viljelymenetelmien vaikutuksia eroosioon ja ravinteiden huuhtoutumiseen. Tutkimustulosten mukaan useimmat maatalouden ympäristötuessa hyväksytyt kasvipeitemuodot ovat kohtuullisen hyviä torjumaan maa-aineksen siirtymistä pellolta vesistöön. Samalla on partikkelifosforin huuhtoutuminen yleensä vähentynyt. Sen sijaan pintavirtailu ja liukoisien fosforin huuhtoutuminen on eräissä tapauksissa lisääntynyt jopa siinä määrin, että kasvipeitteen kokonaisvaikutus vesistöjä rehevöittäväan fosfo-



Kuva 4. Kasvipeiteprosentti syksyllä syysvehnämaassa (oras) sekä eri syvyisiin kynetyssä tai kultivoidussa maassa (ohran olki). Lukuarvo kertoo, kuinka paljon maasta on kasvuston tai kasvinjätteiden peittämää.

rikuormitukseen voi jäädä marginaaliseksi (Turtola & Puustinen 1998).

Kasvipeitteen laatua ja määrää ei ole määritelty ympäristötuen ohjeissa. Kasvipeitteen hyväksytyt toteuttamisvaihtoehdot sisältävät menetelmiä, joiden vaikutuksesta pellon pinnalle jäävän todellisen kasvipeitteen määrä ja laatu saattavat olla hyvin erilaisia (Kuva 4). Kasvipeitteen määrään voidaan vaikuttaa melko helposti viljelytekniisin keinoin. Pikaisesti olisi saatava tietoa siitä, onko itse kasvipeitteellä vaikutusta pintavaluntaan tai eroosioon vai onko pikemminkin kyse kasvipeitteen ja muokkauksen (huokostila, painannevarasto) yhdysvaikutuksista.

Vedenvarastointikyky

Satavan veden osuessa kasvipeitteeseen osa vedestä pidättyy kasvustoon ja osa valuu maan pinnalle. Kohdatessaan maan pinnan vesi imeytyy maahan. Mikäli maa ei kykene imemään vettä riittävällä nopeudella, osa vedestä jää maan pinnalle ja kerääntyy lähialueen painanteisiin ns. painannevarastoksi. Sateen edelleen jatkuessa olemassa oleva painannevarasto tulee täyteen, jolloin yli menevä vesi alkaa muodostaa pintavalun-

taa. Lumen sulaessa pintavalunnan synty on periaatteessa samankaltainen prosessi, mutta lisätekijänä on veden virtaaminen huokoisessa materiaalissa eli lumessa.

Pintavirtailua voidaan vähentää lisäämällä maan pintakerrosten painannevarastoa. Suuri maanpinnan karkeus ja maan huokoisuus vähentävät pintavirtausvesien kuljetuskapasiteettia hidastamalla pintavirtailua ja antamalla pintavedelle enemmän aikaa imeytyä maahan. Maanpinnan karkeus (*surface roughness*) on mm. Zobeckin ja Onstadin (1987) mukaan merkittävin kriteeri maan vedenvarastointikyvyssä. Pinnan karkeus voidaan määritellä usean osatekijän summaksi. Yksittäisten maapartikkelien aiheuttama karkeus on suuruusluokaltaan 0–2 mm, kun taas muokkauksen jälkeen maakokkareiden karkeus voi olla 100–200 mm. Systemaattiset erot maan karkeudessa syntyvät yleensä muokkausko-
neiden käytön seurauksena. Esimerkiksi kyntöaurojen viulut ja kultivaattorin muodostamat pitkittäiset vaot ja harjanteet ovat tällaisia (Römkens & Wang 1986).

Pinnan karkeutta kuvaamaan on kehitetty useita tunnuslukuja (Zobeck & Onstad 1987). Tunnusluvuista ehdottomasti yleisimmin käytetty esimerkiksi eroosiomalleissa on ns. satunnainen karkeusluku eli RR (*random roughness*, Allmaras et al.

1967). RR ja muut karkeuden kuvaamiseen kehitetyt tunnusluvut perustuvat pinnantasaisuusmittauksista saatujen arvojen hajontalukuihin (Allmaras et al. 1967, Zobeck & Onstad 1987). Varsinainen maan vedenvarastointikapasiteetti eli painannevarasto (DS, *depressional storage*) voidaan laskea joko suoraan pinnantasaisuusmittauksien aineistosta tai sitten johtamalla se matemaattisesti pinnankarkeuden tunnusluvuista (Kamphorst et al. 1999).

Painannevarastoon kiinnitettävä lisää huomiota

Suomalaista tutkimustietoa viljelytekniikan vaikutuksista maan painannevarastoon on viime vuosiin asti ollut hyvin niukalti. Edellä mainitussa Euroopan unionin tukemassa tutkimuksessa maan pinnan karkeusmittaukset ja painannevaraston laskeminen olivat kuitenkin keskeisellä sijalla. Suomalainen mielenkiinto kohdistui toisaalta eri muokkausvälineiden ja -syvyyden sekä toisaalta syysateiden ja lumen sulamisen vaikutuksiin painannevarastoon.

Syysmuokkaus (kyntö tai kultivointi, Kuva 5a) lisää maan karkeutta ja painannevaraston moninkertaiseksi muokkaamattomaan maahan (sänki, nurmi, Kuva 5b) verrattuna. Savimailla muokatun maan muoto kestää hyvin kevääseen asti, joten muokkauksen keinoin aikaansaatu vesivarasto säilyy koko valuma-ajan syksystä kevääseen.

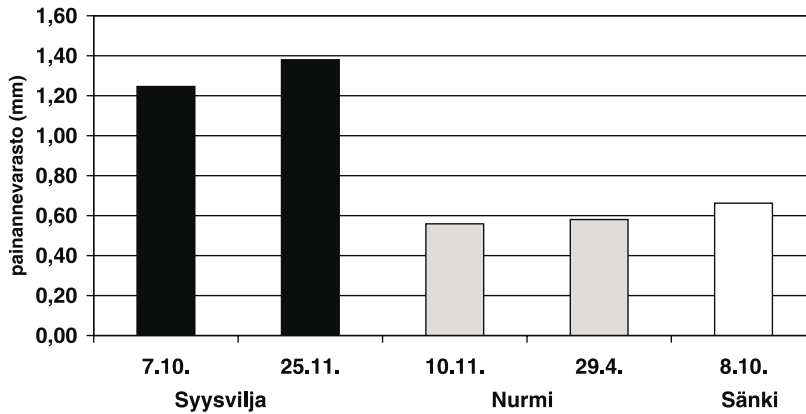
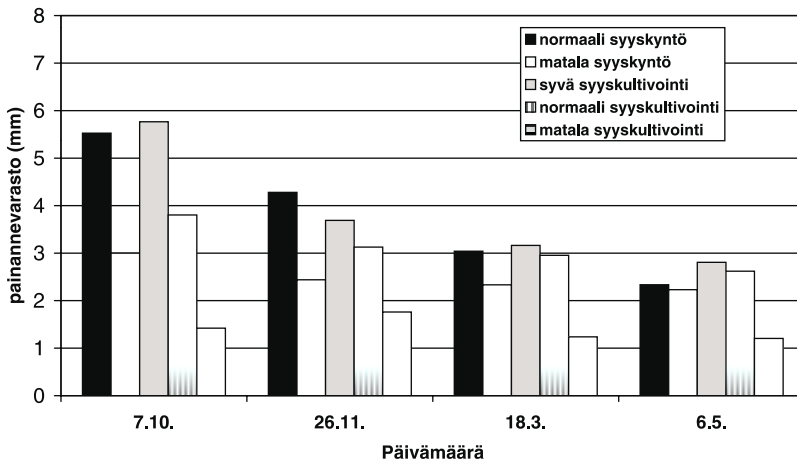
Myös systemaattisella maanpinnan karkeudella (esim. kyntöviilut) voi olla suuri merkitys pintavalunnan hallitsemisessa. Systemaattisen karkeuden kohdalla merkityksellistä on sen suunta esimerkiksi rinteeseen nähden (Edwards et al. 1994). Puustisen (1999) mukaan syyskyntö poikittain rinteeseen suuntaan vähensi huomattavasti pintavaluntaa muihin tutkimuksen koejäseniin verrattuna (mm. rinteeseen suuntaainen kyntö, matala sänkimuokkaus, sänki, syys-

vehnä). Rinteen suuntaan poikittain tehdyn kultivoinnin vaikutuksia pintavaluntaan ei ole selvitetty. Painannevarastomittauksen (Kuva 5a) perusteella voi kuitenkin päätellä, että suhteellisen syvän kultivoinnin vaikutus pintavaluntaan olisi samankaltainen kuin poikittainkyntöllä Puustisen (1999) tutkimuksessa. Jyrkemmillä rinteillä kultivointi on teknisesti huomattavasti helpompaa kuin kyntö.

Pintavirtailun mallinnus

Fysikaalisperusteisissa malleissa pintavaluntaan vaikuttavat tekijät on kuvattu matemaattisin mallein ja niiden vaikutusta lasketaan numeerisesti hetki hetkeltä yleensä yksittäisen pintavaluntailmiön mittaisina aikasarjoina. Tärkein pintavalunnan reitteihin vaikuttava tekijä on maan pinnan makrotason muodot. Keskeinen tekijä on pinnan kaltevuus, sillä se määrää pintavalunnan nopeuden ja suunnan kussakin tarkastelupisteessä.

Simulaatiomalleissa käytetään tyypillisesti kahta eri lähestymistapaa pinnanmuotojen kuvaamiseen. Helpoin ja laskenta-ajaltaan nopein tapa on jakaa tarkasteltava alue pinnanmuodoiltaan homogeenisiin alueisiin, joiden kuvitellaan seuraavan toisiaan ketjunomaisesti. Laskenta-ajaltaan hitaampi, mutta periaatteeltaan lähempänä todellisuutta, on menetelmä, jossa alue jaetaan matriisiksi (esimerkiksi LISEM-malli, De Roo et al. 1996). Matriisin rivit ja sarakkeet kuvaavat alueen koordinaatteja ja kukin matriisin arvo ilmoittaa maan pinnan korkeuden kyseisessä pisteessä. Tässä rasterimuotoisessa esityksessä veden valunta-suunta voidaan määrittää yksinkertaisesti siten, että valunnan oletetaan suuntautuvan tarkastelupisteestä aina siihen suuntaan, missä naapuripisteiden korkeus näyttää eniten laskevan. Menetelmä on periaatteeltaan yksinkertainen ja muodostuvat virtaussuunnat näyttävät usein hyvin realistisilta.



Kuva 5. Painannevaraston muutos syksystä kevääseen eri syvyyksiin kynnessä tai kultivoidussa maassa (5a) sekä painannevarasto syksyllä syysvehnä-, nurmi- ja sänkimaassa (5b). Arvot on laskettu johtamalla ne matemaattisesti satunnaisesta karkeusluvusta (RR).

Keskeinen ongelma tämän tyyppisessä valuntasuunnan määrittämisessä on muokkaussuunnan vaikutuksen huomioiminen. Tiukka pinnankorkeussuhteisiin perustuva menetelmä ei kykene erottamaan yksittäisen pisteen sisällä sijaitsevaa mikroskaalan pinnanmuotoa, joka voi vaikuttaa ratkaisevasti pintavalunnan suuntaan. Monia yrityksiä muokkaussuunnan huomioon ottamiseksi on tehty, mutta toistaiseksi nämä ovat olleet matemaattisesti hankalia toteuttaa.

Pintavalunnan määrään vaikuttaa merkittävästi maan pintakerroksen läpäisykyky, joka riippuu niin maan lähtökosteudesta kuin vedenläpäisevyydestäkin. Mallinnuksen kannalta maan infiltraatiokyvyn määrittäminen tiettyä ajankohtana on hyvin hankalaa. Erityisen selvästi ongelmat tulevat esille rakenteisilla savimailla, joilla valtaosa maan vedenläpäisevyydestä perustuu maan makrohuokostoon. Makrohuokosvirtauksen muutoksiin ja ennustamiseen on kehitetty malleja, mutta niiden soveltami-

nen pintavaluntamalleihin on vielä kehitysasteella. Pohjoiseurooppalaisissa olosuhteissa maan vedenläpäisykykyyn vaikuttaa myös huokoston jäätyminen talvella sekä maan routiminen. Pintavirtailu kuvataan malleissa yleensä laminaarisena uomavirtauksena. Lumiolosuhteissa tämä ei kuitenkaan ole perusteltua, sillä näissä olosuhteissa pintavalunta on paremminkin virtausta huokoisissa materiaalissa.

Lopuksi

Viljelytekniikka muuttaa ratkaisevasti pintavirtailun synnyn kannalta tärkeitä maaparametrejä. Tutkimustuloksia näistä muutoksista on suomalaisista maaperä- ja sääoloista sängen niukalti. Vasta viime vuosina on kiinnitetty enemmän huomiota esimerkiksi muokkauksen vaikutuksiin kasvipeitteen määrään tai maan pintakerrosten painannevarastoon.

Pintavirtailun mallintaminen on kehittynyt voimakkaasti. Uudet fysikaalisperus-

teiset mallit, joissa voidaan tehokkaasti hyödyntää paikkatietotekniikkaa, kykenevät jo periaatteessa hyvin realistisiin ennusteisiin pintavirtailun määristä. Näiden mallien hyödyntäminen Suomessa kaipaa kuitenkin lisäpanostusta toisaalta lumen sulamisen hydrologian tutkimukseen sekä laajempaan selvitykseen viljelytekniikan vaikutuksista maan ominaisuuksiin.

Kiitokset

Tulosten keräämiseen, analysointiin ja laskentaan sekä kuvien piirtämiseen ovat osallistuneet Juha Kilpeläinen, Eila Turtola, Risto Seppälä, Taisto Sirén ja Matti Ylösmäki, joille esitän parhaat kiitokseni. Pintavaluntatutkimusta ovat rahoittaneet Euroopan unioni (FAIR CT95-0458), maa- ja metsätalousministeriö (Kansainväliset hankkeet, Luonnonvarojen kestävä käyttö) sekä Maatalouden tutkimuskeskus (sitomattomat tutkimusvarat).

Kirjallisuus

Allmaras, R.R., Burwell, R.E. & Holt, R.F. 1967. Plow-layer porosity and surface roughness from tillage as affected by initial porosity and soil moisture at tillage time. *Soil Science Society of America Proceedings* 31: 550–556.

Blough, R.F., Jarrett, A.R., Hamlett, J.M. & Shaw, M.D. 1990. Runoff and erosion rates from slit, conventional and chisel tillage under simulated rainfall. *Transactions of the ASAE* 33: 1557–1562.

Davies, D.B. & Payne, D. 1988. Management of soil physical properties. In: Wild, A. (ed.). *Russell's soil conditions & plant growth*. p. 412–448.

De Roo, A.P.J., Wesseling, C.G. & Ritsema, C.J. 1996. LISEM: a single-event physically based hydrological and soil erosion model for drainage basins. I: Theory, input and output. *Hydrological Processes* 10: 1107–1117.

Edwards, G.M., Taylor, N.C. & Godwin, R.J. 1994. The influence of soil surface configuration on depression storage, runoff and soil loss. In: Rickson, R. J. (ed.). *Conserving soil resources, European perspectives*. Cambridge: CAB international. p. 387–397.

Hyvärinen, V. 1986. Valunta. In: Mustonen, S. (ed.). *Sovellettu hydrologia*. Mänttä: Vesiyhdistys ry. p. 152–225.

Johnson, R.R. 1988. Soil engaging tool effects on surface residue and roughness with chisel-type implements. *Soil Science Society of America Journal* 52: 237–243.

Kamphorst, E.C., Jetten, V., Guérif, J., Pitkänen, J., Douglas, J., Paz, A. & Iversen, B. 1999. How to predict maximum water storage in depressions from

soil roughness measurements. Soil Science Society of American Journal (submitted).

Katajisto, R. 1969. Rankkasateiden voimakkuus ja toistumistiheys Suomessa. Rakennushallitus. Tiedotuksia. 12 p.

Kuusisto, E. 1986. Sadanta. In: Mustonen, S. (ed.). Sovellettu hydrologia. Mänttä: Vesiyhdistys ry. p. 29–46.

Puustinen, M. 1999. Viljelymenetelmien vaikutus pintaerosioon ja ravinteiden huuhtoutumiseen. Suomen ympäristökeskus, Suomen ympäristö 285. 116 p.

Römken, M.J.M. & Wang, J.Y. 1986. Effect of tillage on surface roughness. Transactions of the ASAE 29: 429–433.

Sibbesen, E. (ed.). 1997. Set-aside and land-use regulations with relation to surface runoff in Finland, Denmark, Scotland, Netherlands, Belgium, France, and Spain. SP report 14. 56 p.

Turtola, E. & Paajanen, A. 1995. Influence of improved subsurface drainage on phosphorus losses and nitrogen leaching from a heavy clay soil. Agricultural Water Management 28: 295–310.

– **Puustinen, M.** 1998. Kasvipeitteisyys ravinnehuuhtoutumien vähentäjänä. Vesitalous 1: 6–11

Zobeck, T.M. & Onstad, C.A. 1987. Tillage and rainfall effects on random roughness: a review. Soil & Tillage Research 9: 1–20.

Tilastollisia käsitteitä ja työvälineitä maaperän spatiaalisen vaihtelun ymmärtämiseen

Visa Nuutinen

*Maatalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, Peltokasvit ja maaperä,
31600 Jokioinen, visa.nuutinen@mtt.fi*

Perinteiset tilastolliset menetelmät eivät sovellu parhaalla mahdollisella tavalla maaperän jatkuvanluonteisesti vaihtelevien ominaisuuksien tutkimiseen. Tässä artikkelissa esitellään esimerkkiaineiston avulla tilastollisia työvälineitä, joita voidaan hyödyntää maaperän tilavaihtelun tutkimisessa. Menetelmillä on jo varsin vakiintunut asema maaperätieteissä, mutta ne eivät ilmeisesti vielä ole kaikkialla saaneet osakseen ansaitsemaansa huomiota. Esiteltävät menetelmät perustuvat muuttujan vaihtelun spatiaalisen riippuvuuden tutkimiseen autokorrelaatiokerrointen sekä geostatistisen lähestymistavan avulla. Jälkimmäinen metodo-

logia on erityisen hyödyllinen maaperätutkimuksessa. Siinä näytepisteiden eri etäisyysluokille laskettuihin semivariansseihin perustuva variogrammi mallitetaan, jolloin saadaan selkeä yhteenveto muuttujan tilavaihtelun luonteesta. Mallia käytetään hyväksi interpoloinnissa, jossa ennustetaan muuttujan arvoja näytepisteiden välialueille. Tuloksena saadaan muuttujan tilavaihtelua kuvaava kartta, jonka luotettavuutta on mahdollista arvioida objektiivisesti. Jälkimmäinen ominaisuus on erityisen arvokas paikkatietoon perustuvien maataloudellisten sovellutusten yleistyessä.

*Avainsanat: maaperä, vaihtelu, mallintaminen, tilastotiede,
geostatistiikka, spatiaalinen autokorrelaatio*

Statistical concepts and tools for understanding the spatial variation of soil

Abstract

Traditional statistical methods are not ideal for studying continuously varying soil properties. With the aid of an example dataset, this article reviews statistical tools that are more useful in the study of soil spatial variation. The methods are well established in the soil sciences but they may not have attracted all the attention they deserve. The methods presented here are based on the study of spatial autocorrelation and on the application of geostatistics. The latter is particularly useful in soil studies. In geostatistical analyses, semivariances are calcu-

lated for different spatial lags, and the resulting variogram is modelled. The model, which provides a concise summary of a variable's spatial continuity, is used in interpolating the values of the variable for unvisited sites. As a result, spatial variation can be presented as a smoothed map surface, the quality of which can be objectively evaluated. This property is of considerable value today with the increasing use made of agricultural applications based on spatial information.

Key words: soil, variability, modelling, statistics, geostatistics, spatial autocorrelation

Johdanto

Maaperän ominaisuuksille on luonteenomaista suuri vaihtelu paikasta toiseen siirryttäessä. Vaihtelu ilmenee kaikissa mittakaavoissa ja maaperän syntyprosessista johtuen se on pikemminkin jatkuvaa kuin selvärajaista (Burrough 1993). Kenttätutkimuksissa tieto maaperän ominaisuuksista kerätään tavallisesti pistemäisillä näytteillä, joiden perusteella tehdään laajempia alueita koskevia yleistyksiä. Usein tavoitteena on muodostaa kuva maaperän vaihtelusta tietyllä alueella, esimerkiksi tulevilla kenttäkoepaikalla. Tutkijan työkalupakki saattaa kuitenkin olla puutteellinen vaihtelun kvantitatiiviseen tarkasteluun. Perinteiset tilastolliset menetelmät olettavat esimerkiksi usein näytteiden olevan toisistaan riippumattomia. Tilassa jatkuvasti vaihtelevien, spatiaalisesti riippuvien, maaperämuuttujien kohdalla näin ei ole asianlaita (Trangmar et al. 1985).

Tilastotieteessä on kehitetty menetelmiä, jotka sopivat hyvin maaperän ominaisuuksien tilavaihtelun luonteen tutkimiseen, mallintamiseen sekä ominaisuuksien ennustamiseen näytepisteiden välialueille. Menetelmiä on sovellettu jo parikymmentä vuotta maaperätieteissä. Koska ne eivät aina sisälly maaperätutkijan peruskoulutukseen, menetelmät ovat voineet kuitenkin jäädä tehokkaasti hyödyntämättä.

Tämän artikkelin tarkoituksena on tarjota lyhyt, käytännöllinen johdatus eräisiin maaperätutkimuksessa hyödyllisiin tilanalyysin menetelmiin. Aihepiiristä on useita hyviä katsauksia, joissa myös paneudutaan menetelmien teoreettiseen perustaan. Sopivia artikkeleita lisäopintoihin ovat Trangmar et al. (1985), Burrough (1993), Robertson & Gross (1994) sekä Goovaerts (1998). Hyviä laajempia johdantoja ovat Bailey & Gatrell (1995) sekä Isaaks & Srivastava (1989).

Esimerkkiaineisto

Tutkimusalue – Koivulan pelto

Seuraavassa käytetään esimerkkinä Joensuu yliopiston Siikasalmen tutkimus- ja koeasemalla kerättyä aineistoa Koivulan peltolohkon maaperän ominaisuuksien vaihtelusta. Tutkimuksen tulokset on julkaistu aiemmin (Nuutinen et al. 1998), mutta tässä artikkelissa esimerkkimuuttujien analyysit on esitetty entistä yksityiskohdaisemmin. Pellolle perustettiin n. 1,4 ha:n kokoisen alueen kattanut, säännöllinen 4 × 8 -näytepistehila. Näytepisteitä oli yhteensä 32. Hila oli suunnikas, jonka lyhyempi sivu (75 m) oli n. pohjois-etelä -suuntainen ja pitempi sivu (175 m) n. itä-länsi -suuntainen. Näytepisteiden etäisyys näissä hilan pääsuunnissa oli n. 25 m. Tutkimusalue vietti loivasti lounaasta koilliseen suurimman korkeuseron ollessa n. 2 m. Spatiaalista analyysiä ajatellen aineisto on pieni, mutta se soveltuu analyysimenetelmien esittelyyn.

Muuttujat – hiesupitoisuus ja orgaaninen hiili

Esimerkkimuuttujiksi valittiin pintamaasta (0–10 cm) tehdyt hiesupitoisuuden (Hs-%; $\phi = 0,002\text{--}0,02$ mm) ja orgaanisen hiilen (C-%) mittaukset. Nämä muuttujat havainnollistavat varsin hyvin tila-analyysissä kohdattavia erilaisia tilanteita. Pellon Hs-% vaihteli välillä 13–63 % ja C-% välillä 1,5–3,5% (Taulukko 1). Kummankaan muuttujan jakauma ei poikennut normaalista 0,05:n riskitasolla, mikä on edullista jatkossa tehtävien analyysien kannalta.

Maaperän vaihtelu Koivulan pellolla

Jo pelkkä alkuperäisen mitta-aineiston tarkastelu karttakuvassa kertoo Hs-%:n

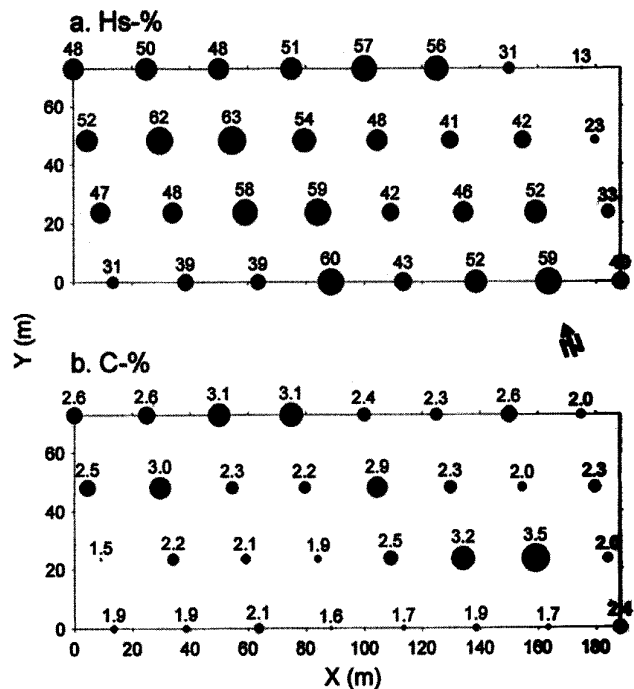
Taulukko 1. Pintamaan (0–10 cm) hiesupitoisuuden (Hs-%) ja orgaanisen hiilen pitoisuuden (C-%) vaihtelu Koivulan pellolla (N=32).

	\bar{X}	SD	CV	MIN	Q1	Med	Q3	MAX
Hs-%	46,5	11,6	24,9	12,9	40,9	48,3	55,2	63,1
C-%	2,3	0,5	21,3	1,5	1,9	2,3	2,6	3,5

kohdalla selkeästä tilavaihtelun jatkuvuudesta (Kuva 1a). Tilanne ei C-%:n kohdalla ole yhtä selväpiirteinen, vaikka senkin tapauksessa suuret mittausarvot näyttäisivät sijoittuvan lähemmäksi (Kuva 1b). Seuraavassa muuttujien tilajakauman luonnetta katsotaan tarkemmin kahdella eri tavalla. Ensinnä tarkastellaan spatiaalista autokorrelaatiota ja sen jälkeen sovelletaan ns. geostatistisia menetelmiä.

Spatiaalinen autokorrelaatio vaihtelun jatkuvuuden mittarina

Hyvä tapa selvittää alustavasti muuttujan tilavaihtelun luonnetta on tutkia, miten muuttujan korrelaatio itsensä kanssa muuttuu näytenpisteiden välisen etäisyyden kasvaessa. Tarkastelua varten hilassa esiintyvät näytenpisteiden väliset etäisyydet jaettiin neljään etäisyysluokkaan (Taulukko 2). Jotta vertailtavia pareja olisi runsaasti suurimmassakin etäisyysluokassa, tarkastelu etäisyyden ylärajaksi asetettiin 120 m. Esimerkiksi otettiin Hs-%:n vaihtelu pellolla ja tarkastelu tehtiin isotrooppisesti. Se tar-



Kuva 1. Pintamaan (0–10 cm) (a) hiesupitoisuuden (Hs-%) ja (b) orgaanisen hiilen pitoisuuden (C-%) vaihtelu Koivulan pellolla.

Taulukko 2. Isotrooppisissa analyyseissä käytetty näytepisteaineiston jako neljään etäisyysluokkaan.

Etäisyysluokka	Keskimääräinen etäisyys (m)	Etäisyyden yläraja (m)	Vertailtavat parit (N)
1	29	48	94
2	54	72	116
3	79	96	105
4	104	120	81

koittaa, että verrattaessa muuttujan arvoa näytepisteessä muihin näytepisteisiin, huomioitiin kaikissa ilmansuunnissa olevat muut pisteet.

Kun Hs-% -arvot piirretään vastakkain ensimmäisen etäisyysluokan päässä mitattujen arvojen kanssa, mittausten välillä näyttää olevan varsin selvä positiivinen korrelaatio (Kuva 2a). Seuraavan etäisyysluokan sirontakuviassa korrelaatiota ei voi enää havaita (Kuva 2b) ja suurimpaan etäisyysluokkaan tultaessa korrelaatio näyttää kääntyneen negatiiviseksi (Kuva 2c). Tavanomaisia korrelaatiokertoimia voi käyttää riippuvuuden voimakkuuden indeksinä: Spearmanin järjestyskorrelaatiokerroin pienenee +0.25:stä -0.20:een näytepisteiden etäisyyden kasvaessa (Kuvat 2a-c).

Spatiaalisen autokorrelaation tutkimiseen on kehitetty omia korrelaatiokertoimiin, joista yksi on Moranin I (esim. Bailey & Gatrell 1995). Kerroin on alunperin tarkoitettu toisiinsa rajoittuvien alueiden piirteiden autokorrelaation tutkimukseen, jolloin alueiden suhteellisen sijainnin mittarina käytetään niiden "vierekkäisyyttä". Menetelmä on kuitenkin sovellettavissa myös tässä käsiteltävänä olevaan tilanteeseen, jossa mielenkiinnon kohteena on näytepisteiden välinen etäisyys. Moranin I voidaan kirjoittaa seuraavasti:

$$I(h) = \frac{\{n \sum \sum w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})\}}{[W \sum (y_i - \bar{y})^2]}$$

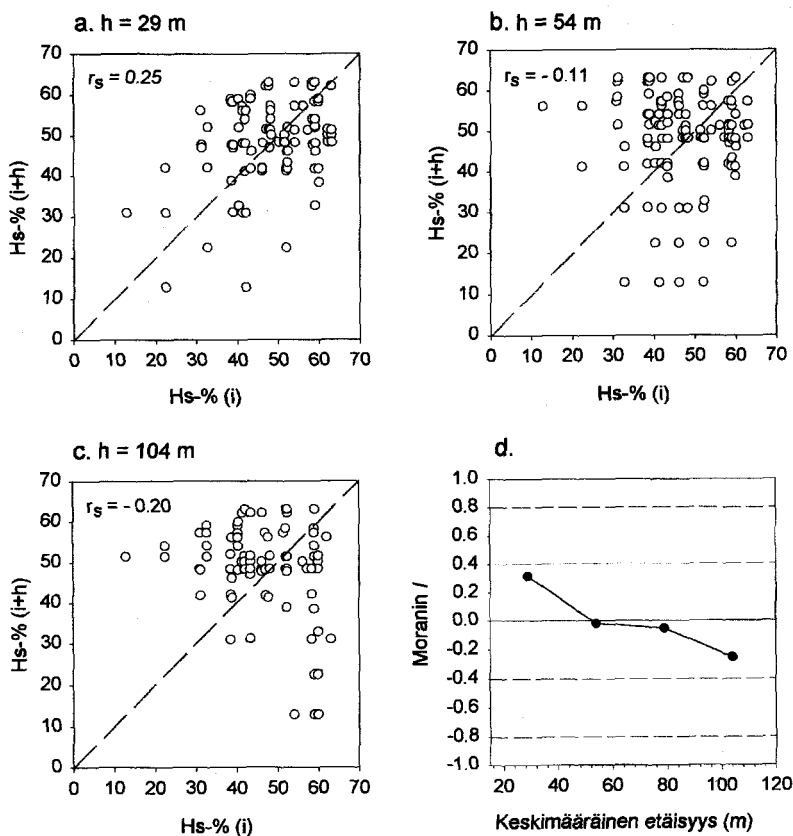
Yhtälössä $I(h)$ on autokorrelaatiokerroin etäisyysluokassa h , y_i :t ilmaisevat muuttujan arvon vertailtavassa näyteparissa, \bar{y} on muuttujan keskiarvo, n on näytepisteiden lukumäärä, w_{ij} on painokerroin, joka tässä

tapauksessa asetetaan 1:ksi ja W on korrelaatiokertoimen laskemisessa käytetty näytepisteerien määrä. Kuten tavanomaisestikin korrelaatiokertoimet, Moranin I on skaalattu välille (+1, -1).

Kun Moranin I lasketaan Hs-%:lle, tuloksena saatavasta korrelogrammista nähdään, miten ensimmäisen etäisyysluokan positiivinen autokorrelaatio hiipuu etäisyyden kasvaessa ja muuttuu lopulta negatiiviseksi (Kuva 2d). Moranin I :n tilastollinen merkitsevyys voidaan testata. Testaus tehtiin Hs-%:n kohdalla ensimmäiselle etäisyysluokalle ja siinä havaittu I :n arvo +0,32 poikkeaa tilastollisesti merkitsevästi nollassa ($p = 0,001$). Keskimäärin 29 m:n etäisyydellä toisistaan olevat mittaukset ovat siis merkitsevästi positiivisesti korreloituneita.

Geostatistinen näkökulma tilavaihteluun

Viiimeisen parinkymmenen vuoden aikana maaperätutkimuksessa on löytänyt tukevan jalansijan alunperin malminetsinnän tarpeisiin syntynyt geostatistiikka. Sen piirissä on kehitetty rikas valikoima menetelmiä tilassa mitattujen muuttujien spatiaalisen riippuvuuden tarkasteluun, tilavaihtelun tilastolliseen mallintamiseen sekä mallien hyödyntämiseen estimoitaessa muuttujien arvoja mittauspisteiden välialueille.



Kuva 2 Hiesupitoisuuden (Hs-%) spatiaalinen autokorrelaatio. (a–c) korrelaation voimakkuus eri etäisyysluokissa; h: näytepisteiden keskimääräinen etäisyys, r_s : Spearmanin järjestyskorrelaatiokerroin, katkoviiva: Hs-% (i) = Hs-% (i+h). (d) Moranin autokorrelaatiokerroin eri etäisyysluokissa.

Vaihtelun jatkuvuuden tarkastelu semivarianssin avulla

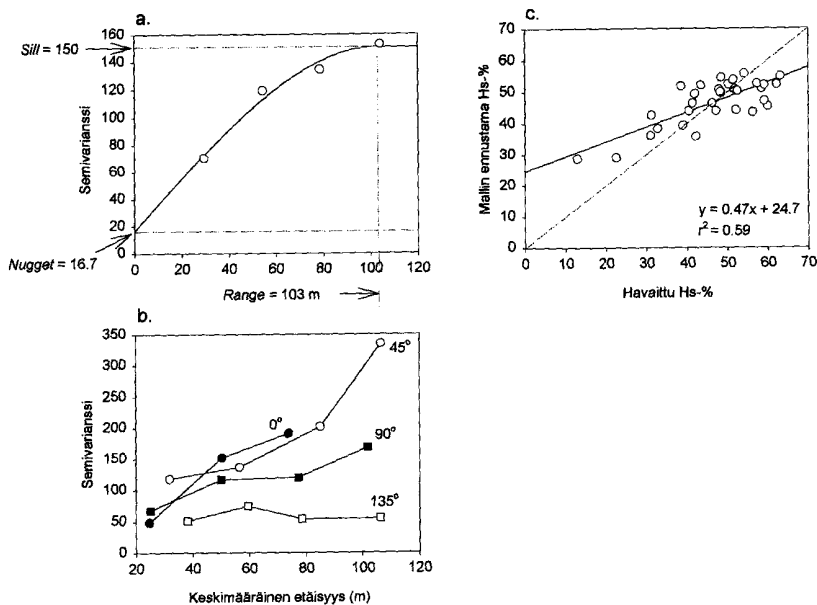
Geostatistisen analyysin lähtökohtana ovat havaintoaineistosta eri etäisyysluokille lasketut semivarianssit. Semivarianssi lasketaan aineistosta seuraavasti:

$$\gamma(h) = \{1/2 N(h)\} \sum (z_i - z_{i+h})^2.$$

Yhtälössä $\gamma(h)$ on semivarianssi etäisyysluokassa h, z_i on mitattu arvo pisteessä i, z_{i+h} mitattu arvo pisteessä i+h ja N(h) näyteparien kokonaismäärä etäisyysluokassa h.

Kun eri etäisyysluokille lasketut semivarianssit esitetään etäisyyden funktiona saadaan semivariogrammi tai lyhyemmin variogrammi.

Esimerkkimuuttujien geostatistisessa analyysissä käytettiin samaa aineiston jakoa neljään etäisyysluokkaan kuin edellä (Taulukko 2). Hs-%:lle lasketut isotrooppiset semivarianssit havainnollistavat hyvin autokorrelaation ja semivarianssin eroa. Siinä missä autokorrelaatio pieneni mittauspisteiden välimatkan kasvaessa (Kuva 2d), semivarianssi kasvaa (Kuva 3a). Myös C-%:n kohdalla semivarianssin suunta on lievästi kasvava ensimmäisestä kolmanteen etäi-



Kuva 3. Hiesupitoisuuden (Hs-%) geostatistinen analyysi. (a) Isotropisesti laskettu semivarianssi eri etäisyysluokissa (ympyrät) ja pienimmän neliösumman menetelmällä sovitettu sfäärinen malli. Englanninkielisten käsitteiden selitykset tekstissä. (b) Neljässä eri ilmansuunnassa lasketut semivarianssit. Suunnat on ilmaistu asteпоikkeamana vastapäivään kartan y-akselista. (c) *Cross-validation* -analyysi; katkoviiva: [havaittu Hs-%] = [mallin ennustama Hs-%], yhtenäinen viiva: regressiosuora.

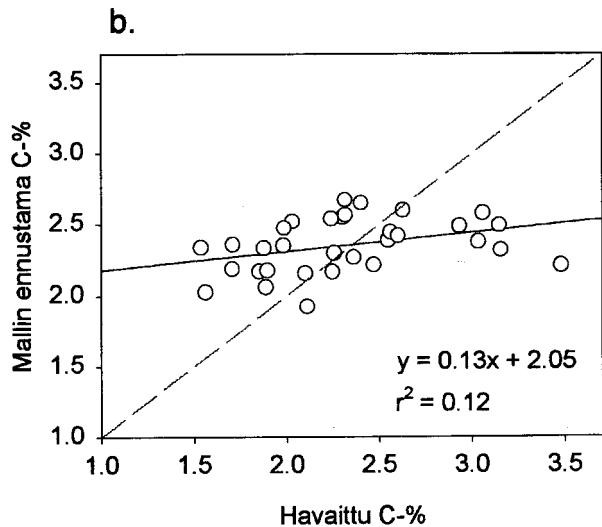
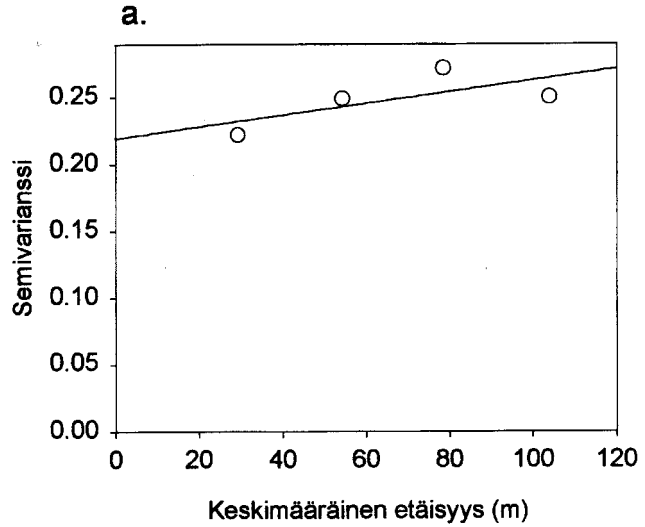
syysluokkaan saakka, mutta sellaista selkeää kasvua ja kasvun tasaantumista kuin Hs-%:n kohdalla ei voida havaita (Kuva 4a).

Hs-%:n kohdalla tehtiin myös anisotrooppinen analyysi laskemalla semivarianssit neljään eri ilmansuuntaan. Analyysissä vertailuun mukaan tulleet näytenpisteet poimittiin kunkin ilmansuunnan ympärille määrittelyyn runsaan $\pm 20^\circ$:een toleranssi-alueen sisäpuolelta. Vaihtelun luonne poikkesi selvästi ilmansuunnasta riippuen (Kuva 3b). Kartan y-akselin suunnassa sekä 45° :een suunnassa semivarianssi kasvoi varsin nopeasti. 90° :een suunnassa semivarianssin kasvunopeus oli keskimääräistä, kun taas 135° :een suunnassa semivarianssi pysyi etäisyydestä riippumatta lähes samalla tasolla. Tässä ei ole mahdollista paneutua anisotropian syihin, mutta ilmeisesti pellon pinnanmuodot paljolti selittävät ilmiötä.

Variogrammin mallintaminen

Geostatistisen analyysin seuraavassa vaiheessa mallitetaan semivarianssin avulla esille saatu muuttujan spatiaalinen riippuvuus rakenne sovittamalla matemaattinen malli laskettuihin semivarianssin estimaatteihin. Mallin avulla saadaan arvioitua spatiaalisen riippuvuuden voimakkuus kaikille etäisyyksille suurimpaan mielenkiinnon kohteena olevaan etäisyyteen saakka. Mitä tahansa käyrää ei mallittamisessa voida käyttää, sillä mallin on täytettävä tietyt matemaattiset ehdot. Käytetyimpiä malleja esittelevät esimerkiksi Webster & Oliver (1990, luku 12).

Hs-%:n variogrammiin sovitettiin ns. sfäärinen (engl. *spherical*) -malli (Kuva 3a) ja C-%:n variogrammiin lineaarinen malli (Kuva 4a). Näiden mallien katsottiin luonnehtivan hyvin muuttujien variogrammeja.



Kuva 4. Organisen hiilen (C-%) geostatistinen analyysi. (a) Isotrooppisesti laskettu semivarianssi eri etäisyysluokissa ja pienimmän neliösumman menetelmällä sovitettu lineaarinen malli. (b) *Cross-validation* -analyysi; katkoviiva: [havaittu C-%] = [mallin ennustama C-%], yhtenäinen viiva: regressiosuora.

Kummassakin tapauksessa malli on isotrooppinen, sillä näytepisteiden pieni määrä esti anisotropian huomioimisen mallituk- sessa.

Malleihin liittyy kolme keskeistä käsitettä (vrt. Kuva 3a). *Nugget* on mallin leikkauskohta semivarianssiakselilla. *Nugget*-varianssin ajatellaan koostuvan kahdesta komponentista: ensinnäkin sellaisesta spatiaalisesti riippuvasta vaihtelusta, joka esiintyy pienemmillä etäisyyksillä kuin pienin käytetty näytteenottoväli ja toiseksi mittausvirheistä. *Range* on se alue, jolla se-

mivarianssin arvo kasvaa. Tämä on erityisen kiinnostava osa variogrammia, sillä se kuvaa näytepisteiden välisen spatiaalisen riippuvuuden kantamaa. Mitä lähempänä näytepisteet ovat toisiaan *rangen* määrittelymällä alueella, sitä samankaltaisempia ne ovat. *Sill* on se taso, jota malli lähestyy semivarianssin kasvun taituttua ja se vastaa muuttujan varianssia koko aineistossa. Tälle alueelle kuuluvilla etäisyyksillä ei enää esiinny spatiaalista riippuvuutta näytepisteiden välillä.

Spatiaalisen riippuvuusrakenteen mallinnus onnistui Hs-%:n kohdalla: malli näyttää vangitsevan semivarianssin vaihtelun varsin hyvin (Kuva 3a). Selittämättä jäävän *nugget*-varianssin (16,7) osuus on vain 11 % *sill*-tasosta, jota malli lähestyy (150). Hieman yli 100 m:n etäisyydellä toisistaan olevat Hs-%:n mittausarvot eivät mallin mukaan enää ole spatiaalisesti riippuvia. Mallinnus oli vaikeampaa C-%:n kohdalla (Kuva 4a). Mallin *nugget*-varianssi (0,22) on peräti 81 % siitä varianssista, jonka malli saavuttaa suurimmalla 120 m:n tarkasteluetaisyydellä (0,27). Kentällä käytetty näytepisteitiheys oli ilmeisesti aivan liian harva C-%:n tilavaihtelun tyydyttävään mallintamiseen.

Arvojen ennustaminen näytepisteiden välialueille

Semivarianssin mallinnus palvelee paitsi tilariippuvuuden luonteen tutkimista myös muuttujan arvojen ennustamista, interpolointia, näytepisteiden välialueille. Geostatistiikassa käytössä oleva interpolointimenetelmä *kriging* nimittäin perustuu semivariogrammalliin. Mallin avulla määritetään ensinnäkin interpoloinnissa käytettävien ympäröivien mittauspisteiden etsintäsäde. Periaatteena tässä on, että *range*-alueen ulkopuolella olevat havainnot ovat liian kaukana ollakseen hyödyllisiä interpoloinnissa. Toiseksi, mallin perusteella määritetään kertoimet, joilla estimointia tehtäessä painotetaan interpoloitavan pisteen ympäristössä mitattuja havaintoarvoja. Tietyn mittauspisteen saama paino riippuu mallin määrittelemästä estimoitavan pisteen ja mittauspisteen riippuvuuden voimakkuudesta.

Kriging-menetelmiä on itse asiassa kokonainen perhe (esim. Burrough 1993). Tässä esimerkkinä on *block-kriging*, jota pidetään ominaisuuksiltaan erityisen sopivana maaperätutkimuksessa (Trangmar et al. 1985). Siinä tutkimusalue jaetaan pieniksi lohkoiksi (engl. *blocks*), joille interpolointi

tehdään. *Kriging*-estimaatti on (esim. Robertson & Gross 1994):

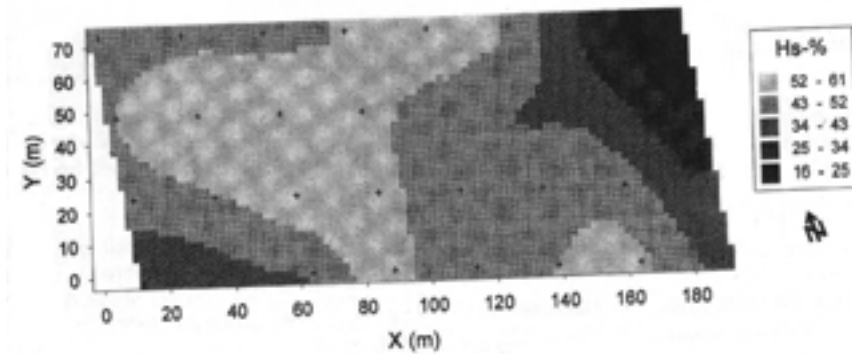
$$z(B) = \sum \lambda_i z(x_i).$$

Yhtälössä $z(B)$ on estimoitu arvo lohkossa B , $z(x_i)$ on mitattu arvo pisteessä x_i ja λ_i on mittausarvoon $z(x_i)$ liittyvä painokerroin. *Kriging* tuottaa harhattoman estimaatin interpoloitavalle lohkolle siten, että estimointivirhe on pienin mahdollinen.

Interpolointi tehtiin Hs-%:lle, jonka kohdalla tilariippuvuuden luonne näytti edellä tulleen mallitettua tyydyttävästi. Interpoloinnissa käytettiin pellon jakoa 2 m x 2 m:n lohkoihin (Kuva 5). Matalan Hs-%:n alue pellon lounaisnurkassa on korkeimmalla sijaitseva, maalajiltaan pellon kaikkein karkein alue. Hs-%:n pieneneminen pellon lounaisnurkkaa kohti taas johtuu savipitoisuuden noususta pellon alavimmalle osalle tultaessa.

Kriging-interpoloinnin suuri etu muihin interpolointimenetelmiin verrattuna on, että menetelmällä tuotettujen karttojen luotettavuutta voidaan tarkastella objektiivisesti. Ensinnäkin, *kriging* tuottaa varsinaisten interpoloitujen arvojen lisäksi arvioidun kunkin estimaatin luotettavuudesta (esim. Rossi et al. 1995). Lisäksi interpoloinnin onnistumista voidaan tarkastella *jackknife* ("cross validation") -menettelyllä. Siinä jokainen havaintopiste pudotetaan vuorotellen aineistosta pois ja lasketaan sille *kriging*-estimaatti muiden näytepisteiden perusteella. Kun pisteissä mitatut arvot piirretään sirontakuviassa vastakkain interpoloitujen arvojen kanssa, saadaan havainnollinen kuva estimoinnin onnistumisesta.

Interpolointi on Hs-%:n kohdalla silotanut muuttujan vaihtelua varsin voimakkaasti, mutta ennustaminen on kuitenkin onnistunut suhteellisen hyvin (Kuva 3c). Sen sijaan vaikeasti mallinnettavan C-%:n kohdalla mallin tuottamat ennusteet ovat usein kaukana mitatuista arvoista (Kuva 4b). Interpolointi ei vaikuta C-%:n kohdalla perustellulta ja tuntuu parhaalta tyytyä C-%:n tilavaihtelun kuvaamisessa yksin-



Kuva 5. *Block-kriging* binterpoloinnilla tuotettu karttapinta hiesupitoisuuden (Hs-%) vaihtelusta Koivulan pellolla. Näytepisteet on merkitty risteillä.

kertaisesti alkuperäisten havaintoarvojen esittämiseen (Kuva 1b).

Lopuksi

Maaperätutkijan käytössä on tällä hetkellä hyviä tilastollisia keinoja varsin tukevan niskaotteen saamiseen maaperän tilavaihtelusta. Menetelmät ovat arvokkaita jo pelkästään siksi, että ne tarjoavat systemaattisia menettelytapoja havainnollistaa usein varsin huonosti määritellyksi jäävää mittaus-ten riippuvuuden käsitettä. Paikkatietoon perustuvien maataloudellisten sovellusten yleistyessä (esim. Haapala 1995, Oliver 1999) tarve luotettavaan spatiaaliseen interpolointiin on kasvanut. Geostatistiikka tarjoaa tällä hetkellä ilmeisesti parhaan mahdollisen välineistön tuottaa perusteltuja karttoja maaperämuuttujien vaihtelusta (Trangmar et al. 1985, Burrough 1993). On myös kiinnostavaa havaita, että spatiaalisella analyysillä esiin saatua aineiston spatiaalista riippuvuusrakennetta voidaan käyttää hyödyksi varianssi- ja regressioanalyysissä (Littell et al. 1996; luku 9).

Laskentakapasiteetin kasvun sekä hyvien mikrotietokoneohjelmien ansiosta useimmat tila-analyysin menetelmät ovat tällä hetkellä varsin kätevästi kenen tahansa tutkijan käytettävissä. Esimerkiksi edellä tehdyt analyysit toteutettiin lähes kaikilta

osin edullisella GS+ pc-ohjelmalla (Gamma Design Software 1995). Kattava esittely tarjolla olevista spatiaalisen tilastotieteen ohjelmista löytyy www-sivulta <http://curie.ei.jrc.it/ai-geostats.htm>.

Geostatistiikka ja spatiaalinen tilastotiede yleisesti ovat nopeasti kehittyviä aloja, joiden merkitys maaperätutkimuksessa tulee todennäköisesti entisestään lisääntymään. Niiden tarjoamat menetelmät eivät epäilemättä ole yhtä hyödyllisiä kaikille maaperää tutkiville. Kuitenkin menetelmien peruskäsitteiden tunteminen on jokseenkin välttämätöntä maaperätieteellisen tutkimuksen seuraamisen kannalta. Onkin syytä huolehtia siitä, että aihepiiri tulee riittävästi huomioiduksi tutkijakoulutuksessa ja että maaperätutkimusta tekevissä laitoksissa kiinnitetään huomiota alan erityisosaamisen kehittämiseen.

Kiitokset

Kiitän Harri Högmanderia, Jyrki Pitkästä, Eila Turtolaa ja Elise Ketojaa kommenteista sekä Eeva Kuusela, Risto Seppälää ja Tais-to Siréniä yhteistyöstä kenttätutkimuksessa. Tutkimusta ovat tukeneet Suomen Akatemian (hanke no. 34038) sekä maa- ja metsätalousministeriö.

Kirjallisuus

Bailey, T.C. & Gatrell, A.C. 1995. Interactive spatial data analysis. Harlow: Longman Scientific & Technical. 413 p. ISBN 0-582-24493-5.

Burrough, P.A. 1993. Soil variability: a late 20th century view. *Soils and Fertilizers* 56: 529–562.

Gamma Design Software 1995. GS+. Geostatistics for the environmental sciences. Version 2.3. Plainwell, Michigan. 165 p.

Goovaerts, P. 1998. Geostatistical tools for characterizing the spatial variability of microbiological and physico-chemical soil properties. *Biology and Fertility of Soils* 27: 315–334.

Haapala, H.E.S. 1995. Position dependent control (PDC) of plant production. *Agricultural Science in Finland* 4: 239–350.

Isaaks, E.H. & Srivastava, R.M. 1989. An introduction to applied geostatistics. Oxford: Oxford University Press. 561 p. ISBN 0-19-505013-4.

Littell, R.C., Milliken, G.A., Stroup, W.W. & Wolfinger, R.D. 1996. SAS[®] system for mixed models. Cary, NC: SAS Institute Inc. 633 p. ISBN 1-55544-779-1.

Nuutinen, V., Pitkänen, J., Kuusela, E., Widbom, T. & Lohilahti, H. 1998. Spatial variation of an

earthworm community related to soil properties and yield in a grass-clover field. *Applied Soil Ecology* 8: 85–94.

Oliver, M.A. 1999. Exploring soil spatial variation geostatistically. In: Stafford, J.V. (ed.). Precision agriculture '99. Part 1. Papers presented at the 2nd European Conference on Precision Agriculture, Odense, Denmark, 11-15 July 1999. Bath: Sheffield Academic Press. p. 3–17. ISBN 1-84127-042-3.

Robertson, G.H. & Gross, K.L. 1994. Assessing the heterogeneity of belowground resources: quantifying pattern and scale. In: Caldwell, M.M. & Pearcy, R.W. (eds.). Exploitation of environmental heterogeneity by plants. San Diego: Academic Press. 429 p. ISBN 0-12-155070-2.

Rossi, J.-P., Lavelle, P. & Tondoh, J.E. 1995. Statistical tool for soil biology X. Geostatistical analysis. *European Journal of Soil Biology* 31: 173–181.

Trangmar, B.B., Yost, R.S. & Uehara, G. 1985. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy* 38: 45–94.

Webster, R. & Oliver, M.A. 1990. Statistical methods in soil and land resource survey. Oxford: Oxford University Press. 316 p. ISBN 0-19-823316-7.

Peltolohkotiedon soveltaminen viljelyssä

Jouko Kleemola

Kemira Agro Oy, Espoon tutkimuskeskus, PL 44, 02271 Espoo, jouko.kleemola@kemira.com

Maatalouden ulkopuoliset paineet ohjaavat osaltaan viljelijöitä tehostamaan tuotantoon ja/tai muuttamaan sitä ympäristöystävällisempään suuntaan. Tuotannon tehostamisessa voi käyttää apuna esimerkiksi paikkakohtaista viljelyä. Maatilatasolla tätä uutta tekniikkaa käytetään vielä suhteellisen vähän, mutta esimerkiksi Yhdysvalloissa vuonna 1996 tehdyn tutkimuksen mukaan 20 % maissinviljelyalasta käsiteltiin jollakin tavoin paikkakohtaisesti.

Paikkakohtaisessa viljelyssä on karkeasti ottaen kaksi toimintatapaa. Toimenpiteet suunnitellaan etukäteen ja pellolle mennään valmis toimenpidekartta mukana tai toimenpidetarve määritetään reaaliaikaisesti monitoroimalla maata tai kasvustoa ajettaessa pellolla. Etukäteissuunnitteluun on tällä hetkellä laajemmat mahdollisuudet.

Etukäteissuunnittelussa kyetään ottamaan monipuolisesti huomioon viljelyyn vaikuttavia tekijöitä, kuten maan rakenne, salaojituksen toimivuus, maan ravinnetila jne. Taustatiedon monipuolisuus on monissa tapauksissa tärkeää, koska vain yhden tekijän, esimerkiksi maan fosforitilan määrittäminen, ei tuota parannusta ympäristön, sadon tai talouden kannalta.

Reaaliaikaisen monitoroinnin kehitys on vielä hieman jäljessä etukäteissuunnittelusta, mutta esimerkiksi typpilannoituksen säätely pellolla ajettaessa on jo mahdollista. On hyvä muistaa, että paikkakohtainen viljely ei välttämättä vaadi mitään uutta viljelytietämystä. Aikaisemmin vain tila tai parhaimmillaan peltolohko on ollut käsiteltävä yksikkö – nyt se on jokin alue lohkon sisällä.

Avainsanat: viljely, täsmäviljely, havainnointi, seuranta, lannoitus, neuvonta, GPS

Application of precision farming in agriculture

Abstract

Economic and environmental pressures create needs to develop cultivation methods in agriculture. A recent technique that can be used to meet such needs is precision agriculture. This is currently used by only a few farms but the number is increasing. In the USA, where precision farming at farm level is more common than elsewhere, 20% of the maize cultivation area was treated with at least one precision farming technique in 1996. In general, precision farming can be applied in two different ways: by determining the need for field actions 1) in advance, before going into the field, and 2) on-the-go, when driving to and carrying out actions in the field. At present, the first case is

more common, the advantage being that a great number of input variables can be treated. Information on properties such as soil structure, drainage and soil nutrient content, can be taken into account. Proper background work is essential, as it is rarely enough to handle only one variable, e.g. soil phosphorus content, when seeking to determine the correct amount of fertilization. The on-the-go technique is less common, although equipment to adjust N fertilization on-the-go is already available. It is essential to keep in mind that new agronomic knowledge is not necessarily required in precision farming – old knowledge may still be of value; only the scale is different.

Key words: cultivation, observation, fertilization, extension activities monitoring, precision farming, sensing, GPS

Paikkakohtainen viljely yleistyy

Viljelijät tuntevat yleensä hyvin peltolohkonsa ja niiden sadontuottokyvyn vaihtelun. Viime aikoina yleistynyt vuokraviljely saattaa heikentää lohkojen tuntemusta, koska pelto ei enää ole viljelyssä samalla perheellä sukupolvesta toiseen. Tieto ei enää välity samalla tavalla kuin ennen. Kuitenkin peltojen yksityiskohtaisen tuntemuksen merkitys kasvaa koko ajan, koska tuotantoa on tehostettava talouden parantamiseksi ja ympäristökuormituksen vähentämiseksi.

Nykyaikaiset menetelmät ovat tuoneet uusia työkaluja entistä tarkempaan viljelyyn. Paikkakohtaisessa viljelyssä ei enää tarvitse luottaa pelkästään perimätietoon lohkon sisäisestä vaihtelusta, vaan tietoja esimerkiksi maan fosforitilasta voi paikantaa lohkolle muutaman metrin tarkkuudella satelliittien avulla. Samoin puimurista ennen paljain silmin tehtyjä havaintoja voi tallentaa tietokoneelle, jolloin vaihtelu lohkon eri paikoissa saadaan näkyviin havainnollisina värikarttoina. Yhdysvalloissa vuonna 1996 tehdyn tutkimuksen mukaan 20 % maissinviljelyalasta käsiteltiin jollakin tavoin paikkakohtaisesti. Eniten käytetty menetelmä oli paikkakohtainen maanäyteenotto, mutta lähes yhtä suosittua oli satomittarin käyttö puimurissa (Robert 1999).

Suomessakin on 1990-luvulla kehitetty paikkakohtaista viljelyä muun muassa Helsingin yliopiston maa- ja kotitalousteknologian laitoksella ja Maatalouden tutkimuskeskuksessa. Maanäytteiden otto on Suomessakin todennäköisesti suosituin paikkakohtainen toimenpide. Paikanmääritys tapahtuu useimmiten vielä ilman paikannuslaitteita, mutta viimeistään laitteiden halventuessa satelliitit otetaan varmasti käyttöön. Satomittarilla ja paikannuslaitteella varustettuja puimureita Suomessa on vasta

parikymmetä kappaletta ja traktoritietokoneen ohjaamia paikkakohtaiseen lannoitukseen tai muuhun toimenpiteeseen soveltuvia laitteita vieläkin vähemmän. Alalla on kuitenkin nähtävissä selvää kasvua.

Paikkakohtaisen viljelyn etuja

Kasvinviljely

- * lohkon eri osien satopotentialin tiedostaminen
- * rajoittavien tekijöiden etsiminen lohkon eri osissa
- * sadon arvon maksimointi käyttämällä panoksia tarpeen mukaan

Tilataso

- * toimenpiteiden kohdistaminen sinne, missä on eniten tarvetta
- * viljelyn tulosten jatkuva seuranta

Ympäristö

- * lannoitteiden, torjunta-aineiden ym. pannonen käyttö kasvien tarpeiden mukaan pienempi kuormitusriski

Jos tilalla on mahdollisuus käyttää paikkakohtaista tiedonhallintaa, sen hyödyntämistä ei kannata jättää ainoastaan pellolla tehtävien toimenpiteiden hallintaan. Toimenpiteiden optimoimiseksi on hyödyllistä esimerkiksi piirtää ravinnetasekarttoja. Tasehan lasketaan pellolle tuotavien ja sieltä vietävien ravinnemäärien erotuksena. Tasekarttojen tarkastelu vie ympäristöajattelua yhden askelen eteenpäin, koska positiivisten ja negatiivisten taseen tuottavien paikkojen tunnistaminen lohkon sisältä mahdollistaa toimet ongelmien ratkaisemiseksi. Ympäristölle ongelmallisissa paikoissa viljelijänkin tulos on yleensä huono, joten samalla kertaa voidaan ajaa molempien etua.

Miten paikkakohtaisen viljelyn edut voi realisoida?

Tutkimuksissa löytyy usein potentiaalisia etuja paikkakohtaiseen viljelyyn, mutta silti käytännön sovellutukset puuttuvat. Tietoa on nykyään entistä helpompi kerätä monenlaisilla antureilla ja mittareilla. Mittaus-tieto ei kuitenkaan vastaa tärkeimpään kysymykseen esimerkiksi lannoituksen kannalta: mihin kohtaan kannattaa panostaa ja mihin ei? Esillä on usein ollut lähestymistapa, jossa pellon huonoihin kohtiin ei panosteta, koska ne eivät kuitenkaan tuota lisäarvoa. Tämä menettely saattaa johtaa sato- ja laatuerojen lisääntymiseen lohkon sisällä, mikä aiheuttaa usein ongelmia satoa käyttävälle taholle. Maa-analyysinkään käyttö ei välttämättä tuota parannusta tilanteeseen. Saksalaisessa tutkimuksessa (Brenk et al. 1999) todettiin, että maan fosfori- ja kalitilanteen käyttö paikkakohtaisen lannoitussuunnitelman perustana ei toiminut edes alhaisen ravinnetilan maissa. Alueellinen ravinnetila ei korreloinut sadon kanssa. Usein käykin niin, että yksittäisten tekijöiden mittaaminen ei auta kohdentamaan lannoitusta tai muitakaan toimenpiteitä lohkon sisällä. Pellon kasvukunto muodostuu monesta eri osatekijästä ja siksi tarvitaan monipuolisempaa lähestymistä.

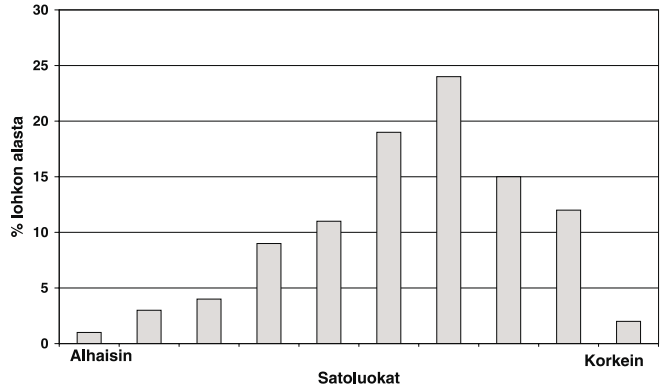
Etukäteissuunnitteluun perustuvat menetelmät

Fenton (1998) totesi pystyneensä keskittämään pellon sisäisen satovaihtelua muutamaa satoluokkaan niiden kymmenen vuoden aikana, jolloin hän on mitannut satoa paikkakohtaisesti (Kuva 1). Hän totesi kohdentaneensa satomittauksen perusteella tutkimuksia alueille, joilla sato oli alhainen. Hänen löytämiään alhaisen sadon syitä oli-

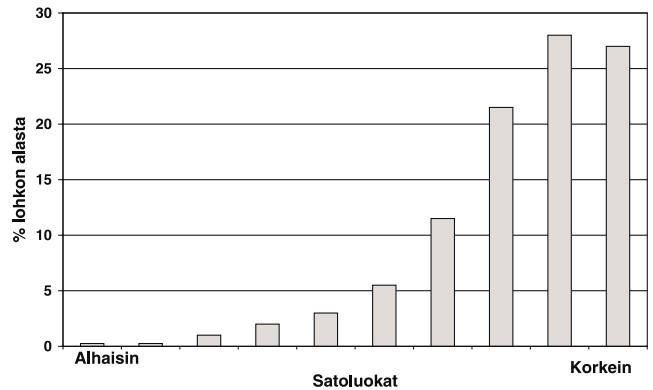
vat mm. paikalliset tuholaiset ja taudit, maan rakenne ja huonosti toimiva ojitus. Näiden ongelmien korjaustoimenpiteiden vaikutuksia ei välttämättä näe seuraavana vuonna, ja työn onkin oltava pitkäjännitteistä. Lohkon sisäisen satovaihtelun pienentyessä lannoituksenkin tehokkuus paranee, vaikka lohkolle käytettäisiin samaa lannoitustasoa lohkon kaikissa osissa. Lohkolle ei siis ehkä tarvitsisikaan välttämättä siirtyä lannoituksen paikkakohtaiseen säätelyyn, vaan tasoittamalla satovaihteluita voitaisiin edelleen antaa sama lannoitus koko lohkolle. Edellä kuvatun kaltainen etukäteissuunnittelu vaatii paljon vaivaa ja monipuolista osaamista, ja toteutus saattaa vaatia tilan ulkopuolisen neuvojan tukea. Lisäksi esimerkiksi maan vedenpidätyskyvyn vaihtelusta johtuvia satoeroja ei juuri pystykään tasoittamaan, jollei ota käyttöön sadetusta.

1990-luvulla maatilakäyttöön on kehitetty välineitä paikkakohtaisen suunnittelutyön avuksi. Esimerkiksi Kemira Agro on kehittänyt tietokoneohjelman, jolla voidaan suunnitella ja laatia karttoja viljelytoimenpiteiden toteuttamiseksi paikkakohtaisesti. Tällaiset suunnitteluohjelmat kykenevät yleensä ottamaan huomioon kaiken sen agronomisen tiedon, jota ennenkin on käytetty viljelytoimenpiteiden tekemiseen. Erona entiseen toimintatapaan on se, että kaikki asiat käsitellään paikkakohtaisesti lohkon sisällä. Lisäksi näiden ohjelmien on kyettävä tuottamaan tieto digitaalisessa muodossa, jotta toimenpiteiden suorittaminen automaattisesti traktoritietokoneen avulla on mahdollista.

Toinen mahdollisuus suunnitella toimenpiteitä etukäteen on käyttäjä esimerkiksi pellostä juuri ennen todennäköistä käsitelyhetkeä otettavia kuvia. Kanadassa toimii Prairie Agri Photo Ltd. (<http://www.prairieagri.com>), joka kuvaa peltoja lentokoneesta ja määrittelee lannoitustarpeen kuvien avulla. Myös satelliittikuvia on mahdollista käyttää pellolla tehtävien toimenpiteiden, kuten lannoitusmäärien ja tuholaiden tai tautien torjuntatarpeen määrittämiseen (Poilve & Aubert 1998). Sa-



Kuva 1. a) Satovaihtelu lohkolla x ennen paikkakohtaista tarkastelua. b) satovaihtelu lohkolla x, kun viljelytoimenpiteitä oli kohdennettu paikkakohtaisesti 10 vuoden ajan (Fenton 1998 mukaan).



telliittikuvien tukena voidaan käyttää maan pinnalla tehtäviä havaintoja. Kun lannoitustarve arvioidaan ennen pellolle menoa, voidaan välttää turhaa ajoa.

Ilma- ja satelliittikuvien osalta on todettava, että niiden hyödyntämistä maataloussovelluksissa on tutkittu parikymmentä vuotta, mutta ainakaan tieteellinen yhteisö ei ole saavuttanut yksimielisyyttä menetelmien luotettavuudesta. Tutkimuksia, joissa olisi vertailtu normaalia ja ilma- tai satelliittikuvilla tuettua viljelymenetelmää, ei juuri löydy. Lisäksi satelliittikuvien käyttämistä vaikeuttavat pilvisuus ja kuvien käsittelyn hitaus (esim. Kuittinen et al. 1998, Wollring et al. 1998). Monilla alueilla runsas pilvisuus saattaa estää kuvien ottamisen silloin, kun kasvit ovat lannoituksen kannalta tärkeässä kehitysvaiheessa. Hitaus kuvien käsittelyssä johtaa samaan lopputulokseen kuin pilvisuus: lannoitussuosituksista ei saada tarpeeksi nopeasti ja joustavasti viljelijälle.

Reaaliaikaiset toimenpiteet

Usein varsinkin pitkän kasvukauden oloissa, esimerkiksi Keski-Euroopassa, pellolla on joka tapauksessa käytävä lannoittamassa useamman kerran. Silloin on mahdollista käyttää esimerkiksi laitteita, jotka monitoroivat traktorin edellä olevaa kasvustoa ja säätävät traktorin perässä olevaa lannoitinta. Ajonaikainen maan monitorointi ei nykyteknikallakaan ole vielä mahdollista maatilamittakaavassa, vaikkakin tekniikoita mm. pH:n mittausta varten kehitellään (Viscarr Rossel & McBradney 1999). Wollring et al. (1998) sen sijaan esittelivät laitteen, jolla voidaan pellolla traktorilla ajettaessa monitoroida kasvuston tyyppitilaa ja säätää lannoitusta tämän mittauksen mukaan. Laite mittaa kasvuston saamaa ja heijastamaa säteilyä tietyiltä aallonpituusalu-

eilta, eli suorittaa saman toimenpiteen kuin satelliittimittaus, mutta välttää satelliittikuvien pilvisuus- ja reaaliaikaisuusongelmat. Laitteen mittaustulokset on edelleen kalibroitu kenttäkokeiden avulla vastaamaan lisälannoitustarvetta. Tälläkin menetelmällä on puutteensa. Se ei esimerkiksi toimi, jos taudit ovat alentaneet lehtien klorofyllipitoisuutta tai jos kasvusto kärsii rikin puutteesta (Wollring et al. 1998). Se ei myöskään kykene ottamaan huomioon, että maassa saattaa olla käyttökelpoista tyyppiä, joka tulee kasvien käyttöön esimerkiksi seuraavan sateen jälkeen. Joka tapauksessa edellä kuvatun kaltaiset laitteet yleistyvät, kunhan mittaustekniikka kehittyy edelleen.

Yhteenveto

Paikkakohtaisen viljelyn edut tuntuvat suurilta, mutta menetelmä vaatii usein in-

vestointeja tekniikkaan ja koneisiin. Puumuriin ei kuitenkaan välttämättä tarvita kalliita satelliittipaikannuslaitteita (GPS) tai satomittareita. Karttojenkin piirtäminen ja tietojen visualisointi niiden avulla onnistuu jo, kun käytössä on tietokone sekä paperilla oleva kartta pelloista. Toki käytössä on oltava paikkakohtaista tietoa lohkon sisältä, onpa se sitten GPS-laitteella tai kiintopisteillä paikannettua.

On hyvä muistaa, että paikkakohtainen viljely ei välttämättä vaadi mitään uutta viljelytietämystä. Aikaisemmin vain tila tai parhaimmillaan peltolohko on ollut käsiteltävä yksikkö – nyt se on jokin alue lohkon sisällä. Peltolohkollahan voi esimerkiksi olla alueita, joissa maan fosforiluku on alhainen ja alueita, joissa se on korkea. Näitä viljelyä kuten ennenkin kokonaisia lohkoja, joilla oli korkea tai alhainen fosforitilanne.

Kirjallisuus

Brenk, C., Pasda, G & Zerulla, W. 1999. Nutrient mapping of soils – a suitable basis for site specific fertilization? In: Stafford, J.V. (ed.). Precision Agriculture '99, Odense, Denmark 11-15 July 1999. Sheffield, UK: Sheffield Academic Press. p. 49–59. ISBN 1-84127-042-3.

Fenton, J.P. 1998. On-farm experience of precision farming. Proceedings of the International Fertilizer Society, No. 426. 32 p. ISBN 0-85310-060-8.

Kuittinen, R., Ahokas, E., Granqvist, M., Ikäheimo, E., Heikinheimo, M., Venäläinen, A., Jänne, S., Keskisarja, V., Parnes, E., Perdigao, V. & van der Groot, E. 1998. An early crop yield estimation method for Finnish conditions: the crop growth monitoring system of the Joint Research Centre with and without remotely sensed and other additional input data. Reports of Finnish Geodetic Institute No 98:2. Kirkkonummi: Finnish Geodetic Institute. 114 p. ISSN 951-711-217-3. ISBN 0355-1962.

Poilve, H & Aubert, S.A. 1998. Remote sensing for precision soil and crop management. Proceedings of the International Fertilizer Society, No. 420. 20 p. ISBN 0-85310-054-3.

Robert, P.C. 1999. Precision agriculture: research needs and status in the USA. In: Stafford, J.V. (ed.). Precision Agriculture '99, Odense, Denmark 11-15 July 1999. Sheffield, UK: Sheffield Academic Press. p. 19–33. ISBN 1-84127-042-3.

Viscarra Rossel, R.A. & McBradney, A.B. 1999. Calibration of a lime requirement buffer for site specific lime applications in South Western Australia. In: Stafford, J.V. (ed.) Precision Agriculture '99, Odense, Denmark 11-15 July 1999. Sheffield, UK: Sheffield Academic Press. p. 429–440. ISBN 1-84127-042-3.

Wollring, J., Reusch, S. & Karlsson, C. 1998. Variable nitrogen application based on crop sensing. Proceedings of the International Fertilizer Society, No. 423. 28 p. ISBN 0-85310-057-8.

Katsaus politiikkavalintojen vaikutuksesta nurmitalouteen¹

Timo Sipiläinen¹⁾ & Matti Ryhänen¹⁾

¹⁾ *Helsingin yliopisto, Taloustieteen laitos, Maatalouden liiketaloustiede, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto, timo.sipilainen@helsinki.fi, matti.ryhanen@helsinki.fi*

Nurmituotanto kytkeytyy voimakkaasti nautakarjatalouteen. Ennen EU-jäsenyyttä hinta- ja tukipolitiikka ohjasivat nautakarjatilojen ruokintaa nurmivaltaiseksi. Siitä huolimatta nurmiala on Suomessa vähentynyt nautakarjatalouden supistumisen ja tuottavuuden nousun myötä. EU-jäsenyyden myötä hintasuhde muuttui ostorehuviljalle edulliseksi. Myös hehtaariohaiset tuet ovat suosineet viljavaltaista ruokintaa nurmirehun kustannuksella, koska viljan hehtaarituki on ollut nurmen vastaavaa tukea korkeampi. Tällaisissa olosuhteissa viljan osuutta ruokinnassa kannattaa kasvat-
taa. Muutoksen suuruus ja nopeus ovat riip-

puvaisia tilakohtaisista tekijöistä, kuten tuotantomahdollisuuksista ja niissä tapahtuvista muutoksista.

Agenda 2000 –ratkaisu mahdollistaa nurmihehtaareille maksettavan tuen korottamisen, mikä parantaisi nurmiviljelyn kilpailukykyä. Siten Agenda 2000 –sopimuksen pohjalta on mahdollista korjata liittymissopimuksesta seuranneita nurmiviljelyyn liittyviä ongelmia. Koska nurmi pysyy käyttämään rehuviljaa paremmin hyväksi Suomen kasvukauden tuotantomahdollisuudet, kannattaa etsiä biologisia ja teknisiä keinoja, joiden avulla nurmen kilpailukyky voitaisiin myös parantaa.

Avainsanat: nurmituotanto, talous, tukimuodot, maatalouspolitiikka, Suomi, EU, tuotanto- ja kustannusteoria

¹ Artikkelin tavoitteena on antaa yleiskuva nurmituotannon kehityksestä sekä taloudellisten tekijöiden ja politiikkavalintojen vaikutuksista nurmitalouteen.

A review of the effects of alternative policies on grass production

Abstract

The arable land area under grass in Finland has diminished due to changes in milk and beef production and in productivity. Due to the decrease in the production of milk and beef, the area under grass has fallen even before EU accession, even though relative prices favoured farm-produced grass. After EU accession, the relative prices became more favourable to purchased cereals. In addition, compensatory payments have favoured cereal-based diets, since direct subsidies have been higher for cereals than for grass. In these circumstances, the proportion of grass in the diet decreases. The mag-

nitude and speed of this change depends on the conditions on the farm.

Under Agenda 2000 it is possible to narrow the difference in subsidies for grass and cereals, and thus to improve the competitiveness of grass. Agenda 2000 therefore provides an opportunity to rectify the problems arising from the accession treaty. Since grass can utilize the production possibilities of the growing season in Finland better than cereals it is worthwhile seeking the biological and technical means to improve the competitiveness of grass production.

Key words: grassland farming, economy, support measures, agricultural policies, Finland, EU, production and cost theory

Johdanto

Suomen maataloustuotanto on kokenut suuria muutoksia. Siten myös nurmituotanto on ollut jatkuvan muutoksen alaisena. Tässä artikkelissa esitetään aluksi katsaus nurmituotannon kehityksestä. Sen jälkeen tarkastellaan esimerkkien avulla havainnollistaen, miten tuki- ja tuotannonrajoituspolitiikka vaikuttavat tuotantoon, ja lopuksi pohditaan, miten EU:n yhteinen maatalouspolitiikka ohjaa nurmituotantoa.

Nurmituotannon kehitys

Suomen nurmiviljelyala oli 1960-luvun alussa noin 1 400 000 hehtaaria. Vuonna 1998 nurmea viljeltiin puolta pienemmällä alalla (noin 670 000 hehtaarilla) siten, että säilörehuntuotannossa oli 50,6 %, kuivalla heinällä 29,5 %, laitumena 16,5 % ja tuorerehuna 0,4 % nurmialasta. Nurmiala on vähentynyt pääosin nautaeläinten ja hevosten määrän vähenemisen sekä tuottavuuden nousun myötä. Maaseutukeskusten liiton (MKL) Hila-tilojen perusteella nurmien (säilörehun, kuivanheinän ja laitumen) keskisato on viime vuosina ollut noin 3 700 rehuyksikköä hehtaarilta (säilörehulla noin 4 300 ry/ha). Hila-tilojen satotasot ovat keskiarvotiloja korkeammat (vrt. Kettunen 1997, p. 15). Jos oletetaan, että nurmen keskisato on 3 400 ry/ha, koko nurmialan rehuyksikkösadoksi saadaan vajaat 2,3 miljardia rehuyksikköä. Arvottamalla nurmirehun tuotantovaikutus vilja-rypsirouhevä-

kirehun rehuyksikköhinnan (80 penniä/ry) mukaan saadaan sadon arvoksi noin 1,8 miljardia markkaa.

Suomessa nautaeläinten ruokinta on perustunut nurmirehun hyödyntämiseen. EU-jäsenyyden vaikutuksia etukäteen laskehtaessa Suomessa arvioitiin voitavan tuottaa nurmirehua suhteellisen kilpailukykyisesti (Haavisto 1997). Tällöin katsottiin yleisesti, että maidontuotannolla olisi parhaat edellytykset selviytyä uudessa kilpailutilanteessa (mm. Hiiwa 1996, Haavisto 1997, Kola 1997). Analyysissä jäi kuitenkin huomaamatta, että muuttuvan toimintaympäristön myötä suomalaisen nurmituotannon kilpailukyky jää huonoksi Keski-Euroopan karkearehuntuotantoon verrattuna² ja että EU:n tukipolitiikka Suomen oloissa suosii rehuviljan viljelyä nurmen kustannuksella (Ylätalo 1996). Myös rehuviljan hinnan voimakas aleneminen suhteessa Suomessa tuotetun nurmirehun yksikkökustannukseen paransi ostorehuviljan kilpailukykyä³. Siten liittymissopimuksessa hyväksytty maatalouspolitiikka ohjaa nautakarjan ruokintaa rehuviljavaltaiseen suuntaan, vaikka luontaisesti Suomen oloissa suhteellinen etu onkin nurmituotannossa.

Syntyneiden ongelmien vuoksi Suomi haki Agenda 2000 -neuvotteluissa nurmitukea ja laajaperäisyystuen laajennusta. Neuvottelutulos mahdollistaa nurmituotannon aseman parantamisen vuodesta 2000 lähtien edellyttäen, että maatalouden kotimainen tukipaketti on linjassa Agenda 2000 -ratkaisun kanssa.

Nurmituotanto kytkeytyy pääosin nautakarjatalouteen⁴. Siten nurmituotannon

² Suomessa nurmet ovat viljeltyjä, lyhytikäisiä nurmia, kun taas mm. Keski-Euroopassa ne ovat suurelta osin pitkäaikaisia. Nurmiviljely maassamme vastaa voimaperäisyydeltään maissikarkearehuntuotantoa, mutta sille ei EU-liittymisneuvotteluissa haettu CAP-tukea, mitä maissisäilörehulle maksetaan. Suomen oloissa maissin viljely ei ole realistinen vaihtoehto.

³ Rehuviljan hintataso määräytyy yhteisillä EU-markkinoilla. Karkearehun kuljetuskustannukset suhteessa rehuyksikköhintaan ovat suuret, joten nykyisellään karkearehulle ei muodostu yhteisiä EU-markkinoita kuten rehuviljalle.

⁴ Nautakarjatalouden laajuus ja nautaeläinten rehustus määräävät pitkälti nurmituotannon laajuuden maassamme.

talouden yhteydessä on olennaista tarkastella nautakarjatilojen taloutta. Kannattavuuskirjanpitotilojen tulosten mukaan nautakarjatilojen kannattavuus on ollut heikko. Vuosina 1980–1993 nautakarjatilojen kannattavuus jäi kannattavuuskertoimella mitattuna noin 70 prosenttiin vilja-, sika- ja siipikarjatilojen kannattavuudesta (Salonen 1995). Tällä ajanjaksolla maidontuottajien lukumäärä aleni 90 000:sta 35 000:een⁵. Vuosina 1976–1994 nautakarjatilojen tuotteiden hinnat⁶ nousivat suhteellisesti vähemmän kuin tuotantopanosten hinnat (Ikonen 1990, Ala-Mantila 1994). Suhteellisesti kallistuneen rehuviljan ja ostorehun vuoksi nautatiloilla pyrittiin kotovaraiseen, pääasiassa nurmivaltaiseen, ruokintaan (Ryhänen 1988, Ryhänen et al. 1998). Lisäksi rehuverot ohjasivat nautakarjan ruokintaa kotoiseen rehuun, jolloin säilörehun merkitys valkuaisen lähteenä korostui (Kettunen 1986, p. 9).

Vuodesta 1980 vuoteen 1994 nurmiala väheni noin 20 prosenttia, vaikka samanaikaisesti nautakarjatiloilta panostettiin nurmituotantoon. Nurmiala väheni, koska tällä ajanjaksolla nautaeläinten lukumäärä väheni noin 30 prosenttia ja maitomäärä noin 25 prosenttia. Samanaikaisesti lypsylehmiin keskittynyt kasvoi noin 30 prosenttia (ks. FAO 1999). Lisäksi kesantovelvoitteen ulottaminen myös nautakarjatiloilta poisti nurmea tuotannosta. 1990-luvun alussa kesannon määrä nousi enimmillään noin 25 prosenttiin viljelystä peltoalasta.

Maatalouspolitiikka ohjaa viljelijän päätöksiä

Rationaalisesti toimiva viljelijä tuottaa nurmirehua vain, jos tuotanto on kannattavaa. Siten tuotannon kannattavuusedellytykset ratkaisevat lopulta nurmiviljelyn laajuuden maassamme. Olemassa oleva ja/tai hankittavissa oleva tuotantoteknologia⁷ asettaa puitteet, missä rajoissa tuotantoa on mahdollista harjoittaa. Tuotantoteknologialla tarkoitetaan tuotantomahdollisuuksien joukkoa, missä fyysiset, biologiset ja tekniset tekijät määräävät rajat panos-tuotosyhdistelmälle. Taloustieteessä viljelijän valintaongelma esitetään joko voiton maksimointi- tai kustannusten minimointiongelmana (mm. Debertin 1986, Dillon & Anderson 1990). Kun yrityskoko ja tuotantoteknologia on ennalta määritetty⁸, voiton maksimointiongelma voidaan esittää yleisessä muodossa seuraavasti:

$$\Pi = \text{Max} \{(\beta + p)f(x) - wx + S\} \quad x \geq 0 \quad (1)$$

missä Π on voitto, p (>0) on tuotteen hinta, β on hintatuki, S on yksikkökohtainen suora tuki, w (>0) on panosten x hintavektori ja $f(x)$ kuvaa tuotosmäärää y panosten funktiona. Viljelijän tavoitteena on siten mahdollisimman suuri kokonaistuoton ja -kustannusten erotus. Jos tuotantoa rajoitetaan kiintiöllä y^* (etukäteen määritetty tuotosmäärä), päätösongelma voidaan esittää seuraavasti:

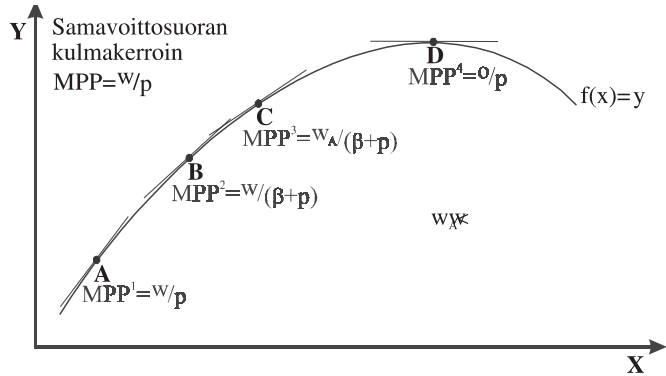
$$C = \text{Min} \{wx: f(x) = y^*\}, \quad x \geq 0 \quad (2)$$

⁵ Vuoden 1999 lopussa maitotilojen lukumäärä on alle 24 000 tilaa.

⁶ Ennen EU-jäsenyyttä maataloustuotteiden hinnat sovittiin pääsääntöisesti maataloustuloneuvotteluisissa.

⁷ Tuotantoteknologialla tarkoitetaan tuotantomahdollisuuksien joukkoa, missä fyysiset, biologiset ja tekniset tekijät määräävät rajat panos-tuotosyhdistelmille.

⁸ Tarkastelu voidaan tehdä yksikkökohtaisena. Tässä yhteydessä ei tarkastella yrityksen kasvuprosessia, vaan eläinmäärän ja peltoalan oletetaan säilyvän ennallaan.



Kuva 1. Hintatuen vaikutus optimituotostuotantomäärään.

missä C on kustannukset. Tällöin optimi saavutetaan minimoimalla kustannukset tuotostuotantomäärällä y^* .

Yhtälöiden (1) ja (2) mukaan hinnat, tuet ja kiintiöt ratkaisevat tuotantomahdollisuuksien puitteissa, mitä tuotetaan, kuinka paljon ja millä panoksilla. Siten viljelijän on oleellista tuntea tukijärjestelmät, kyettävä reagoimaan tuki- ja hintamuutoksiin sekä onnistuttava muuntamaan panokset tehokkaasti tuotteiksi. Hintatuki ja hintojen muutos vaikuttavat tuotteen ja panosten välisiin hintasuhteisiin. Esimerkiksi hintatuen β myötä rajatuotto kasvaa, jolloin viljelijän kannattaa lisätä panosten käyttöä, jotta hän pääsisi uuteen optimipisteeseen⁹. Kuvassa 1 optimituotos ilman tukea on pisteessä A, missä rajatuotto $MPP^1 = w/p$. Jos tuki annetaan hintatukena, tuotos kannattaa nostaa pisteeseen B, mikä vastaa uutta hintasuhdetta $w/(\beta+p)$. Siten hintatuki lisää tuotannon voimaperäisyyttä¹⁰.

Suora tuki maksetaan yksikkökohtaisena tukena. Se lisää yksikköä kohti saatavaa tuottoa, mutta se ei muuta yksikkökohtaista panosten käytön optimia, koska se ei suoranaisesti vaikuta panosten ja tuotteen väliseen hintasuhteeseen. Toisaalta suora tuki

voi muuttaa tuotannonhaarojen välistä kannattavuutta. Esimerkiksi EU-jäsenyyden ensimmäisinä vuosina viljalle on maksettu hehtaaria kohti suurempi tuki kuin nurmelle. Tämä on osaltaan vaikuttanut siihen, että nurmen viljelyala on vähentynyt ja rehuviljan kasvanut.

Kun tarkasteluun kytketään tuotantomahdollisuuksien joukossa tapahtuvia muutoksia, voidaan havainnollistaa, miten fyysisissä, biologisissa ja teknisissä tekijöissä tapahtuvat muutokset vaikuttavat optimiin¹¹. Kuvassa 2 esitetään, miten tuotantomahdollisuuksien muutokset vaikuttavat viljelijän päätöksiin (ceteris paribus). Taantuvassa tuotannonhaarassa panosten käyttöä kannattaa vähentää ja edistävissä tuotannonhaarassa lisätä (Kuva 2).

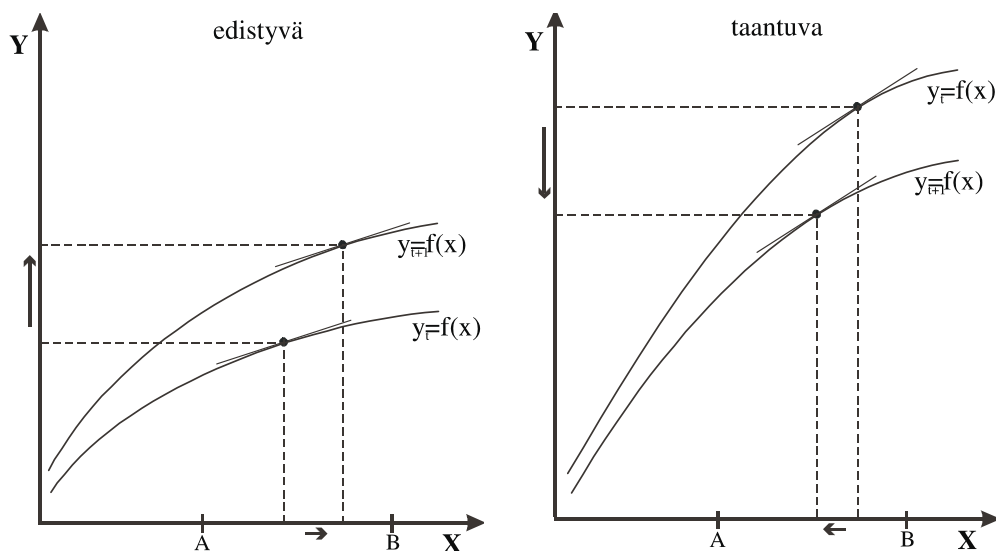
Esimerkkejä tuotannonohjauksen vaikutuksesta

Tuki- ja tuotannonrajoituspolitiikalla ohjataan viljelijän toimia. Seuraavissa esimerkeissä havainnollistetaan viljelijän näkökulmasta, miten viljelijän kannattaa muuttaa toimintaansa, kun tuotantoa rajoitetaan eri tavoin. Aluksi tarkastellaan tilannetta, jossa

⁹ Piste, jossa lisätuotto on yhtä suuri kuin lisäkustannus.

¹⁰ Viljelijän ei kannata koskaan tuottaa biologis-fyysistä maksimituotosta D, koska tuotantopanokset eivät ole ilmaisia.

¹¹ MTTL:n (1999, p. 30) mukaan kuivan heinän ja säilörehun satotrendit ovat olleet laskevat, kun taas rehuviljojen satotrendit ovat olleet kasvavat. Myös MKL on päätenyt samaan tulokseen satolaskelmiensa perusteella. MKL:n laskelmissa on tarkasteltu samoja tiloja (Helander 1999). Nurmien satotason alenemisen syytä ei tunneta.



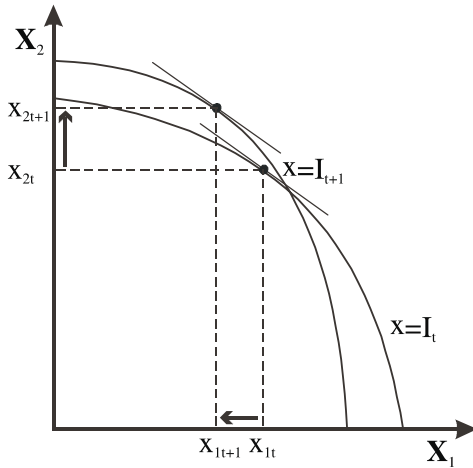
Kuva 2. Tuotantoteknologian muutoksen vaikutus viljelijän päätöksiin (pisteet A ja B, ks. luku 4. Agenda 2000 –ratkaisu).

ympäristönsuojellisten ja eettisten syiden vuoksi tuotantoa ohjataan tiukasti: maidontuotannon tulee perustua tilalla tuotettuun rehuun ja tiloille määrätään lannoitekiintiöt. Kuvassa 3 esitetään kuvan 2 tuotantofunktioista johdetut rajoitetut (lannoitekiintiön rajoittamat) tuotos-tuotokäyrät (transformaatiokäyrät). Jos toinen tuotannonhaara taantuu toiseen verrattuna (kasvituotteiden hintasuhteen pysyessä muuttumattomana), taantuvassa tuotannonhaarassa lannoitteen käyttöä kannattaa vähentää ja edistyvässä lisätä (Kuva 3, vrt. kuva 2). Maitotilalla nurmirehua ja rehuviljaa käytetään kuitenkin välituotteena¹². Jotta maitotilan päätöksistä saadaan kokonaiskuva, kuvassa 4 väli- ja lopputuoteulottuvuudet yhdistetään samaan kuvaan siten, että siitä voidaan päätellä, miten viljelijän kannattaa allokoida lannoitepanos nurmelle ja rehuviljalle ja miten hänen kannattaa järjestää lehmien ruokinta.

Kuvassa 4 nurmirehu ja rehuvilja ovat tuotteita maitotilan kasvituotannon tuotos-tuotosulottuvuudessa ja panoksia maidontuotannon panos-panosulottuvuudessa. Kuvassa 4 transformaatiokäyrä kuvaa maidontuottajan mahdollisuuksia tuottaa nurmea ja rehuviljaa käytettävissä olevalla lannoitemäärällä. Kuvan 4 maidontuotannon samatuotokäyrästä kuvaa vaihtoehtoisia maidon tuotusmääriä. Käyrästä voidaan yhdistää, koska transformaatiokäyrän tuotokset ovat samoja kuin samatuotokäyrän panokset. Jos maitotilan tuotannon tulee perustua kotoiseen ruokintaan ja tilalla on tilakohtainen lannoiteenkäyttörajoite, tuotantoa kannattaa harjoittaa pisteessä, jossa maidontuotannon samatuotokäyrä tulee tangentiksi transformaatiokäyrälle. Tässä pisteessä¹³ lopputuotos maksimoituu

¹² Myös maitotilalla taantuvassa kasvintuotannonhaarassa lannoitteen käyttöä kannattaa vähentää ja edistyvässä lisätä.

¹³ Tässä pisteessä nurmen ja rehuviljan rajakorvaussuhde samatuotokäyrällä on yhtä kuin niiden rajamuutosuhde transformaatiokäyrällä.



Kuva 3. Tuotos-tuotosmallit (transformaatiokäyrät) kahtena eri ajankohtana.

käytettävissä olevilla panoksilla.¹⁴

Seuraavaksi tuotannonohjausta vähennetään poistamalla kotovaraisen ruokinnan vaatimus. Edellä esitetty fyysisiin, biologisiin ja teknisiin tekijöihin perustunut tarkastelu ei enää riitä päätöksenteon pohjaksi. Siten jos esimerkiksi tilan viljelijä saa markkinoilta nurmirehusta suhteellisesti paremman hinnan kuin rehuviljasta, hänen kannattaa muuttaa toimintaansa. Tällöin hänen kannattaa toimia pisteessä, missä kasvintuotannon transformaatiokäyrä ja samatuottosuora sivuavat toisiaan eli nurmirehua kannattaa myydä ja käyttää tulot suhteellisesti edullisemman rehuviljan ostoon, minkä seurauksena viljelijä voi siirtyä samatuottosuoraan¹⁵ pitkin pisteeseen, joka tulee tangenttipisteeksi alkuperäistä korkeam-

man tuotoksen samatuotuskäyrälle. Kautankäynnin seurauksena viljelijä voi tuottaa aiempaa suuremman määrän maitoa. Tällöin välituotteista saadaan paras mahdollinen tuotto ja samalla maito tuotetaan mahdollisimman pienin kustannuksin.

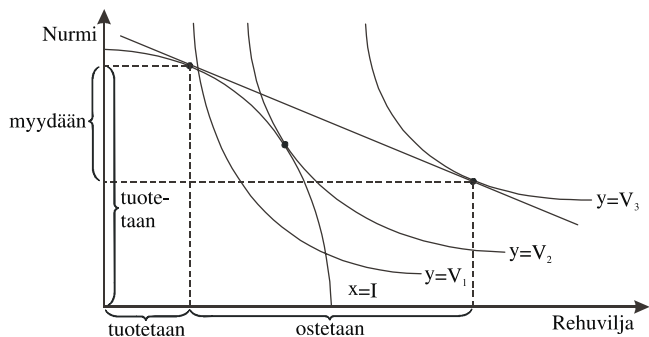
Jos edellinen ratkaisu ei ole voiton maksimi, viljelijä voi parantaa taloudellista tulosta myymällä lisää nurmirehua ja ostamalla vähemmän rehuviljaa ja tuottamalla siten vähemmän maitoa tai lisäämällä maidontuotantoa kunnes lisätuotto on yhtä suuri kuin lisäkustannus (saavutetaan rajoittamattoman maidontuotannon voiton maksimi). Jos maidontuotantoa rajoitetaan kiintiöllä¹⁶, kuvassa 4 esitetty samatuotto-suoran ja samatuotuskäyrän tangenttipiste ei ole optimi muulloin kuin silloin, kun kiintiö on yhtä suuri kuin kyseisen samatuotuskäyrän tuotos. Jos kiintiö on pienempi kuin kyseisen samatuotuskäyrän tuotos, viljelijä voi parantaa taloudellista tulosta myymällä lisää nurmirehua ja ostamalla vähemmän rehuviljaa ja tuottamalla siten kiintiön verran maitoa. Jos kiintiö on suurempi kuin kyseinen samatuotuskäyrä, viljelijä voi parantaa taloudellista tulosta lisäämällä maidontuotantoa kiintiöön asti.

Jos myös kasvintuotantoa rajoittavasta lannoitekiintiöstä luovutaan, kunkin tuotannonhaaran lannoitteen käyttömääräksi kannattaa valita piste, jossa panoksen antama lisätuotto on yhtä suuri kuin lannoitepanoksen hinta (vrt. kuva 2), mikä mahdollistaa tuotoksen nostamisen.

¹⁴ Tässä yhteydessä kaikki nurmirehu ja rehuvilja tuotetaan tilalla eli ongelma on ratkaistu pelkästään fyysisten, biologisten ja teknisten tekijöiden määräämällä. Toisin sanottuna alkuperäinen panoskimppu muunnetaan nurmirehuksi ja rehuviljaksi ja ne muunnetaan puolestaan maidoksi (tässä tarkastelussa hintoja ei tarvita optimin määrittämiseen, koska tavoitteena oli maksimoida lopputuotteen määrä ja tuotokotoisilla rehuilla).

¹⁵ Se on samalla maidontuotannon samakustannussuora.

¹⁶ Sanktio kiintiön ylittämisestä oletetaan niin suureksi, ettei kiintiötä kannata missään oloissa ylittää.



Kuva 4. Väliuotekäyttö (V_i kuvaa samatuotuskäyrää eri tuotostasoilla).

Agenda 2000 -ratkaisu

Agenda 2000 -ratkaisu sisältää sekä tukiettä tuotannonrajoituselementtejä. Miten Agenda 2000 -ratkaisu vaikuttaa maidon tuottajan päätöksiin ja nurmituotantoon? Agenda 2000 -kaudella¹⁷ maitotiloille maksetaan lehmäkohtaista suoraa tukea¹⁸ ja maidolle hintatukea, lannoitteilla on kasvi-kohtainen maksimikäyttörajoite, hehtaari-kohtainen suora tuki on sama nurmelle ja viljalle ja niille ei makseta hintatukea.

Kuvien 1–4 riippuvuus-suhteet on johdettu fyysisistä, biologisista ja teknisistä responseista. Kuvan 1 mukaan ilman hintatukea maidontuottajan kannattaa toimia pisteessä A. Maidon hintatuki nostaa tuotoksen pisteeseen B. Agenda 2000 -ratkaisu laskee rehupanoksen hintaa, mutta säilyttää maidon ”interventiohinnan” ennallaan, mikä puolestaan siirtää optimia pisteestä B pisteeseen C eli keskituotosta kannattaa kohottaa. Lehmäkohtainen suora tuki¹⁹ ei vaikuta maidon tuotostasoon (*ceteris paribus*). Jos lehmäkohtainen suora tuki olisi kytketty maidon hinnanalennukseen, kytkentä alentaisi tuotostasoa maidon hinnanalaskus-

ta johtuen (ks. Ryhänen & Sipiläinen 1996, p. 32–35).

Agenda 2000 -ratkaisu laskee rehuviljan interventiohintaa 15 prosenttia. Kun kuvan 2 tarkasteluun lisätään Agenda 2000 -ratkaisun mukainen rehuviljan hinnan alennus, panosten käyttöä kannattaa vähentää molemmissa kasvintuotannon tuotannonhaaroissa²⁰, koska Agenda 2000 -ratkaisun myötä esimerkiksi rehuviljantuotannossa uusi hintasuhde ($w/0,85p$) siirtää optimia vasemmalle. Siirtymän suuruuteen eli panosten käytön muutokseen vaikuttaa tuotantofunktion muoto. Jos lannoitepanokselle määritetty kasvi-kohtainen maksimikäyttörajoite sijaitsee optimin vasemmalla puolella esim. kohdassa A (Kuva 2), se alentaa lannoitteen käyttöä, tuotosta ja samalla se heikentää taloudellista tulosta. Jos lannoitepanokselle määritetty kasvi-kohtainen maksimikäyttömäärä sijaitsee optimin oikealla puolella esim. kohdassa B (Kuva 2), se ei vaikuta tuotantoon eikä taloudelliseen tulokseen²¹.

Agenda 2000 -ratkaisu mahdollistaa nurmituen maksamisen ja laajentaa laajaperäisyystuen maksumahdollisuutta myös lypsykarjatiloilille. Jos nurmen hehtaarituki

¹⁷ Tässä artikkelissa ei ole mahdollisuutta käydä läpi suurta määrää erilaisia tuki- ja tuotannonrajoitusvaihtoehtoja ja niiden yhdistelmiä. Siksi esitetään esimerkki vaihtoehdosta, joka on mahdollinen Agenda 2000 ratkaisun pohjalta (artikkelia kirjoitettaessa lopulliset tukiratkaisut puuttuvat, joten esimerkki perustuu oletukseen, että lopulliset ratkaisut ovat linjassa Agenda 2000 -ratkaisun kanssa).

¹⁸ Korvaa lehmänlihan hinnanalennuksen.

¹⁹ Arvioitu yhtä suureksi kuin lehmänlihan hinnanalaskusta johtuva tulojen alennus.

²⁰ Substituutteja nautojen ruokinnassa.

²¹ Lannoitteenkäytön optimi vaihtelee tilakohtaisesti, koska tilojen tuotantofunktiot ovat erilaiset.

nousee, se parantaa nurmen kilpailukykyä suhteessa rehuviljan viljelyyn. Siten Agenda 2000 -ratkaisu edesauttaa liittymissopimuksessa ilmenneiden ongelmien korjaamisessa.

Yhteenveto ja johtopäätökset

Nurmiala on puolittunut maassamme 40 vuoden aikana. 1980-luvulta lähtien nautakarjatiloilta panostettiin voimakkaasti nurmituotantoon. Siitä huolimatta nurmiala jatkoi vähenemistään, koska samanaikaisesti nautaeläinten määrä väheni vieläkin nopeammin. Lisäksi tuottavuuden nousu maitotiloilla vähensi nurmialan tarvetta. EU-jäsenyyden siirtymäaikana tukipolitiikka on suosinut rehuviljan viljelystä nurmen kustannuksella, mikä on ohjannut nautojen ruokintaa aiempaa väkirehuvaltaisempaan suuntaan ja vähentänyt siten nurmialan tarvetta.

Sekä maatalouspolitiikka että tuotantomahdollisuudet (fyysiset, biologiset ja tekniset tekijät) vaikuttavat viljelijän päätöksiin. Taloudelliset tekijät määräävät optimituotostasot. Biologiset, fyysiset ja tekniset tekijät asettavat puolestaan rajat taloudelliselle toiminnalle. Kun tilojen tuotanto-olosuhteet ja -mahdollisuudet vaihtelevat, tuo-

tantopäätökset on tehtävä tilakohtaisesti eli ratkaistava muun muassa, missä määrin nautakarjan rehut tuotetaan tilalla ja missä määrin ne hankitaan tilan ulkopuolelta.

Nautakarjatilojen kannattavuus on pitkään ollut tuotantosuunnista heikoin (Salonen 1995), mikä on johtanut maidontuotajien lukumäärän nopeaan vähenemiseen. Siirtymäkaudella (1995–1999) maidontuotannon kannattavuus on heikentynyt edelleen (Sipiläinen et al. 1998). Agenda 2000 -ratkaisu mahdollistaa maidon- ja nurmituotannon kannattavuusedellytysten säilyttämisen ja eräiltä osin jopa parantamisen. Siitä huolimatta kannattavuusedellytykset ovat keskimäärin heikot. Osan tiloista luopuessa tuotannosta jäljelle jäävien tilojen on mahdollista kasvattaa tilakokoa ja tehostaa tuotantoa edellyttäen, että kannattavalle tuotannolle nähdään olevan edellytyksiä. Yrityskoon kasvattaminen ja uuden teknologian hankkiminen vaikuttavat panosten käyttöön ja tuotostasoon. Kun uusi teknologia on hankittu, muuttuvien panosten käyttö ratkaistaan sen asettamissa puitteissa. Siten on tarpeen tutkia, miten uusi teknologia vaikuttaa tuotantomahdollisuuksiin. Tähän tähtää myös käynnissä oleva nurmitutkimushanke, jossa tutkitaan monipuolisesti nurmituotannon kehittämismahdollisuuksia.

Kirjallisuus

Ala-Mantila, O. 1994. Maataloustuloneuvotteluja varten tehdyt laskelmat tuotantokustannusten kehityksestä. Maatalouden taloudellinen tutkimuslaitos. Maataloustuloneuvottelujen taustapapereita.

Debertain, D.L. 1986. *Agricultural Production Economics*. New York: Macmillan Publishing Company. 366 p. ISBN 0-02-328060-3.

Dillon, J.L. & Anderson, J.R. 1990. *The Analysis of Response in Crop and Livestock Production*. Oxford: Pergamon Press. 251 p. ISBN 0-08-037493-X.

FAO1999. <http://apps.fao.org/lim500/nph-wrap.pl?Production.Livestock.Primary&Domain=SUA>

Haavisto, H. 1997. Kotieläintaloutemme sopeutumisesta EU:n jäsenyydessä. Mietteitä näköalapa-

kalta. Rehumakasiini. Rehuraision kotieläinlehti 1/1997. s 4.

Helander, J. 1999. Suullinen tiedonanto 6.8.1999. Maaseutukeskusten liitto, Helsinki.

Hiiva, E. 1996. Maatilojen tulokehitys siirtymäkaudella 1995-2000. Maatalouden taloudellinen tutkimuslaitos. Tiedonantoja 206. Helsinki: Maatalouden taloudellinen tutkimuslaitos. p. 1–95. ISBN 952-9538-62-6.

Ikonen, J. 1990. Tuottajahintojen ja kustannusten kehitys 1976-1988. Maatalouden taloudellinen tutkimuslaitos. Tiedonantoja 159. Helsinki: Maatalouden taloudellinen tutkimuslaitos. p. 9–14. ISBN 951-9202-92-7.

Kettunen, L. 1986. Suomen maatalous 1985. Maatalouden taloudellinen tutkimuslaitos. Julkaisuja 50. Helsinki: Maatalouden taloudellinen tutkimuslaitos. p. 1–42. ISSN 0438-9808.

– 1997. Suomen maatalous 1996. Maatalouden taloudellinen tutkimuslaitos. Julkaisuja 82. Helsinki: Maatalouden taloudellinen tutkimuslaitos. p. 1–64. ISBN 952-9538-84-7.

Kola, J. 1997. Kotieläintalouden kansantaloudellinen merkitys ja kilpailukyky. Maaseutukeskusten Liitto. Julkaisuja 914. Helsinki: Maaseutukeskusten liitto. p. 129–134.

MTTL 1999. Suomen maatalous ja maaseutuelinkeinot 1998. Maatalouden taloudellinen tutkimuslaitos. Julkaisuja 91. Helsinki: Maatalouden taloudellinen tutkimuslaitos. p. 1–94. ISBN 951-687-039-2.

Ryhänen, M. 1988. Maitotilojen fyysisten ja taloudellisten tekijöiden vaikutus taloudelliseen tulokseen. Abstract: Physical and economic factors in the performance of dairy farms. Helsingin yliopisto. Maatalousekonomian laitos. Julkaisuja 37. Helsinki: Helsingin yliopisto. p. 1–56. ISBN 951-45-4835-3.

– **& Sipiläinen, T.** 1996. Tukipolitiikka ja maatalousyrittäjän päätöksenteko. In: Ylätalo, M. (ed.). Maatalousyritysten sopeutuminen EU:ssa vallitseviin hintasuhteisiin. Tuotanto- ja kustannusteoreettinen tarkastelu kasvinviljelyyn ja kotieläintuotantoon sovellettuna. Summary: The EU and Economic Adjustment of Finnish Agriculture – A Production and Cost-Theoretical Approach to Plant and Animal Production. Helsingin yliopisto. Taloustieteen laitos. Julkaisuja 12. Helsinki: Helsingin yliopisto. p. 25–36. ISBN 951-45-7554-7.

–, **Sipiläinen, T., Ylätalo, M. & Koskiahde, M.** 1998. Vieremän kunnan maatilojen tuotantoresurssit ja niiden siirtymä vuosina 1985-1995. In: Ryhänen, M., Sipiläinen, T. & Ylätalo, M. (ed.). Maatilojen tuotanto ja talous Vieremän kunnassa vuosina 1985-2000. Summary: The Economy and Production of Farms in Vieremä for 1985-2000. Helsingin yliopisto. Taloustieteen laitos. Julkaisuja 21. Helsinki: Helsingin yliopisto. p. 27–71. ISBN 951-45-8351-5.

Salonen, J. 1995. Maatalouden vakavien vaikeuksien määrittely ja osoittaminen. Helsingin yliopisto. Taloustieteen laitos. Monistesarja 7. Helsinki: Helsingin yliopisto. p. 1–45. ISBN 951-45-7267-X.

Sipiläinen, T., Ryhänen, M., Ylätalo, M. Haggrén, E. & Seppälä, E. 1998. Maatilyritysten talous vuosina 1993-2002 - EU-jäsenyyden vaikutus tuloihin ja kannattavuuteen. Summary: The Economic Outcome of Finnish Farms - The Effects of the EU-membership on Farm Income and Profitability. Helsingin yliopisto. Taloustieteen laitos. Julkaisuja 18. Helsinki: Helsingin yliopisto. p. 1–235. ISBN 951-45-8051-6.

Ylätalo, M. 1996. Maatalousyritysten sopeutuminen EU:ssa vallitseviin hintasuhteisiin. Tuotanto- ja kustannusteoreettinen tarkastelu kasvinviljelyyn ja kotieläintuotantoon sovellettuna. Helsingin yliopisto. Taloustieteen laitos. Julkaisuja 12. Helsinki: Helsingin yliopisto. 258 p. ISBN 951-45-7554-7.

Nurmisadon kehityksen mallintaminen

Erkki Aura¹⁾ & Marketta Rinne²⁾

¹⁾ Maatalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, Peltokasvit ja maaperä, 31600 Jokioinen, erkki.aura@mtt.fi

²⁾ Maatalouden tutkimuskeskus, Kotieläintuotannon tutkimus, Eläinravitus, 31600 Jokioinen, marketta.rinne@mtt.fi

Käyttäen muunnettua Gustavssonin mallia tässä esitettävässä tutkimuksessa simuloitiin timotei-nurminataseosnurmen maanpäällisen kuiva-aineen kasvua ja sulavuuden muutosta alkukesän aikana. Sulavuuden muutos laskettiin lämpösumman lineaarisena funktiona, kynnyksarvon ollessa 5 °C. Päivittäinen kuiva-aineen lisäys oli mallissa suoraan verrannollinen lyhytaaltoiseen säteilyyn vähennettynä ylläpitohengitykseen kuluneella energialla. Fotosynteesi riippui mallissa kasvuston peittävydestä, lämpötilasta ja maan vesitilanteesta. Ylläpitohengitys, joka riippuu lämpötilasta, laskettiin sulavuusarvojen perusteella kasvin

fysiologisesti aktiiviselle osalle. Mallin käyttökelpoisuutta tutkittiin ottamalla Jokiossa vuosina 1996–1998 kaksi kertaa viikossa koekentältä heinänytteen ja määrittämällä heinäseoksen kuiva-ainepitoisuus ja timotein *in vitro* -sellulaasisulavuus. Malli ennusti tyydyttävästi sulavuuden ja kuiva-ainesadon kehitystä. Heinän lakoontuminen kuurosateiden johdosta kesäkuun puolenvälin jälkeen ilmeisesti heikensi valonenergian muuntumista kuiva-aineeksi ja tällä tavoin huononsi mallin tarkkuutta sadon kehityksen ennustamisessa seuranta-jakson loppupuolella.

Avainsanat: nurmirebut, heinä, säilörehu, mallintaminen, sato, ruokinta, sulavuus

Modelling silage yield

Abstract

The model modified from Gustavsson was used to simulate the above-ground dry matter growth and digestibility of timothy and meadow fescue in a mixture stand. Dry matter growth during early summer was estimated using intercepted short wave radiation, air temperature and soil water status. Maintenance respiration was simulated for the metabolically active crop material, which was estimated on the basis of dry matter and digestibility. The development of digestibility was calculated as a linear

function of the daily temperature sum, the threshold value being 5°C. The growth and development of grass were documented by sampling a second year timothy-meadow fescue ley at Jokioinen (60°49'N, 23°30'E) twice a week in 1996–1998. Grass dry matter and timothy digestibility were measured by an *in vitro* cellulase method. The preliminary results suggest the model could be useful in Finland but that further experimental work is still needed.

Key words: forage, silage, grass, modelling, yields, feeding, digestibility

Johdanto

Nurmi säilörehuksi korjattuna on lypsylehmien tärkein rehunlähde Suomessa. Yleisesti nurmi leikataan kahteen kertaan kesän aikana, joskus saadaan kolme satoa. Tärkein nurmirehun laatuun vaikuttava tekijä on sulavuus, joka puolestaan riippuu kasvin kehitysvaiheesta. Suomen oloissa rehunurmen sulavuuden aleneminen on nopeaa alkukesän aikana ja on ollut keskimäärin noin 0,5 %-yksikköä päivässä (Syrjälä & Ojala 1978, Huokuna & Hakkola 1984, Rinne et al. 1997, Rinne et al. 1999b). Ensimmäisen korjuun jälkeen sulavuuden heikkeneminen on hitaampaa (Syrjälä & Ojala 1978, Pulli 1980a, Huokuna & Hakkola 1984). Ensimmäisen niiton ajoitus on tärkeä päätös maatilalla. Korjuun myöhästyminen yhdellä viikolla voi huomattavasti heikentää säilörehun laatua ja aiheuttaa taloudellisia tappioita joko pienentyneen maitotuotoksen ja/tai suuremman väkirehutarpeen muodossa. Suomessa on käytännössä seurattu nurmen laadun kehitystä ottamalla pelloilta alkukesän aikana rehunäytteitä ja määrittämällä niiden sulavuus (Valion korjuuaikatiedotus ks. <http://www.agronet.fi/artturi>). Toinen tapa seurata nurmen laadun kehitystä on mallintaa sulavuuden muutos käyttäen hyväksi sääasemien mittauksia. Sulavuuden mallintamista onkin muutaman viime vuoden ajan tutkittu Suomessa usean näytesarjan avulla (Rinne et al. 2000).

Käytännössä ensimmäisen korjuuajan kohdan määrittäminen on kompromissi sadon laadun ja määrän välillä. Näiden kehittymiseen vaikuttavat ympäristötekijät ja rehukasvin perinnölliset ominaisuudet. Timotei ja nurminata ovat Suomessa yleisimmät säilörehuheinät, joita tavallisesti kasvatetaan seoksena. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli mallintaa nurmen kokonaiskuiva-ainesadon ja sulavan massan määrällinen kehitys alkukesän aikana käyttäen hyväksi säilörehunurmen laadun kehitystä ja sadon määrää selvittävien kokeiden mittauksia (Rinne et al. 2000).

Mallin valinta

Suomessa Pohjonen (1975) mallinsi jo 1970-luvulla nurmen kuiva-ainesadon ja sulavuuden kehitystä. Tutkimuksessa ei kuitenkaan hyödynnetty sää-aseteilta saatavaa monipuolista tietoa ja sadon määrän ja laadun muuttuminen laskettiin ainoastaan ilman lämpötilan funktiona. Myöhemmin Pulli (1980a, 1980b) teki laajan tutkimuksen nurmen sadon muodostuksesta ja kasvurytmistä. Näiden riippuvuutta säätekijöistä käsiteltiin kuitenkin vain tilastollisin menetelmin ja varsinaista mekanistista mallintamista ei tässä tutkimuksessa tehty. Monipuolista mittauksia hyväksi käyttäen Ilola et al. (1988) mallinsivat 1980-luvulla timotein kasvua ja kehitystä. Tässä yhteis-pohjoismaisessa tutkimuksessa sovellettiin tanskalaista mallia Suomen oloissa. Mekanistinen malli perustui yleisiin mallinnuksessa käytettyihin periaatteisiin (Aslyng ja Hansen 1985), mutta ei ollut kuitenkaan liian monimutkainen soveltuakseen palvelemaan neuvontaa. Ilolan et al. (1988) käyttämä malli ei erityisen hyvin ennustanut timotein sadon kehitystä, mutta ilmeisesti ennustavuutta olisi voitu huomattavasti parantaa ottamalla huomioon kuiva-ainesadon kehityksen voimakas riippuvuus kevään alkuehdoista ja korjaamalla mallia tämän mukaisesti vastaamaan Suomen oloja. Rehun sulavuuden kehityksen ennustaminen ei liittynyt mallinnukseen.

Ruotsissa Gustavsson et al. (1995) ovat mallintaneet nurmirehusadon kuiva-aineen kehitystä tavalla, joka vastaa tanskalaisten (Aslyng ja Hansen 1985) menetelmää, mutta joka tanskalaisten mallia yksinkertaisemmassa muodossa soveltuu paremmin käytännön neuvontaan. Gustavsson et al. (1995) ovat samanaikaisesti mallintaneet rehun sulavuuden kehitystä. Koska ruotsalaisissa tutkimuksissa mallin käytöstä on saatu myönteisiä kokemuksia, heidän käyttämänsä laskentatapa valittiin pohjaksi mallintamistutkimukselle. Yksinkertaisuuden vuoksi Gustavssonin et al. (1995) malliin tehtiin kuitenkin muunnoksia.

Käytetty malli

Kehitys ja kasvu

Gustavssonin et al. (1995) mallissa timoteille oli laadittu kehitysaste siten, että kasvun alkaessa keväällä kehitysaste on 0 ja kukintavaiheessa 1. Kehityksen nopeus on suoraan verrannollinen päivittäiseen lämpösumman lisääntymiseen kynnysarvon ollessa 5 °C. Jos päivän keskilämpötila on alle 5 °C, ei kehitystä tapahdu. Lämpösumma kerrotaan vielä päivänpituudella, josta on vähennetty kynnysarvo 14 h. Jos päivänpituus on tätä arvoa lyhyempi, ei kasvin kehitysaste muutu. Sulamaton orgaaninen aine rehussa ilmaistaan kehitysasteen funktiona käyttäen empiiristä kerrointa, ja sulava orgaaninen massa on totaalin ja sulamattoman orgaanisen aineksen erotus.

Omassa tutkimuksessamme sulavuus kokonaispainosta laskettiin tuhkakorjaus huomioonottaen Rinteen et al. (1999a) esittämistä orgaanisen aineksen sulavuuksista lineaarisena päivittäisen lämpösumman empiirisenä funktiona kasvun alkamisesta kukinnan alkamiseen:

$$D_i = -0,000444TSUM_i + 0,818 R^2 = 0,939(1)$$

missä i on vuorokauden numero (1 = ensimmäinen päivä laskennassa), D on rehun sulavuus ilmaistuna sulavan orgaanisen aineksen osuutena rehun totaalkuivapainosta ($g\ g^{-1}$) ja $TSUM$ on päivittäisten keskilämpöjen summa kynnysarvon ollessa 5 °C. Päivän pituuden vaikutusta sulavuuteen ei voitu tutkia, koska aineisto oli kolmelta vuodelta Jokioisilta pelkästään alkukesän pitkän päivän olosuhteista.

Päivittäinen maanpäällinen kuiva-aineen lisäys kasvustoon ΔW ($g\ m^{-2}$) laskettiin seuraavasti (Gustavsson et al. 1995):

$$\Delta W_i = C_i \in R_i W_i T_i N_i - \gamma D_i W_{i-1} Q_{10} \quad (2)$$

missä C , \in ja R merkitsevät kasvuston peittävyyttä, säteilyn käytön tehokkuutta

ja päivittäistä lyhytaaltoista säteilyä. Symbolit W_i , T_i , ja N_i ovat maan vesitilanteen, ilman lämpötilan ja kasvin typpitilanteen indeksejä vaikuttaen kasvin kuiva-aineen assimilaatioon. Symboli W ilmaisee maanpäällisen kuiva-aineen määrää ($g\ m^{-2}$). Ylläpitohengitys on laskettu kertomalla keskenään aineenvaihdunnallisesti aktiivinen osa kasvimassasta, $D W$, hengityskerroin γ ja Q_{10} , joka ilmaisee ylläpitohengityksen riippuvuutta lämpötilasta. Globaalisäteilyn R yksikkö on $MJ\ m^{-2}$. Säteilyn käytön tehokkuudella \in on arvo $1,5\ g\ MJ^{-1}$. On huomattava että kerroin ilmaisee vain maanpäällisen kuiva-aineen kasvamista ja kerroin sisältää fotosynteesiin, assimiloitujen yhdisteiden muuntumiseen ja kuljetukseen kuluva hengitysenergian. Kasvuston peittävyys, C , estimoitiin yhtälöllä:

$$C_i = (W_{i-1}/W_f)^{0,5} \quad (3)$$

missä C saavuttaa maksimiarvon 1, kun W on yhtä suuri tai suurempi kuin täyden peittävyuden omaava biomassa, W_f . Tässä tutkimuksessa täyden peittävyuden W_f -arvona oli $400\ g\ m^{-2}$, kun Gustavsson et al. (1995) käyttivät arvoa $250\ g\ m^{-2}$. Maaveden indeksi laskettiin seuraavasti: maan kyky pidättää käyttökelpoista vettä on kenttäkapasiteettia vastaavan kosteuden ja lakastumisrajaa vastaavan kosteuden välinen erotus. Jos maassa on vettä enemmän kuin 80 % pidätyskyvystä, WI :llä on arvo 1. Maan sisältäessä lakastumisrajaa vähemmän vettä WI on 0. Jos maan vesipitoisuus on lakastumisrajan yläpuolella, mutta on alle 80 % maan vedenpidätyskyvystä, WI alenee lineaarisesti 1:stä 0:aan tällä välillä:

$$W_i = (SW_i - WILT) / ((FC - WILT) \times 0,8) \quad (4)$$

missä SW_i on keskimääräinen vesipitoisuus ($m^3\ m^{-3}$) 0–0,6 m:n maakerroksessa, $WILT$ on maan vesipitoisuus lakastumisrajalla (veden potentiaali = -1,5 MPa) ja FC maan vesipitoisuus kosteuden vastatessa kenttäkapasiteettia (veden potentiaali = -0,01 MPa). Kullekin vuorokaudelle saatiin

TI:n arvo vuorokauden keskilämpötilan t funktiona käyttämällä kaavaa:

$$TI = 1 / \{1 + \exp(-0,6(t - 8,5))\} \quad (5)$$

Typpi-indeksinä NI käytettiin arvoa 1. Oletettiin, että kenttäkokeiden sijaitessa pellolla, jossa jatkuvasti on aikaisemmin harjoitettu vuoroviljelyä ja käytetty karjanlantaa, 100 kg N ha^{-1} mineraalilannoitteena keväällä riittää estämään typen puutteen vaikutuksen kasvuun touko- ja kesäkuun aikana.

Hengityskertoimen γ arvona oli $0,015 \text{ g g}^{-1}$ ja D saatiin yhtälön (1) avulla. Ylläpitohengityksen riippuvuutta lämpötilasta ei laskettu Gustavssonin et al. (1995) esittämällä tavalla vaan käytettiin Karvosen ja Variksen (1992) esittämää yhtälöä:

$$Q_{10} = 2^{(t-25)/10} \quad (6)$$

Alkuarvona kuiva-ainesadolle W differenssiyhtälössä (2) käytettiin aikajärjestyksessä ensimmäistä mikroruutujen satoa. Näin eliminointiin pois mallintamisen herkkyyden kasvun alun olosuhteille. Kaavan (2) avulla oli mahdollisuus mallintaa heinäsaato myös ajalle ennen ensimmäistä korjuuta.

Maan vesitilanteen laskeminen sään perusteella

Päivittäinen potentiaalinen haihdunta E ($\text{kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) laskettiin Penman-Monteith-kaavalla (Penman 1948, Monteith 1965):

$$E = \frac{\delta R_n + C_p \rho_a (e_s - e_a) / R_a}{(\delta + \gamma) L} \quad (7)$$

missä δ on kyllästetyn vesihöyryn paineen ja lämpötilan välistä riippuvuutta esittävän funktion derivaatta lämpötilan suhteen (Pa K^{-1}), R_n nettosäteily kasvuston yläpuolella alaspäin (W m^{-2}), C_p ilman ominaislämpö ($1012 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$), ρ_a kuivan ilman tiheys ($1,205 \text{ kg m}^{-3}$), e_s kyllästetyn ve-

sihöyryn paine (Pa) mittauskorkeudessa, e_a on todellinen vesihöyryn paine samassa korkeudessa, R_a vastus vesihöyryn liikkumiselle pystysuunnassa (s m^{-1}), γ psykrometrivakio (66 Pa K^{-1}) ja L veden höyrystymislämpö ($2,454 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1}$). Vastus R_a oli estimoitu seuraavasti:

$$R_a = \frac{[1n(z/z_0)]^2}{k^2 u} \quad (8)$$

missä u on vuorokautinen tuulen keskinopeus (m s^{-1}) korkeudessa z (m), z_0 vakio $0,001 \text{ m}$ ja k ns. Karman vakio, $0,41$. Nettosäteily R_n (W m^{-2}) laskettiin lyhytaaltoisesta säteilystä R (W m^{-2}) käyttäen kokeellista yhtälöä (Feddes 1971): $R_n = 0,649 \times R - 23$. Todellinen haihdunta laskettiin potentiaalisesta haihdunnasta käyttämällä kerrointa, jonka arvona oli käyttökelpoisen veden osuus $0-0,6 \text{ m:n}$ maakerroksen maksimikyvystä pidättää kasveille käyttökelpoista vettä. Maan vesitilanne saatiin seuraavasti: laskenta alkoi samasta päivästä kuin terminen kasvukausi. Maan alkukosteuden oletettiin vastaavan tällöin kenttäkapasiteettia. Joka vuorokausi $0-0,6 \text{ m:n}$ maakerroksen vesivarjoista vähennettiin vuorokautinen haihdunta ja maan vesivarjoihin lisättiin sademäärä (+ sadetus).

Koejärjestely

Koekentät ja rehun korjuu

Kenttäkokeet tehtiin vuosina 1996–1998 Jokioisten kartanon pellolla. Kunakin vuonna koealueen koko oli $70 \text{ m} \times 150 \text{ m}$. Eri vuosien koekentät sijaitsivat lähellä toisiaan. Ruokamultakerroksessa $0-20 \text{ cm}$ oli orgaanista hiiltä noin $0,03 \text{ g g}^{-1}$. Tämän kerroksen lajitejakautumassa oli savesta noin $0,55$, hiesua $0,30$ ja karkeampia lajitteita $0,15 \text{ g g}^{-1}$. Vastaavat luvut $20-40 \text{ cm:n}$ kerrokselle olivat $0,017$, $0,60$, $0,25$ ja $0,15 \text{ g g}^{-1}$. Ruokamultakerroksen pH oli viljavuusanalyysin mukaan noin 6 ja uuttuvaa ka-

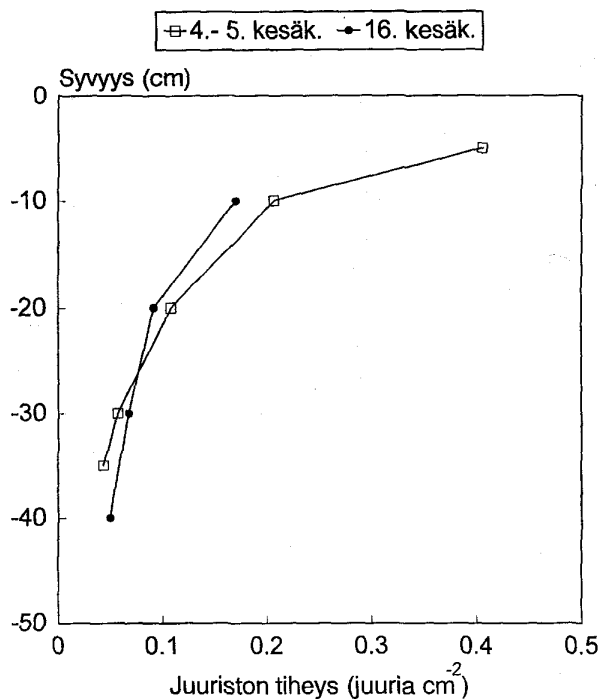
liumia oli noin 200 ja fosforia noin 20 mg maalitraa kohden. Lakastumisrajaa ja kenttäkapasiteettia vastaavat kosteudet koalueen 0–40 cm:n kerrokselle määritettiin kahdeksan maanäytteen avulla Auran (1975, 1999) esittämällä tavoilla. Keskimääräiseksi vesipitoisuudeksi lakastumisrajalla saatiin $0,308 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ja kenttäkapasiteetissa $0,486 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Käyttämällä näitä arvoja saadaan 0–0,6 m:n kerrokselle kyky varastoida 107 mm kasveille käyttökelpoista vettä. Alkukesän aikana otettiin heinänäytteet kahdesti viikossa neljältä kerranelinjalta. Kustakin kerranteesta korjattiin vähintään kolme $0,25 \text{ m}^2$:n kokoista alaa ja kerranteen näytteet yhdistettiin. Sängin pituus oli 1 cm. Nurmen ikänä oli kunakin vuonna kolmas kesä kylvöstä eli toinen varsinainen korjuuvuosi. Siemenseoksena oli viljaa suojakasvina käyttäen 25 kg ha^{-1} heinänsiementä, josta 60 % oli timoteita (lajike Iki) ja 40 % nurminataa (lajike Kalevi). Lannoitteena annettiin nurmelle keväällä Kemira Agro Oy:n seoslannoitetta (Pellon Typpi Y: 26 % N, 2 % P, 3 % K, 1,5 % Ca, 0,5 % Mg, 2 % S, 0,02 % B ja 0,0006 % Se) siten, että typen määrä kunakin keväänä oli 100 kg ha^{-1} .

Näytteet punnittiin ja niistä määritettiin kuiva-ainepitoisuus ($60 \text{ }^\circ\text{C}$). Timotei erotettiin tuoreista heinänäytteistä ja sille määritettiin *in vitro*-sulavuus ja typpipitoisuus (Rinne et al. 2000). Kerranteista tehtiin alkukesällä 4–6 kertaa viikon välein niittosilppurilla lisäksi säilörehut, joiden sulavuus määritettiin päseillä *in vivo*. Timotei-nurminataseoksen sulavuus oli lähellä laboratoriossa määritettyjä timotein sulavuuksia (Rinne et al. 2000). Tämän vuoksi katsottiin timotein sulavuuden edustavan koko sadon sulavuutta.

Sään, maan kosteuden ja juuriston tiheyden mittaus

Koekentälle pystytettiin joka vuosi automaattinen mikrosääsema, joka jatkuvasti mittasi noin metrin korkeudelta lämpötilan, suhteellisen kosteuden, lyhytaaltoisen

säteilyn ja sademäärän (valmistaja itävaltalainen Adcon Telemetry). Asema lähettää automaattisesti säätietojen keskiarvot viidentoista minuutin jaksoista radioteitse vastaanottimen kautta mikrotietokoneeseen, joka tallentaa mittaukset muistiin. Lämpötilaa ja ilman kosteutta mittaavat anturit ovat Vaisala Oy:n valmistamia ja säteilymittarina on pyranometri (MS-020VM). Sademäärää mittaa läpimitalta 16 cm:n astian pohjaan asennettu lusikkamittari, jonka tarkkuus on 0,1 mm sadetta. Noin 4 km:n päässä koekentistä sijaitsee Ilmatieteen laitoksen Jokioisten observatorio. Ilmatieteen laitokselta saatiin observatorion 2 m:n korkeudessa mittaama vuorokauden keskilämpö, vuorokauden sademäärä, keskimääräinen tuulen nopeus 30 m:n korkeudessa ja ilman suhteellinen kosteus 2 m:n korkeudessa iltapäivällä (kesäaikana klo 15). Koekentillä mitatut vuorokauden keskilämpötilat olivat lähes samat kuin Jokioisten observatorion mittaamat. Esimerkiksi vuonna 1998 observatorion vuorokauden keskilämpötilat ($^\circ\text{C}$) korreloivat automaattisääsämien mitaamien kanssa seuraavasti: $\text{Obs} = 0,984 \times \text{Mikroas} + 0,129$, $r = 0,996$. Myös vuorokauden keskimääräinen lyhytaaltainen globaalisäteily (Wm^{-2}) mikrosääsämällä mitattuna antoi lähes saman tuloksen kuin observatoriossa mitattu: $\text{Obs} = 0,986 \times \text{Mikroas} - 1,84$, $r = 0,977$. Sen sijaan vuorokauden sademäärät mittauspaiikkojen välillä saattoivat poiketa toisistaan useita millimetrejä. Heinän kehityksen ja kasvun mallinnuksessa käytettiin mikrosääsämien mittaustuloksia. Terminen kasvukausi alkoi kuitenkin ennen heinän kasvuun lähtöä, jolloin mikrosääsamat pystytettiin. Ennen mikrosääsämien pystytystä laskettiin tehoisa lämpösumma käyttäen observatoriossa mitattuja arvoja. Maan kosteus laskettiin observatorion säämittausten perusteella. Penman-Monteith -kaava edellyttää säähavaintojen tekoa 2 m:n korkeudesta ja tasaista peltoaukeata, jossa ruoho jatkuvasti leikataan parin cm:n pituiseksi. Kuitenkin observatorion ilmoittama tuulen nopeus ja iltapäivän suhteellinen kosteus soveltuvat potentiaalisen haihdunnan laskemiseen ja



Kuva 1. Juuriston tiheydet vuonna 1998.

tulokset ovat hyvin lähellä A-astian päivittäistä haihduntaa (Aura 1995).

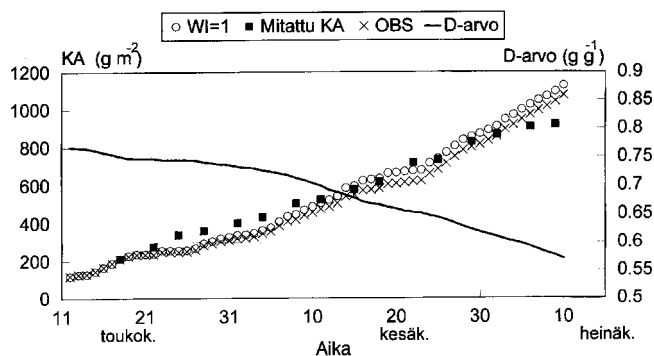
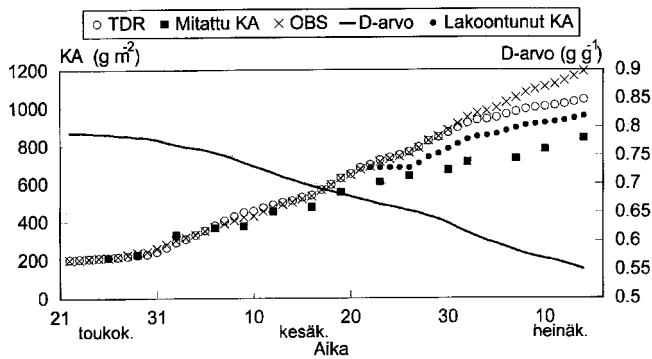
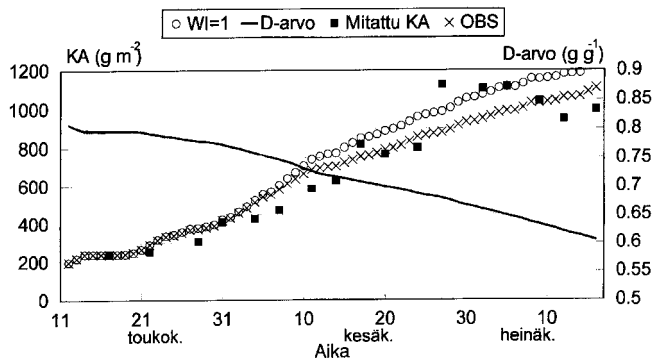
Maan kosteutta seurattiin vuonna 1996 kipsiblokkien avulla, jotka kuitenkin huonosti soveltuivat kvantitatiiviseen maan kosteuden seurantaan. Vuonna 1997 kosteus mitattiin TDR-menetelmällä (the time-domain reflectometry, Topp et al. 1980). Mittarityyppi oli TDR System 6050XI (valmistaja Soil Moisture Equipment Corp., Kalifornia). Sateisena vuonna 1998 voitiin mitata ainoastaan 0–45 cm:n kerroksen kosteus, koska kyllästyskosteudessa oleva maa syvemmissä kerroksissa aiheutti epätarkkuutta TDR-mittarin toiminnassa. Juuriston tiheyttä mitattiin vuonna 1998 kesäkuun 4.–5. ja 16. päivänä kaivu- ja valokuvausmenetelmällä (Aura 1999) neljästä kohdasta koekenttää.

Tulokset ja niiden tarkastelu

Juuriston mittaustulokset vuoden 1998 koekentästä on esitetty kuvassa 1. Tiheys alenee voimakkaasti syvyyssuuntaan. Tiheydet pohjamaassa ovat samaa suuruusluokkaa kuin Ilolan et al. (1988) timoteille mitaamat. Tehokas maan veden käyttö edellyttäisi, että juuritiheys olisi yli $0,1 \text{ cm cm}^{-3}$ (McCoy et al. 1984). Kuvan 1 perusteella vesitalouden laskeminen 1 m:n maakerrokselle kuten Gustavssonin et al. (1995) tutkimuksessa, antaisi liian hyvän kuvan maan vesitilanteesta. Juuristomittausten perusteella päädyttiin 0–0,6 m:n maakerroksen vesitalouden simulointiin.

Alkukesät vuosina 1996 ja 1998 olivat kosteita. Toukokuun 15. päivän ja heinäkuun 15. päivän välisenä aikana vuonna 1996 satoi koekentällä 208 mm ja vuonna 1998 215 mm. Sen sijaan vuoden 1997 alkukesä oli kuiva. Toukokuun puolestavälis-

t



Kuva 2. a-c. Lasketut ja mitatut kuiva-ainesadot vuosille 1996–1998. Sulavuus D on laskettu käyttäen yhtälöä (1). $WI = 1$: vesi-indeksin arvo yhtälössä (2) on 1. Mitattu KA: mikroruutujen mukainen kuiva-ainesato. OBS: maan kosteus ja vesi-indeksi WI simuloitu Jokioisten observatorion sääarvojen perusteella. TDR: maan kosteusindeksi WI laskettu TDR-mittausten avulla. Lakoontunut KA: heinän lakoontuminen otettu huomioon pysäyttämällä simulaatiossa kuiva-aineen kasvu viideksi päiväksi.

ä kesäkuun 14. päivään mennessä ei satanut lainkaan, minkä vuoksi koekenttää jouduttiin sadettamaan. Laskennat tehtiin käyttä-

mällä maan vesitilannetta kuvaavana WI-indeksinä seuraavia arvoja: 1996, $WI = 1$ tai observatorion sääarvojen perusteella

lasketun kosteustilanteen mukainen; 1997, WI laskettu TDR-mittausten perusteella tai observatorion sääarvoja käyttäen; 1998, WI = 1 tai saatu observatorion sääarvoja käyttäen. Tulokset on esitetty kuvissa 2a, 2b ja 2c.

Kuvasta 2a nähdään, että malli yliarvioi vuonna 1996 kuiva-ainesadon. Aluksi kaksi simulaatiota ovat antaneet lähes samat kuiva-ainesadot, mutta kesäkuun 10. päivän jälkeen vesitilanteen laskeminen sääarvojen avulla ennusti hitaampaa kasvua kuin käyttämällä vesi-indeksinä arvoa 1. Satomittaukset osoittavat kuiva-ainesadon kasvun pysähtyneen kesäkuun 20. päivän tienoilla. Tällainen tulos ei johtune koevirheestä, sillä kerranteiden tulokset olivat samansuuntaiset. Syynä kasvun taantumiseen oli voimakas sade 18.–19. kesäkuuta. Vettä satoi yhteensä 31 mm, mikä lakoonnutti heinän. Nurmi nousi parin viikon aikana uudelleen pystyyn, jolloin fotosynteesi pääsi elpymään. Kuitenkin heinäkuun alkupuolen sateet lakoonnuttivat heinän lopullisesti, jolloin alimmat lehdet lähellä maan pintaa alkoivat hajota.

Kuvan 2b mukaan vuonna 1997 kasvu-kauden alussa mallin laskemat kuiva-ainemäärät olivat lähellä mitattuja. Observatorion mittausten käyttö kuivana alkukesän vesi-indeksin laskentaan on antanut saman ennusteen kuin TDR-mittausten käyttö. Kesäkuun 13. päivän jälkeen alkaneet runsaat sateet kuitenkin osittain lakoonnuttivat heinän. Aikana 14.–16.6. satoi koekentälle 44 mm ja 22.–26.6. 61 mm. Tämä on

ilmeisesti syynä ennusteen virheeseen tänä ajanjaksona. Kuvassa 2b on myös esitetty lasketut kuiva-ainemäärät, kun kasvun pysähtyminen muutaman päivän ajaksi runsaan sateen aikana on otettu huomioon. Lakoonnutumisen vaikutuksen laskeminen on kuitenkin epävarmaa.

Vuonna 1998 mitattu toukokuun kasvu oli hiukan nopeampaa kuin simuloitu. Kesäkuun loppupuolella 19. päivän jälkeen (73 mm) ja kesä - heinäkuun vaihteessa sattuneet voimakkaat kuurot (41 mm) lakoonnuttivat heinää vähentäen kasvien fotosynteesitehoa. Simuloitu sato ei kuitenkaan paljon poikennut mitattusta. Kuvista 2a, 2b ja 2c nähdään, että viileänä vuonna 1996 rehun sulavuus on laskenut vasta kesäkuun 20. päivänä arvoon 0,7. Sen sijaan vuonna 1998 laadun muuttuminen on ollut paljon nopeampaa, D-arvo 0,7 on saavutettu jo 11. kesäkuuta.

Tulokset osoittavat, että Gustavssonin et al. (1995) malli ennustaa muunnettuna tyydyttävästi kuiva-aineen kasvua alkukesän aikana. Mallin etuna on, että sitä on testattu useilla kokeilla Ruotsissa. Simulointiin voidaan sisällyttää maan tyypitilanteen mallintaminen, kuten Gustavsson et al. (1995) ovat tehneet. Saadut alustavat tulokset Suomessa antavat aiheen soveltaa mallia heinän kehityksen simulointiin koko kasvukaudella. Mallia on testattava muualakin kuin Jokioisista saaduilla koeaineistoilla. Tällöin malliin on ilmeisesti sisällytettävä myös päivän pituuden vaikutus rehun sulavuuden muuttumiseen.

Kirjallisuus

Aslyng, H.C. & Hansen, S. 1985. Radiation, water and nitrogen balance in crop production. Field simulation models experiments and WATCROS and NITCROS. Hydrotechnical Laboratory. The Royal Veterinary and Agricultural University. Copenhagen: The Royal Veterinary and Agricultural University. 146 p. ISBN 87-88431-045.

Aura, E. 1975. Effects of soil moisture on the germination and emergence of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland* 47: 1–70.

– 1995. Finite element modeling of subsurface drainage in Finnish heavy clay soils. *Agricultural Water Management* 28: 35–47.

- 1999. Effects of shallow tillage on physical properties of clay soil and growth of spring cereals in dry and moist summers in southern Finland. *Soil & Tillage research* 50: 169–176.
- Feddes, R.A.** 1971. Water, heat and crop growth. Mededelingen Landbouwhogeschool Wageningen, Nederland, 71-12. Wageningen: H. Veenman & Zonen N.V. 183 p.
- Gustavsson, A.-M., Angus, J.F. & Torssell B.W.R.** 1995. An integrated model for growth and nutritional value of timothy. *Agricultural Systems* 47: 73–92.
- Huokuna, E. & Hakkola, H.** 1984. Koiranheinän ja timotein kasvu ja rehuarvon muutokset säilörehuasteella. Maatalouden tutkimuskeskus. Tiedote 8/84. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 54 p. ISSN 0359-7652.
- Iloa, A., Elomaa, E. & Pulli, S.** 1988. Testing of a Danish growth model for barley, turnip rape and timothy in Finnish conditions. *Journal of Agricultural Science in Finland*. 60: 631–660.
- Karvonen, T. & Varis, E.** 1992. Mathematical models in crop production. University of Helsinki. Department of Plant Production. Publication N: 32. Helsinki: Helsinki University. 218 p. ISSN 0235-3663, ISBN 951-45-6150-3.
- McCoy, E.L., Boersma, L., Ungs, M.L. & Ak-ratanakul, S.** 1984. Toward understanding soil water uptake by plant roots. *Soil Science* 137: 69–77.
- Monteith, J.L.** 1965. Evaporation and environment. *Symposia of the Society for Experimental Biology* 19: 205–234.
- Penman, H. L.** 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society, London A*, 193: 120–145.
- Pohjonen, V.** 1975. A dynamic model for determining the optimum cutting schedule of Italian ryegrass. *Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland* 47: 71–137.
- Pulli, S.** 1980a. Growth factors and management technique used in relation to the developmental rhythm and yield formation pattern of a clover-grass stand. *Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland* 52: 215–280.
- 1980b. Growth factors and management technique used in relation to the developmental rhythm and yield formation pattern of a pure grass stand. *Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland*. 52: 281–330.
- Rinne, M., Hellämäki, M., Nousiainen, J., Aura, E. & Huhtanen, P.** 1999a. Development of timothy during progressing growth and subsequent nutritional implications. The XIIIth International Silage Conference, July 5-7, 1999, Uppsala, Sweden. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences. p. 166–167.
- , **Hellämäki, M., Nousiainen, J., Aura, E., Virka-järvi, P. & Huhtanen, P.** 2000. Nurmirehun korjuu-ajan valinta tarkemmaksi. Maataloustieteen päivät 2000, Kotieläintiede. MKL:n julkaisu. Helsinki: Maa-seutukeskusten liitto. Painossa.
- , **Jaakkola, S. & Huhtanen, P.** 1997. Grass maturity effects on cattle fed silage-based diets. 1. Organic matter digestion, rumen fermentation and nitrogen utilization. *Animal Feed Science Technology* 67: 1–17.
- , **Jaakkola, S., Kaustell, K., Heikkilä, T. & Huhtanen, P.** 1999b. Silages harvested at different stages of grass growth v. concentrate foods as energy and protein sources in milk production. *Animal Science* 69: 251–263.
- Syrjälä, L. & Ojala, R.** 1978. Kevät- ja syysadosta eri kehitysasteilla valmistetun timoteisäilörehun ravintoarvo. *Kehittyvä Maatalous* 39: 36–49.
- Topp, G.C., Davis, J.L. & Annan, A.P.** 1980. Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission lines. *Water Resources Research* 16: 574–582.
- Valion korjuu-aikatie-dotus. Cited 30.8.1999. Available at internet: <http://www.agronet.fi/artturi>.

Määrää vai laatua – nurmikasvijalostajan näkökulma

Pertti Pärssinen

Boreal Suomen Kasvinjalostus, Myllytie 10, 31600 Jokioinen, pertti.parsinen@borealpb.com

Vuonna 1996 aloitettiin Maatalouden tutkimuskeskuksen ja Boreal Suomen Kasvinjalostuksen yhteistyönä tutkimusprojekti. Sen avulla pyritään kehittämään nurmikasvien jalostusta niin, että sadon määrän lisäksi sadon laatu otetaan valinnassa huomioon. Tutkimuksen yksi osa on virallisissa lajikekokeissa olevien lajikkeiden ja linjojen vertailu. Vuoden 1997 timotein lajikekokeissa lajikkeiden laatuerot olivat yhtä selviä kuin satoisuuserot. Erityisen suuria eroja oli toisen niiton sadossa. Lajikkeiden välisiä laatueroja selvensi kasvuston korsi-, lehtilapa- ja lehtituppiosien erillinen tarkastelu.

Myös lajikkeiden laadun muutosta ennen niittoa seurattiin tutkimuksessa. Sadolla ja laadulla oli selvä negatiivinen riippuvuussuhde. Lajikkeiden ja koepaikkojen yhdysvaikutus oli kaikkien ominaisuuksien suhteen merkittävä. Lajikekokeet antavat jalostukselle tietoa potentiaalisista risteytysvanhemmista, genotyyppi x ympäristö -yhdysvaikutuksista ja karkeita arvioita ominaisuuksien periytyvyydestä ja korrelaatiosta. Spesifisempiä risteytyskokeita tarvitaan kuitenkin sadon ja laadun yhteensovittamiseksi jalostusohjelmissa.

*Avainsanat: nurmikasvit, lajikkeet, lajikekokeet, timotei, *Pbleum pratense*, kasvinjalostus, sulavuus*

Discrepancy between yield and quality of timothy

Abstract

Evaluation of the results of official timothy variety trials in 1997 found statistically significant differences between varieties in both yield and quality characteristics.

Quality differences between varieties were marked, when leaf and stem fractions were measured separately. The genotype x

environment interaction was significant and it was studied in greater detail with AMMI analysis. The correlation between yield and quality was negative. The significance of variety trial data for future plant breeding programmes is discussed.

Key words: herbage crops, varieties, variety trials, timothy, Phleum pratense, plant breeding, digestibility

Johdanto

Timoteivaltaisilla nurmillamme sadon määrä ja laatu ovat viljelijän kannalta ristiriidassa. Ensimmäisen säilörehunkorjuun siirtäminen ja kahden korjuun suorittaminen kolmen asemasta kohottaa yleensä nurmesta saatavaa kuiva-ainesatoa ja parantaa nurmen kestävyyttä (Nissinen & Hakkola 1995). Saatavan nurmirehun laatu vastaa-vasti heikkenee. Viljelijä on optimointitilanteen edessä, jossa hänen tulee ottaa huomioon monia tilakohtaisia seikkoja, kuten esim. peltoalan suhde karjan määrään ja karjan tuottavuus. Samoin monet ulkoapäin ohjautuvat seikat, kuten ostorehujen hinta, tuet yms. vaikuttavat sadon ja laadun optimointiin.

Nurmikasvijalostus pyrkii parantamaan nurmikasvien geneettistä potentiaalia sekä sadon määrän että laadun suhteen. Painopiste on perinteisesti ollut sadon parantamisessa. Synnä ovat olleet pitkälti tekniset ja resurssiongelmat sekä tiedon puute – toisaalta laadun todellisesta merkityksestä viljelijän taloudellisen tuloksen kannalta, toisaalta ominaisuuksien geneettisen vaihtelun määrästä ja laadusta.

Vuonna 1996 aloitettiin Maatalouden tutkimuskeskuksen (MTT) ja Boreal Suomen Kasvinjalostuksen yhteistyönä projekti, jossa lähdettiin tutkimaan nurmirehun määrän ja laadun vaihtelua markkinoilla olevissa timoteilajikkeissa sekä virallisissa lajikekokeissa olevissa jalostuslinjoissa. Samalla aloitettiin koesarjat Borealin jalostusmateriaalilla, jonka avulla pyritään kehittämään optimaalista jalostusstrategiaa sadon ja laadun samanaikaiseen kehittämiseen. Projektiin liittyvät kenttä- ja laboratoriokokeet jatkuvat osana MTT:n johtamaa ja maa- ja metsätalousministeriön tukemaa laajempaa nurmitutkimushanketta.

Seuraavassa esitellään esimerkkinä tähän mennessä tehtyjä kokeita ja saatuja tuloksia sekä pohditaan tulosten merkitystä erityisesti kasvinjalostuksen kannalta.

Aineisto ja menetelmät

Tutkimuksessa on käytetty hyväksi MTT:n vuonna 1995 perustamia timotein virallisia lajikekokeita, jotka sijaittivat Jokioisissa, Maaningalla, Sotkamossa ja Ruukissa. Kokeet olivat kolmevuotiset, mutta tulosten käsittelyn ollessa kesken tässä tarkastelussa keskitytään ainoastaan vuoden 1997 tuloksiin. Kaikista kokeista kerättiin laatunäytteet ruuduittain. Ensimmäisen niiton yhteydessä näyte otettiin ruudun ollessa kasvuvaiheessa, jossa 50 % versoista oli täydellä tähkällä. Toisen niiton näyte otettiin korjuun yhteydessä elokuun lopulla. Kahdella koepaikalla (Jokioinen ja Sotkamo) on lisäksi seurattu laadun kehitystä ennen korjuuta. Ylimääräiset näytteet on otettu ensimmäisessä niitossa lippulehtivaiheessa ja tähkimisen alussa (10 %:ssa versoista tähkänpää näkyvissä). Näytteet on kuivattu +40 °C:ssa, jaoteltu käsin korsi-, lehtilapa- ja lehtituppifraktioihin ja jauhettu myllyllä 1 mm:n seulaa käyttäen. Eri fraktioista ja yksittäisnäytteistä on määritetty orgaanisen aineen sulavuus, NDF-, ADF- ja ADL-pitoisuudet sekä raakavalkuaispitoisuus NIR-spektrofotometrillä. Ainoastaan sulavuustuloksia esitetään tässä yhteydessä. NIR-spektrofotometri on kalibroitu käyttäen hyväksi osaa aineistosta. Kalibrointi-näytteiden analysoinnissa on sulavuusmäärittäyksissä käytetty *in vitro* -sellulaasimenetelmää.

Tulosten tilastollisessa käsittelyssä on käytetty SPSS (versio 9,0) laskentaohjelmaa ja AMMI (*additive main effects and multiplicative interaction*)-analyysin osalta Agrobases for Windows (versio 5,0) -ohjelmaa.

Lajikkeiden aiheuttaman vaihtelun osuus kokonaisvaihtelusta on laskettu varianssianalyysin keskineliöistä. Korrelaatioanalyysissä on käytetty Pearson-korrelaatiota.

AMMI-analyysiä on käytetty selittämään varianssianalyysin erottamaa lajike x koepaikka -yhdysvaikutusta. AMMI-analyysi käyttää laskentaan pääkomponenttianalyysiä (Zobel et al. 1988).

Taulukko 1. Päävaikutusten (lajike, koe) ja yhdysvaikutuksen (lajike x koe) tilastollinen merkitsevyys vuonna 1997 lajikekoeaineistossa.

	Kuiva-ainesato			Kokonais-sulavuus		Korren sulavuus		Lehtitupen sulavuus	
	1. niitto	2. niitto	Yht.	1. niitto	2. niitto	1. niitto	2. niitto	1. niitto	2. niitto
lajike	*	***	***	*	***	NS	***	*	***
koe	*	*	*	***	**	**	***	**	***
lajike x koe	*	**	*	***	NS	***	***	**	***

	Lehtilavan sulavuus		Korren osuus kuiva-aineesta		Lehtilavan osuus kuiva-aineesta		Lehtitupen osuus kuiva-aineesta	
	1. niitto	2. niitto	1. niitto	2. niitto	1. niitto	2. niitto	1. niitto	2. niitto
ajike	**	***	*	***	*	***	**	**
koe	***	***	***	**	**	**	***	***
lajike x koe	***	**	***	*	***	**	***	**

*** = p-arvo < 0,001; ** = p-arvo < 0,01; * = p-arvo < 0,05;
NS = ei tilastollista merkitsevyyttä

Taulukko 2. Lajikkeiden keskimääräinen satoisuus neljällä koepaikalla vuonna 1997.

Lajike	Sato kg kuiva-ainetta/ha		Yht.
	1. niitto	2. niitto	
Tiiti	5183	3627	8811
Iki	5506	3160	8666
Tammisto II	5350	3440	8791
Jonathan	5183	3136	8320
Vega	5439	2801	8240
Futi 8803	5232	3606	8839
Kviti 8801	5111	3213	8324
Grinstad	4786	4724	9510
Tuukka	5451	3519	8971
Bottnia II	5009	2966	7976

Tulokset

Lajikkeet erosivat merkitsevästi toisistaan useimpien satoisuus- ja laatutekijöiden suhteen (Taulukko 1). Lajike-erot olivat selvempiä toisessa niitossa. Kokeiden päävaikutukset olivat merkitseviä kummassakin niitossa samoin kuin lajikkeiden ja kokeiden yhdysvaikutukset.

Satoisuus

Ensimmäisessä niitossa sato oli suurempi kuin toisessa. Iki, Tuukka ja Vega olivat ensimmäisen niiton satoisimmat lajikkeet (Taulukko 2.) Grinstad tuotti selvästi vähiten satoa. Toisessa niitossa Grinstad oli satoisin lajike. Vegan, Bottnia II:n ja Jonathanin kuiva-ainesadot olivat pienimmät. Yhteiskuiva-ainesadoltaan Grinstad oli paras lajike, Bottnia II tuotti vähiten satoa.

Taulukko 3. Eri kasvinosien osuus kuiva-ainesadosta (%).

Lajike	1. niitto			2. niitto		
	korsi	lapa	tuppi	korsi	lapa	tuppi
Tiiti	48,6	27,5	24,0	36,4	43,1	20,5
Iki	50,9	25,7	23,4	32,2	50,7	17,1
Tammisto II	51,8	24,3	24,0	33,5	48,6	17,9
Jonathan	51,1	25,3	23,5	27,9	54,7	17,4
Vega	51,8	25,4	22,9	26,2	58,9	14,9
Futi 8803	51,6	24,9	23,4	39,3	44,3	16,4
Kviti 8801	50,7	26,5	22,8	35,7	48,1	16,3
Grinstad	50,4	26,4	23,2	48,2	34,6	17,2
Tuukka	48,9	27,1	24,1	29,0	53,8	17,2
Bottnia II	51,1	24,8	24,1	36,1	45,9	18,0

Taulukko 4. Lajikkeiden orgaanisen aineen sulavuus (%).

Lajike	1. niitto	2. niitto
Tiiti	63,5	67,6
Iki	63,6	70,3
Tammisto II	62,9	68,2
Jonathan	62,4	68,7
Vega	63,6	72,0
Futi 8803	63,5	66,2
Kviti 8801	63,8	68,1
Grinstad	63,2	64,1
Tuukka	63,6	70,5
Bottnia II	63,6	67,2

Eri kasvinosien osuudet

Lajikkeiden väliset erot olivat toisessa niitossa suuremmat kuin ensimmäisessä. Ensimmäisessä niitossa Vegan, Tammisto II:n ja Futi 8803:n sato sisälsi eniten kortta (Taulukko 3.) Tiiti ja Tuukka olivat lehtevimmät lajikkeet. Toisessa niitossa lehtilapaa oli eniten Vega-, Jonathan- ja Tuukkalajikkeissa. Selvästi eniten kortta muodosti Grinstad. Ensimmäisessä niitossa kortta oli noin puolet sadosta, lehtilapaa vain neljäsosa. Toisessa niitossa korren ja tupen määrä oli huomattavasti pienempi kuin ensimmäisen niiton sadossa.

Orgaanisen aineen sulavuus

Ensimmäisessä niitossa lajikkeiden erot olivat sulavuuden suhteen pienet (Taulukko 4). Lapaosan sulavuus oli paras Grinstad-la-

jikkeella (Taulukko 5). Jonathanin ja Tammisto II:n lavan sulavuus oli huonoin. Toisessa niitossa Grinstadin sato oli sulavuudeltaan muita heikompilaatuista. Vega, Iki ja Tuukka olivat sulavuudeltaan parhaita. Vegalla oli parhaiten sulava korsi ja lapa, Grinstadilla heikoimmin sulava.

Genotyypin ja ympäristön yhdysvaikutus

AMMI-analyysi pystyi selittämään kaikkia merkitseviä yhdysvaikutuksia yhdellä tai useammalla pääkomponentilla. Kuvassa 1 on esimerkkinä biplot-tulostus ensimmäisen niiton kuiva-ainesadosta. Kuvan x-akselilla on vuodelta 1997 koepaikkojen sekä lajikkeiden satoisuuksien keskiarvot ja ensimmäisen lajike x koepaikka - yhdysvaikutusta selittävän pääkomponentin (selityssaste 67,6 %) arvot. Kuvasta nähdään, että la-

Taulukko 5. Eri kasvinosien sulavuus (%).

Lajike	1. niitto			2. niitto		
	korsi	lapa	tuppi	korsi	lapa	tuppi
Tiiti	60,2	73,6	58,5	63,3	73,5	65,5
Iki	60,8	73,5	58,9	64,3	75,4	67,2
Tammisto II	60,6	73,0	57,7	62,3	73,7	65,2
Jonathan	59,4	73,0	57,3	62,9	73,6	66,7
Vega	60,4	74,2	58,8	66,1	76,1	68,5
Futi 8803	60,6	74,7	58,1	61,3	72,4	62,5
Kviti 8801	60,8	74,5	58,1	62,5	74,3	65,5
Grinstad	60,2	76,0	58,2	62,8	71,7	62,3
Tuukka	60,3	74,0	58,3	64,9	75,2	66,5
Bottnia II	60,4	74,2	59,1	61,5	73,9	64,0

jikkeiden paremmuusjärjestys oli samankaltainen Maaningalla ja Jokioisissa ja toisaalta Ruukissa ja Sotkamossa. Lajikkeista Grinstad oli selvimmän muista poikkeava. Asetelma oli samansuuntainen toisen niiton satoa ja kokonaissatoa tarkasteltaessa.

Kuvassa 2 näkyy ensimmäisen niiton sulavuuksien biplot-kaavio ensimmäisen yhdysvaikutusta selittävän pääkomponentin ja keskiarvojen suhteen. Koepaikat Sotkamo ja Jokioinen muistuttivat laatumäärittäyksissä toisiaan, samoin Ruukki ja Maaninka. Grinstad poikkesi myös laadultaan muista lajikkeista eri koepaikoilla.

Lajikkeiden aiheuttaman vaihtelun osuus kokonaisvaihtelusta

Varianssianalyysin neliösummien avulla laskettiin lajikkeiden aiheuttaman vaihtelun osuus eri ominaisuuksista (Taulukko 6).

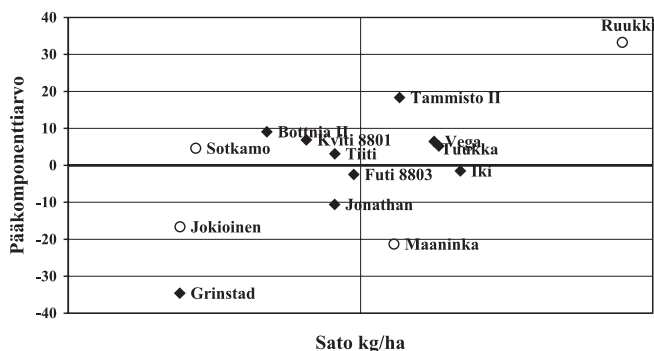
Lajikkeiden aiheuttama vaihtelu oli samaa luokkaa niin sato- kuin laatuominaisuuksienkin suhteen. Toisessa niitossa lajikevaihtelu suhteessa ympäristövaihteluun oli suurempi kuin ensimmäisessä niitossa.

Ominaisuuksien lajikekeskiarvojen väliset korrelaatiot

Ominaisuuksien väliset korrelaatiot on esitetty niitoittain taulukoissa 7 ja 8. Tilastollisesti merkitseviä korrelaatioita oli sato- ja laatuominaisuuksien välillä sekä eri laatuominaisuuksien välillä. Korrelaatiot olivat toisessa niitossa voimakkaampia kuin ensimmäisessä.

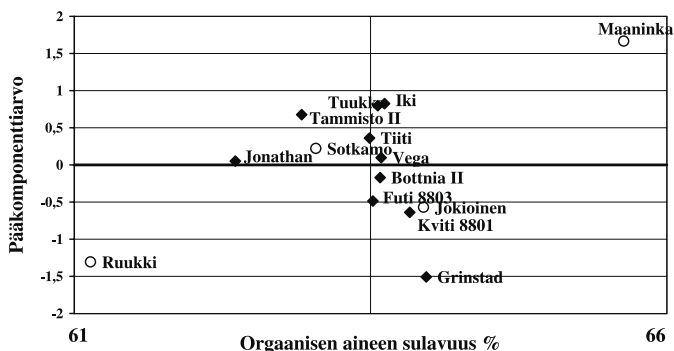
Sulavuuden muutos ennen korjuuta

Kasvuston sulavuus laski ensimmäisessä niitossa melko tasaisesti kaikilla lajikkeilla



Kuva 1. AMMI-analyysin biplot-kaavio, joka kuvaa samanaikaisesti lajikkeiden ja koepaikkojen satoisuuden keskiarvoja sekä näiden yhdysvaikutusta selittävän ensimmäisen pääkomponentin arvoja. Vuoden 1997 lajikekoetulokset, 1. niitto.

Kuva 2. Lajikkeiden ja koe-
paikkojen sulavuuskeskiar-
vot sekä yhdysvaikutusta
selittävän ensimmäisen
pääkomponentin arvo vuon-
na 1997, 1. niitto.



(Kuva 3). Lajikkeiden väliset erot olivat suurempia, kun kasvinosafraktioita tarkasteltiin erillään (Kuvat 4 ja 5). Kahden viikon aikana ennen toista niittoa ei sulavuudessa tapahtunut merkittäviä muutoksia.

Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

Vuoden 1997 lajikekoetulosten tarkastelu osoittaa, että lajikkeiden laadussa on kutakuinkin yhtä selkeitä eroja kuin lajikkeiden satoisuudessa. Erot laadussa ovat oikeastaan yllättävänkin suuria, kun ottaa huomioon, että kyseisten lajikkeiden jalostuksessa ei ole käytännössä juuri kiinnitetty huomiota rehun sulavuuteen. Erot ovat siis sattumalta populaatioiden välille syntyneitä.

Kuten odotettua, lajikkeiden sadolla ja laadulla oli negatiivinen riippuvuus. Tämä tekee timoteilajikkeiden paremmuusjärjestykseen laittamisen entistäkin vaikeam-

maksi. Joukosta erottui koevuonna edukseen kaksi lajiketta: Grinstad ja Tuukka. Grinstad oli näistä satoisampi, mutta Tuukka kokonaisuutena parempilaatuinen. Punnittavaksi jää, onko Grinstadin 4800 kg/ha 63 % sulavaa satoa (1. niitto) plus 4700 kg/ha 64 % sulavaa satoa (2. niitto) parempi kuin Tuukan 5450 kg/ha 64 % sulavaa satoa plus 3500 kg/ha 70,5 % sulavaa satoa. Jos luvuista estimoidaan sulavan orgaanisen aineen määrä hehtaaria kohti, Grinstad voittaa niukasti. Toisaalta säilörehu, jonka orgaanisen aineen sulavuus on alle 65 %, tyydyttää harvaa viljelijää. Ensimmäisessä niitossa laatua parannetaan aikaistamalla niittoa, mutta toisessa sadossa sekään ei helpposti auta. Grinstad-lajiketta viljelevän tulisi hyvään rehulaatuun pyrkiessään tehdä nurmesta kolme niittoa. Tällöin jäädäänkin kokonaissadossa taas alemmalle tasolle ja ero kahden niiton nurmiin kasvaa nurmen vanhetessa.

Kasvinjalostuksessa sekä Tuukka että Grinstad ovat risteytysvanhempina erittäin käyttökelpoisia. Kummankin lajikkeen

Taulukko 6. Lajikkeiden aiheuttaman vaihtelun osuus kokonaisvaihtelusta % eri ominaisuuksilla (vuosi 1997, neljä koepaikkaa).

	1. niitto	2. niitto
Kuiva-ainesato	7,4	38,5
Korren osuus sadosta	5,5	21,7
Lavan osuus sadosta	10,4	14,7
Tupen osuus sadosta	3,2	7,1
Kokonaissulavuus	3,6	46,3
Korren sulavuus	3,0	15,4
Lavan sulavuus	8,9	16,1
Tupen sulavuus	8,8	24,6

Taulukko 7. Sadon ja laatuominaisuuksien lajikekeskiarvojen korrelaatiot ensimmäisessä niitossa (Pearson-korrelaatio).

	Korsi- pitoisuus	Lapa- pitoisuus	Tuppi- pitoisuus	Kokonais- sulavuus	Korren sulavuus	Lavan sulavuus	Tupen sulavuus
Sato	0,046	-0,106	-0,226	0,136	0,241	-0,629	0,116
Korsi- pitoisuus		-0,903 **	-0,611	-0,218	0,156	-0,032	-0,106
Lapa- pitoisuus			0,331	0,336	-0,080	0,249	0,089
Tuppi- pitoisuus				-0,189	-0,223	-0,308	-0,033
Kokonais- sulavuus					0,794 **	0,409	0,739 *
Korren sulavuus						0,220	0,522
Lavan sulavuus							0,226

Taulukko 8. Sadon ja laatuominaisuuksien lajikekeskiarvojen korrelaatiot toisessa niitossa (Pearson-korrelaatio).

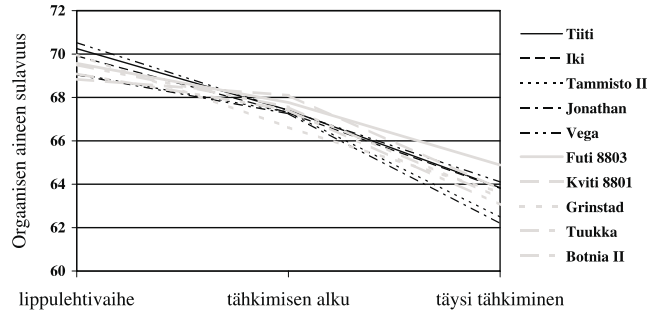
	Korsi- pitoisuus	Lapa- pitoisuus	Tuppi- pitoisuus	Kokonais- sulavuus	Korren sulavuus	Lavan sulavuus	Tupen sulavuus
Sato	0,821 *	-0,815 *	0,255	-0,752	-0,240	-0,739 *	-0,687 *
Korsi- pitoisuus		-0,979 **	0,243	-0,926 **	-0,583	-0,826 **	-0,895 **
Lapa- pitoisuus			-0,436	0,931 **	0,609	0,840 **	0,876 **
Tuppi- pitoisuus				-0,341	-0,321	-0,353	-0,217
Kokonais- sulavuus					0,780 **	0,964 **	0,944 **
Korren sulavuus						0,766 **	0,793 **
Lavan sulavuus							0,897 **

parhaita puolia yhdistämällä voidaan päästä lähemmäksi ideaalilajiketta.

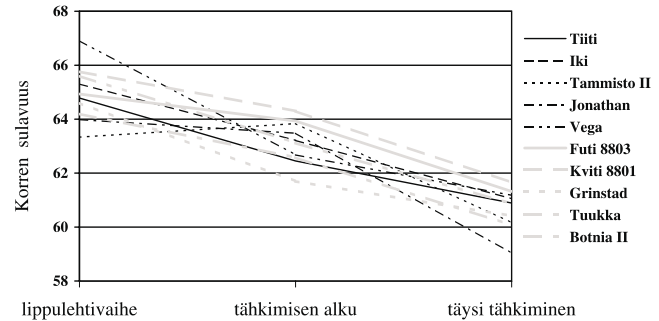
Genotyypin ja ympäristön yhdysvaikutuksen merkitys näytti kokeissa laatuominaisuuksien suhteen vielä merkittävämmäl-

tä kuin sato-ominaisuuksien kohdalla. AM-MI-analyysi osoittaa, että pohjoiseen mentäessä talvenkestävimmät lajikkeet tuottavat satoa suhteellisesti paremmin. Erityyppisiä lajikkeita tarvitaan Pohjois-Suomeen

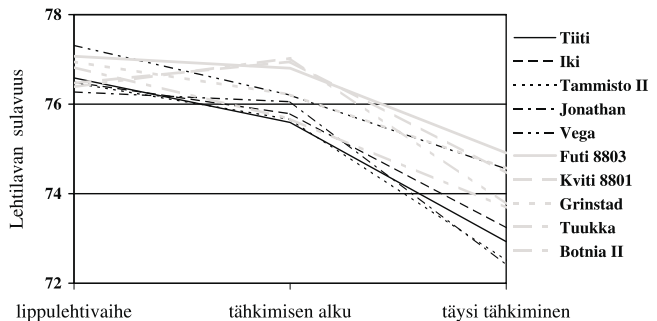
Kuva 3. Sulavuuden muutos ennen ensimmäistä niittoa (Jokioinen ja Sotkamo vuonna 1997).



Kuva 4. Korren sulavuuden muutos ennen ensimmäistä niittoa (Jokioinen ja Sotkamo vuonna 1997).



Kuva 5. Lehtilavan sulavuuden muutos ennen ensimmäistä niittoa (Jokioinen ja Sotkamo vuonna 1997).



(vrt. Björnsson 1993)). Laatuominaisuuksien ollessa kyseessä yhdysvaikutuksen syy ei ole välittömästi nähtävissä. Koepaikkojen usean vuoden sää- ym. ympäristöparametrejä tutkimalla yhdysvaikutusta selittäviä tekijöitä voidaan ehkä löytää. Jos selitys löytyy koepaikkojen pysyvistä eroista, kuten maaperätekijöistä, tulee harkittavaksi tietäntyyppiisiin oloihin soveltuvien *specific adaptation* -lajikkeiden jalostaminen. Jos genotyyppi-ympäristö-yhdysvaikutusta aiheuttavat satunnaiset säätekijät, kuten lämpötila ja sademäärä, kannattaa jalostuksessa tähdätä sopeutuviin wide adaptation

–lajikkeisiin. Kummassakin tapauksessa yhdysvaikutuksen ymmärtäminen tuo valintajalostukseen lisätehoa.

Jalostuksen kokonaisstrategiaa luotaessa ensiarvoista tietoa ovat (geenipoolien ja genotyyppi-ympäristö-yhdysvaikutuksen merkityksen lisäksi) eri ominaisuuksien periytyvyys ja ominaisuuksien välinen geneettinen korrelaatio. Näitä tarvitaan mm. valintaindeksiä laadittaessa. Lajikekoedatassa periytyvyydestä ja geneettisistä korrelaatioista viitteitä antavia parametrejä ovat lajikkeiden aiheuttaman vaihtelun osuus kokonaisvaihtelusta ja ominaisuuksien lajike-

keskiarvojen väliset korrelaatiot. Valinnassa tulee painaa voimakkaasti periytyville ominaisuuksille ja ominaisuuksille, joihin kohdistuva valinta aiheuttaa mahdollisimman vähän tai ei lainkaan kielteisiä vaikutuksia muissa ominaisuuksissa.

Vuoden 1997 lajikekoetuloksia tarkastelemalla voi olettaa, että erityistä painoa jalostusohjelmassa kannattaa laittaa toisen niiton ominaisuuksiin. Kuitenkaan esimerkiksi sitä, painottaako jalostuksessa vahvasti perinnöllistä (mahdollisesti) kokonaissu-

lavuutta, joka korreloi negatiivisesti satouuden kanssa, vaiko heikommin periytyvää (mahdollisesti) korren sulavuutta, jolloin sadontuottokyky ei muutu, lajikekoetulokset eivät pysty ratkaisemaan. Tässäkin ollaan sadon ja laadun suhteen optimointitilanteen edessä, jonka ratkaisemiseen ainoastaan spesifisemmät risteytyskokeet yhdessä eläinravitsemus- ja talousasiantuntijoilta saatavan tiedon kanssa voivat antaa riittävää informaatiota.

Kirjallisuus

Björnsson, H. 1993. Zones for performance testing of timothy (*Phleum pratense* L.) in the Nordic countries. Acta Agriculturae Scandinavica., Section. B, Soil and Plant Science 43: 97–113.

Nissinen O. & Hakkola H. 1995. Effects of plant species and harvesting system on grassland pro-

duction in northern Finland. Agricultural Science in Finland 4: 479–494.

Zobel, R.W., Madison, J.W. & Gauch, H.G. 1988. Statistical analysis of a yield trial. Agronomy Journal 80: 388–393.

Nurmipalkokasveista säilörehua

Liisa Syrjäla-Qvist¹⁾ & Mikko Tuori¹⁾

¹⁾ *Helsingin yliopisto, Kotieläintieteen laitos, PL 28, 00014 Helsingin yliopisto,
Liisa.Syrjala-Qvist@helsinki.fi, Mikko.Tuori@helsinki.fi*

Nurmipalkokasveja, varsinkin puna-apilaa, on perinteisesti viljelty rehuksi Euroopan pohjoisimmissa maissa. Halpojen typpilannoitteiden saanti, nurmipalkokasvien heikko taudinkestävyys ja talvehtiminen sekä palkokasvien säilönnän ongelmat johtivat kuitenkin jo vuosikymmeniä sitten siihen, että heinäkasvinurmi on nykyään tärkein nurmisäilörehun raaka-aine. Tilanne on kuitenkin muuttumassa varsinkin nurmi-tuotannon taloudellisuuden ja ympäristövaatimusten osalta. Ympäristötuen ehdot suosivat tyypeä sitovien kasvien viljelyä ja nopeasti lisääntyvässä luomutuotannossa nurmipalkokasvit ovat lähes ainoa tapa hoitaa maaperän typpitalous. Oleellista on, että nyt selvitetään uusien meillä harvinaisempien nurmipalkokasvien ja -lajikkeiden viljely- ja rehukäyttömahdollisuuksia sekä vaikutusta tyyppihuuhtoutumiseen. Tähän tähtää myös Euroopan unionin rahoittama tutkimusprojekti, Low input animal pro-

duction based on forage legumes for silage, (LEGSIL), joka toteutetaan vuosina 1997–2001 ja johon osallistuu neljä maata, Iso-Britannia, Suomi, Ruotsi ja Saksa.

Nurmiheinäkasveihin verrattuna nurmipalkokasvien säilöntää vaikeuttaa ja säilöntätappioita lisää niiden vähäisempi sokeri- ja kuiva-ainepitoisuus sekä korkeampi puskurikapasiteetti. Nurmipalkokasvien, varsinkin puna-apilan ja keltamaitteen valkuainen on kestävämpää säilörehukäytin proteolyysiä vastaan kuin nurmiheinäkasvien valkuainen. Puna-apilassa nämä erot näkyivät myös valkuaisen hitaampana pötsihajoavuutena ja suurempana ohutsuoleen virtaavan ei-ammoniakkityyppien määränä. Orgaanisen aineen sulavuudessa ei sen sijaan ole ollut eroja. Syöntimäärät ja maidontuotantotulokset ovat kuitenkin useimmiten olleet puna-apilavaltaisella säilörehulla paremmat kuin puhtailla nurmiheinäkasvisäilörehuilla.

Avainsanat: nurmipalkokasvit, puna-apila, Trifolium pratense, valkoapila, Trifolium repens, sinimailanen, Medicago sativa, vuobenberne, Galega orientalis, keltamaite, Lotus corniculatus, säilöntämenetelmät, säilörehu, rebunsäilöntä, ruokinta, rebuarvo

Silage from forage legumes

Abstract

Forage legumes have a long history of cultivation and use in Northern Europe. Due, however, to the availability of cheap N fertilizers and to problems with the overwintering of legumes and their conservation for silage, grass has long been the most important raw material for silage. Changes in economic conditions, increased environmental constraints, the spread of ecological farming and the availability of new varieties and species have made it appropriate to re-evaluate forage legumes in Northern Europe. This is now being done in the coordinated research project Low input animal production based on forage legumes for silage (LEGSIL) funded by the European Union. The project, set to run from 1997 to 2001, has participants from Great Britain, Finland, Sweden and Germany.

Forage legumes are more difficult to ensile than grass because of their lower con-

tent of water-soluble carbohydrates and higher buffering capacity. The rather low dry matter content also increases ensiling losses of forage legumes. The nitrogenous fraction in forage legumes, especially in red clover and birdsfoot trefoil, can better withstand proteolysis during silage fermentation than can the nitrogenous fraction in grass. The differences in the lowered silage protein solubility of red clover were reflected in slower ruminal protein degradability and increased non-ammonia nitrogen flow to the small intestine. Generally, no differences have been found between the digestibilities of organic matter of forage legumes and grass. Intake and milk production have, however, tended to be better in cows fed silage containing red clover than in those fed grass silage.

Key words: forage legumes, red clover, Trifolium pratense, white clover, Trifolium repens lucerne, Medicago sativa, goa's rue, fodder galega, Galega officinalis, birdsfoot trefoil, Lotus corniculatus, method of preservation, silage, fodder preservation, feeding, nutritive value

Johdanto

Nurmipalkokasvien tutkimuksella sekä palkokasvien käytöllä kotieläinten ruokinnassa on pitkät perinteet. Jo 1900-luvun alkuvuosikymmeninä biologinen typensidonta oli monien tutkijoiden mielenkiinnon kohteena, sillä suhteellisen kalliiden typpilannoitteiden tilalle haluttiin löytää muita vaihtoehtoja. Kun oli osoitettu, että biologinen typensidonta ja omavarainen typpitalous toimivat myös käytännön maataloudessa (Virtanen 1935), alkoi kampanja puna-apilan ja muiden palkokasvien puolesta. Se liittyi läheisesti myös maataloutemme peruskysymyksiin ja varsinkin rehuomavaraisuutemme parantamiseen. Apila osoitautui kuitenkin varsin pian olosuhteisiimme liian epävarmaksi kasviksi. Heikko taudinkestävyys ja talvehtiminen sekä palkokasvien säilönnän ongelmat muodostuivat esteeksi. Kun vielä typpilannoitteiden hinnat alenivat, apila ei pystynyt kilpailemaan heinäkasvien kanssa. Palkokasveista kiinnostuttiin Suomessa uudelleen 1970-luvun lopussa. Tavoitteena oli palauttaa apilat pelloillemme ja korvata näin nurmien typpilannoitus biologisella typensidonnalla. Tutkimustietoa kertyi paljon, mutta typpilannoitteiden käyttö osoitautui kuitenkin edelleen taloudellisemmaksi vaihtoehdoksi.

Tilanne on kuitenkin 1990-luvulla muuttunut nurmituotannon taloudellisuuden ja ympäristövaatimusten osalta. Ympäristötuen ehdot suosivat tyypeä sitovien kasvien viljelyä ja nopeasti lisääntyvässä luomutuotannossa nurmipalkokasvit ovat lähes ainoa tapa hoitaa maaperän typpitalous. Toisaalta nurmipalkokasvien typensidonta voi ylittää nurmisadon typen tarpeen, jolloin ylimääräinen typpi on altista huuhtoutumiselle. Oleellista on, että nyt selvitetään uusien tai meillä harvinaisempien nurmipalkokasvilajien ja -lajikkeiden viljely- ja rehukäyttömahdollisuuksia sekä vaikutusta typen huuhtoutumiseen. Tähän tähtää myös Euroopan unionin rahoittama tutkimusprojekti, Low input animal production based on forage legumes for silage,

(LEGSIL), joka toteutetaan vuosina 1997–2001 ja johon osallistuu neljä maata, Iso-Britannia, Suomi, Ruotsi ja Saksa (Wilkins et al. 1998).

Nurmipalkokasvien säilönnän ongelmat

Kun rehua säilötään, tavoitteena on estää rehun ravintoaineita kuluttavien ja rehun laatua heikentävien kasvientsyymien ja haitallisten mikrobien toiminta (McDonald et al. 1991). Näihin tavoitteisiin päästään poistamalla rehusta ilma sekä alentamalla rehun pH:ta. Hapettomissa olosuhteissa rehussa alkaa käymisprosessi, jolloin maitohappobakteerit hajottavat rehun sokereita etupäässä maitohapoksi. Samalla rehun pH laskee, jolloin haitallisten mikrobien toiminta estyy. Säilörehun kuiva-ainepitoisuudesta riippuu, miten alas pH tulee saada. Säilöntäaineiden käytöllä kontrolloidaan myös käymisprosessia eli edesautetaan hyödyllisten mikrobien toimintaa. Lisäksi niillä pyritään estämään rehun aerobinen pilaantuminen ilman päästessä rehuun.

Ottaen huomioon nämä säilönnän perusvaatimukset on selvää, että säilöttävän rehun kemiallinen koostumus sekä kasvien rakenne vaikuttavat säilönnän onnistumiseen tai erityistoimenpiteisiin säilönnän onnistumiseksi.

Muihin nurmikasveihin verrattuna nurmipalkokasvit ovat vaikeimmin säilöttäviä kasveja (Chamberlain & Wilkinson 1996). Näiden säilöntää vaikeuttaa ennen kaikkea pieni sokeripitoisuus sekä orgaanisten happojen ja valkuaisaineiden runsaus (McDonald et al. 1991). Vähäinen sokeripitoisuus rajoittaa maitohappokäymistä ja edelleen pH:n alentamista. Orgaaniset hapot ja valkuaisaineet lisäävät rehumassan puskurikapiteettia, jolloin myös rehumassan pH:n aleneminen vaikeutuu.

Nurmirehujen säilöttävyydelle on pyritty löytämään kriteereitä perustuen lähinnä niiden kemialliseen koostumukseen.

Weissbach ja Honig (1996) laskevat käymiskertoimen (*fermentability coefficient*, FC) kuvaamaan säilönnän vaikeutta. Käymiskerrointa suurentaa eli säilöntää helpottaa raaka-aineen kuiva-aineen ja vesiliukoisten hiilihyaattien (WSC) lisääntyminen, mutta vaikeuttaa puskurikapasiteetin (BC) lisääntyminen ($FC = \text{kuiva-aine-}\% + 8 \times WSC/BC$). Lisäksi arvioinnissa huomioidaan raaka-aineen nitraattipitoisuus ja maitohappobakteerien määrä. Voihappovapaan säilönnän katsotaan onnistuvan, kun käymiskerroin on yli 35 sekä maitohappobakteerien määrä raaka-aineessa yli 10^5 tai nitraattipitoisuus yli 0,5 g/kg kuiva-ainetta. Kasveissa on lisäksi useitamuita mikrobikäymiseen vaikuttavia yhdisteitä. Esimerkiksi nuppuasteella korjattu, vain niukasti esikuivattu puna-apila säilyi kohtuullisesti biologisilla säilöntäaineilla säilöttynä, kun taas vastaavasti tehty sinimaillassäilörehu onnistui vain muurahaishappoa säilöntäaineena käyttäen (Tuori et al. 2000b). Tämä taas johtuu puna-apilan pienemmästä proteolyttisestä aktiivisuudesta sinimailaseen verrattuna. Puna-apilan polyfenolioksidaasi ja liukoiset polyfenolit inaktivoivat hydrolyyttisiä entsyymejä (Jones 1993, Hatfield & Muck 1999).

Palkokasveissa on usein pieni kuiva-ainepitoisuus vastaavalla kehitysasteella oleviin nurmiheinäkasveihin verrattuna (Tuori et al. 1996). Säilöttävä materiaali on näin ollen hyvin märkää, mikä niittotuoreena säilöttynä aiheuttaa huomattavia puristonestetappioita. Tällöin, varsinkin kivennäisaineiden menetykset ovat suuret, jopa kaksinkertaiset heinäkasvisäilörehuihin verrattuna (Syrjälä-Qvist et al. 1984). Esikuivatus vähentää puristonestetappioita. Esikuivatusta kuitenkin vaikeuttaa monien nurmipalkokasvien tanakka varsi, mikä ilman kunnollista murskausta hidastaa kuivumista. Hennot ja ravintoainerikkaat lehdet taas kuivuvat varsia nopeammin ja varisemisriski lisääntyy.

Nurmipalkokasvien säilöntä ja rehuarvo

Kotieläinten ruokinnassa nurmipalkokasveja on totuttu pitämään lähinnä valkuaisrehuina, joiden avulla on pystytty parantamaan valkuaisrehuomavaraisuuttamme märehtijäin ruokinnassa. Sen sijaan energian ja kivennäisaineiden lähteeksi palkokasveja ei niinkään mainita. Kuitenkin ne suhteellisen hyvän sulavuutensa ja rehuarvonsa ansiosta ovat myös tärkeitä energian lähteitä. Runsas kalsium- ja magnesiumpitoisuus tekevät niistä myös arvokkaita kivennäisaineiden lähteitä. Nurmipalkokasvien käyttöä rehuna on taas rajoittanut niiden sisältämät haitta-aineet, lähinnä puhaltumista aiheuttavat saponiinit ja hedelmällisyshäiriöitä aiheuttavat kasviestrogeenit (Sheldrick et al. 1995), jotka säilyttävät aktiivisuutensa säilörehussa (Kallela et al. 1988).

Puna-apila

Puna-apila on ollut meillä tähän mennessä yleisin nurmipalkokasvi heinä- ja säilörehunurmessa. Useimmin säilörehuun liittyvissä tutkimuksissa rehuraaka-aine on sisältänyt erilaisia puna-apilan ja nurmiheinäkasvien seoksia (Syrjälä & Poikonen 1978, Heikkilä et al. 1992, 1996, Vanhatalo et al. 1995, 1996), harvemmin puhdasta kasvustoa (Syrjälä-Qvist et al. 1984). Kasvilajien keskinäinen suhde on näin ollen pitkälle määrännyt säilörehun kemiallisen koostumuksen ja rehuarvon.

Vaikka puna-apilan valkuaispitoisuus on suurempi kuin nurmiheinäkasvien, ei tuoreiden kasvien valkuaisen laadussa ja ruokinnallisessa arvossa ole rehu-
taulukoiden mukaan kovin suuria eroja (Tuori et al. 1996). Säilöntä kuitenkin muuttaa valkuaisfraktion koostumusta, mikä vaikuttaa myös tyrellisten aineiden ravitsemukselliseen laatuun ja hyväksikäyttöön.

Aminohappokoostumukseltaan apilan ja timotein valkuainen eivät kovinkaan paljon poikenneet toisistaan (Syrjälä-Qvist et al. 1984). Säilöntä ei myöskään muuttanut niiden valkuaisen aminohappoprofilia.

Puna-apilan valkuainen on osoittautunut kestävämmäksi säilörehukäymisen proteolyysiä vastaan kuin nurmiheinäkasvien valkuainen. Säilönnän aikana todellisen valkuaisen osuus raakavalkuaisesta laskee puhtaassa puna-apilassa vähemmän kuin puhtaassa timoteissa (749 → 649 g/kg vs. 757 → 501 g/kg) ja liukoisen typen osuus kokonaistypestä nousi puna-apilassa vähemmän kuin timoteissa (319 → 425 g/kg vs. 359 → 587 g/kg) (Syrjälä-Qvist et al. 1984). Samansuuntaisia tuloksia on saatu myös apila-nurmiheinäkasviseoksesta tehdylle säilörehulle (Heikkilä et al. 1996). Apilan osuuden lisääntyessä valkuaisen hajoaminen siilossa on yleensä vähentynyt johtuen puna-apilasäilörehun pienestä proteolyttisestä aktiivisuudesta (Jones 1993, Hatfield & Muck 1999).

Säilörehun valkuaisfraktioissa tapahtuneet muutokset tulevat esiin myös säilörehua eläimelle syötettäessä eli valkuaisen pötsihajoavuudessa ja hyväksikäytössä. Mitä suurempi oli todellisen valkuaisen osuus ja pienempi liukoisen typen osuus, sitä hitaammin tapahtui valkuaisen hajoaminen pötsissä (Syrjälä et al. 1984). Ohutsuoleen virtaavan ei-ammoniakkitypen määrä oli selvästi suurempi apilapitoisella säilörehulla kuin nurmiheinäkasvisäilörehulla johtuen suuremmasta mikrobitypen muodostumisesta pötsissä (Vanhatalo et al. 1996). Apilapitoisen ja puhtaiden nurmiheinäkasvisäilörehujen sulavuudessa ja pötsin haihtuvien rasvahappojen määrissä ei sen sijaan ole ollut eroja (Vanhatalo et al. 1996). Vaikka sulavuus on ollut sama, lehmät ovat kuitenkin syöneet apilapitoista säilörehua enemmän, minkä seurauksena myös maitotuotos ja varsinkin maidon valkuaisuus on yleensä lisääntynyt (Thomas et al. 1985, Heikkilä et al. 1992, 1996). Rehuvalkuaisen hyväksikäytössä ei kuitenkaan ollut eroa puna-apilavaltaisen ja nurmisäilörehujen välillä (Heikkilä et al. 1992)

ja valkuaisuuden lisäsi tuotosta molemmilla ruokinnoilla (Heikkilä 1998).

Valkoapila

Valkoapila on meillä ollut lähinnä laidun- ja nurmien siemenseoksissa (Sormunen-Cristian & Nykänen-Kurki 1995, Tesfa et al. 1995). Valkoapilakasvustosta voidaan myös tehdä säilörehua. Paras hyöty valkoapilanurmella on saatu, kun alkukesällä on tapahtunut laiduntaminen ja loppukesällä korjuu säilörehuksi (Sheldrick et al. 1995). Valkoapilan sisällyttäminen nurmiheinäkasviseoksiin lisäsi rehun syöntiä (Thomson 1984, Sjøgaard 1993), mikä johtui lähinnä rehuseoksen kuitupitoisuuden alenemisestä. Sulavuus ei tällöin kuitenkaan parantunut, sillä valkoapilan kuidun sulavuus oli alhaisempi kuin nurmiheinäkasveilla. Valkoapilan sulavuus ja rehuarvo on korkeimmillaan kevätasadossa (Møller & Hvelplund 1991), jolloin kasvusto ei yleensä ole kukassa. Suurimman ajan keski- ja myöhäiskesästä valkoapila sen sijaan kukkii. Tämä selittää jälkikasvuston sulavuuden heikkenemisen.

Vuohenherne

Vuohenherne on meillä uusi tulokas. Se tuotiin Viikistä 1970-luvun lopulla, jolloin kenttäkokeet aloitettiin Viikissä (Varis 1986). Vuohenherne on monivuotinen kasvi, joka talvehtii suhteellisen hyvin ja tuottaa runsaan kuiva-ainesadon (Raig 1994). Viikissä vielä kuudennen vuoden kuiva-ainesato oli yli 9 tonnia hehtaarilta (Virkajärvi & Varis 1991). Vuohenherne kannattaa korjata melko nuorella kehitysasteella, sillä voimakkaaksi kehittyvät varret ja lehtiruodit nostivat kuitupitoisuutta ja alensivat sulavuutta ja rehun maittavuutta (Root & Syrjälä-Qvist 1993, Tuori et al. 1997, 1998). Myös vuohenherneen säilöntä vaikeutui myöhäisellä kehitysasteella. Sopivin niitto-aika säilörehuksi oli kesäkuun jälkipuolisko. Tällöin vuohenherneensäilörehu oli rehuyk-

sikköarvoltaan hieman heikompa, mutta valkuaisarvoltaan parempaa kuin vastaavana aikana heinänurmesta tehty säilörehu. Vuohenherne soveltui säilörehun raaka-aineeksi joko puhtaana kasvustona tai nurmiheinäkasvien seoksena. Niittotuoreen kasvuston säilöntä onnistui hyvin haposäilöntäainetta käyttäen. Kasvin vesipitoisuus on suuri, mikä suosisi esikuivausta, mutta aiheen tutkimukset ovat vasta meneillään (Wilkins et al. 1998).

Sinimailanen

Monivuotisista palkokasveista sinimailanen on eräs vanhimpia ja tärkeimpiä rehukasveja maailmassa. Tämä valkuaisrikas ja suhteellisen vaativa nurmipalkokasvi viihtyy parhaiten lauhkeassa ilmanalassa, mutta kuitenkin aina Viroon asti (30 ja 60 leveysasteen välillä). Viljely- ja jalostuspuolella sinimailanen kannattaa myös meillä ottaa erääksi kehittämiskohteeksi. Meillä sinimailasta koskevat säilörehututkimukset ovat tähän mennessä koskeneet lähinnä säilöntäainevertailuja ja sulavuutta (Syrjälä & Kauppinen 1978).

Sirppimailanen

Virosta 1980-luvun lopulla tuotu sinimailaisen lähisukuinen sirppimailanen on talvehtinut maassamme hyvin ja tuottanut hyviä satoja (Mela 1996, Sormunen-Cristian & Mela 1997). Säilöntätutkimukset ja tuotantovaikutukset lampailla (Sormunen-Cristian et al. 1998) ja lypsylehmillä (Saarisalo et al. 1997) ovat myös antaneet lupaavia tuloksia.

Keltamaite

Meillä on vasta alkamassa keltamaitteen viljelyä ja säilöntää koskevat tutkimukset. Sen viljelystä ja säilönnästä on kuitenkin mm. Uudessa-Seelannissa kokemuksia (Waghorn et al. 1987, 1990). Kel-

tamaitteen eduista voidaan mainita sen suuri tanniinipitoisuus, mikä on vähentänyt proteolyttistä fermentaatiota säilönnässä sekä hillinnyt eläinten puhaltumista. Samoin väheni myös valkuaisen pötsihajoavuus (Waghorn & Shelton 1992).

Nurmipalkokasvisäilörehuihin perustuva tuotantopanoksia ja ympäristöä säästävä kotieläintuotanto – LEGSIL

Euroopan unionin FAIR-ohjelmasta rahoituksen saaneen tutkimusprojektin LEGSIL (Low input animal production based on forage legumes for silage) tavoitteena on saada uusia ja jo vakiintuneita nurmipalkokasveja ympäristöä säästävään kotieläintuotantoon EU:n pohjoisissa maissa. Tutkimukseen osallistuu neljä maata, Iso-Britannia, Suomi, Ruotsi ja Saksa. Jokaisessa maassa on kolme eri tutkimuspaikkaa, joista kaksi on tavanomaisessa viljelyssä ja yksi luonnonmukaisessa viljelyssä. Suomessa nämä tutkimusalueet ovat Viikissä, Ruukissa ja Apukassa (Wilkins et al. 1998).

Tutkimuskohteet

Tutkimuskohteina ovat puna-apila (*Trifolium pratense*, lajikkeet Vivi ja Björn), valkoapila (*Trifolium repens*, lajikkeet Aberherald ja Jögeva), sinimailanen (*Medicago sativa*, lajikkeet Vertus ja Lesina), vuohenherne (*Galega orientalis*, Gale-lajike) ja keltamaite (*Lotus corniculatus*, Leo-lajike). Kaikkianurmipalkokasveja viljellään sekä puhtaana kasvustona että heinäkasvin eli nurminadan (*Festuca pratensis*, lajikkeet Kasper tai Salten) kanssa seoksena. Tutkimuksessa selvitetään seuraavia asioita:

1. Viljelymahdollisuudet (talvehtiminen, satoisuus), kasvuston kehitys ja ruokinta-arvo perinteisessä ja luomutuotannossa.

2. Ympäristövaikutukset, typen huuhtoutuminen.
3. Säilöntäteknikka, vaikutus rehuarvoon ja säilöntätappioihin.
4. Säilörehujen tuotantovaikutus lypsylehmillä (rehun syönti, maidontuotanto, energian ja typen hyväksikäyttö, fysiologiset vaikutukset, rehuarvon ja rehun syönnin estimointi mm. NIR-tekniikkaa hyväksikäyttäen.
5. Systeemianalyysi (taloudelliset laskelmat, tuotannon mallittaminen).

Tilanne syksyllä 1999

Apukasta on saatu ensimmäisen ja toisen satovuoden tulokset, Ruukista ja Viikistä ensimmäisen satovuoden tulokset (nurmisadot, maan typpimääritykset koeruuduilta). Laboratoriosiloissa on tehty säilöntäkoee, jossa koetekijöinä oli neljä kasvilajia (puna-apila, sinimailanen, vuohenherne ja keltamaite), kaksi kasvuastetta, kaksi esikuivausastetta sekä säilöntäaineina kontrolli (ilman säilöntäainetta), muurahaishappo ja kaksi maitohappobakteerivalmistetta.

Lypsylehmillä on suoritettu ruokintakoe, jossa koetekijöinä oli kolmesta eri kasvilajista tehtyä säilörehua ja näiden seoksia (puna-apila, vuohenherne ja nurminata) eli yhteensä viisi koetekijää.

Koaloja koskevat havainnot osoittavat, että nurmipalkokasveilla on talvehtimongelmia varsinkin Etelä-Suomen ja Pohjanmaan vähälumisina talvina. Ensimmäisen vuoden laboratorio- ja talousmittakaavassa tehdyt esikuivatut säilörehut olivat laadultaan moitteettomia. Muurahaishappoa sisältävä säilöntäaine soveltui maitohappobakteerivalmisteita paremmin nurmipalkokasvien säilöntään. Tuotanto- ja fysiologiset tutkimukset lypsylehmillä osoittivat, että rehun syönnissä, tuotannossa ja maidon koostumuksessa ei ollut eroja säilörehujen välillä.

Näiden tutkimusten tuloksia on esitetty yksityiskohtaisemmin Maataloustieteen päivien postereissa: satotulokset (Nissinen et al. 2000), säilöntävertailut (Tuori et al. 2000b) ja tuotantokokeet lypsylehmillä (Tuori et al. 2000a, 2000c).

Kirjallisuus

Chamberlain, A.T. & Wilkinson, J.M. 1996. Feeding the dairy cow. Chalcombe Publications, Lincoln, UK. 241 p. ISBN 0948-617-32-2.

Heikkilä, T. 1998. Puna-apila ja herne nautojen ruokinnassa. In: Palkokasviseminaari, Viikki, Helsinki, 12.-13.1.1998. 9 p.

–, **Toivonen, V. & Mela, T.** 1992. Comparison of red clover-grass silage with grass silage for milk production. Proceedings of the 14th General Meeting of the European Grassland Federation, Lahti, Finland, June 8-11, 1992. p. 388–391. ISBN 951-45-6121-X.

–, **Toivonen, V., Mela, T.** 1996. Effects of red clover-grass, grass and annual ryegrass silages with two concentrate protein levels on milk production. In: Parente, G., Frame, J. & Orsi, S. (eds).

Grassland and Land Use Systems. Proceedings of the 16th General Meeting of the European Grassland Federation, Grado, Italy, September 15-19, 1996. Grassland Science in Europe 1: 447–450. ISBN 88-86550-24-3.

Hatfield, R. & Muck, R. 1999. Characterizing proteolytic inhibition in red clover silage. In: Silage production in relation to animal performance, animal health, meat and milk quality. Proceedings XII International Silage Conference. July 5-7, 1999, Uppsala, Sweden. p. 147–148. ISBN 91-576-5678-9.

Jones, B.A. 1993. Inhibition of legume proteolysis by red clover. Proceedings of the 10th International Conference on silage research, Dublin, Ireland, September 6-8, 1993. p. 106–107. ISBN 0-948321 79-2.

- Kallela, K., Saastamoinen, I., Huokuna, E. & Hakola, H.** 1988. Kasviestrogeenipitoisuuden vaihtelet muutamien puna-apilalajikkeiden välillä Pohjois- ja Etelä-Suomessa. Suomen Eläinlääkärilehti 94: 287–291.
- McDonald, P., Henderson, A.R. & Heron, S.J.E.** 1991. The biochemistry of silage. Second edition. Marlow, UK: Chalcombe Publications. 340 p. ISBN 0-948617-22-5.
- Mela, T., Sormunen-Cristian, R., Niskanen, V.** 1996. Experiences of the yellow-flowered lucerne (*Medicago falcata* L.) in Finland. In: Parente, G., Frame, J. & Orsi, S. (eds). Grassland and LandUse Systems. Proceedings of the 16th General Meeting of the European Grassland Federation, Grado, Italy, September 15-19, 1996. Grassland Science in Europe 1: 515–519. ISBN 88-86550-24-3.
- Møller, E. & Hvelplund, T.** 1991. Gærs og kløver i renbestand. Udbytte og kvalitet ved 1. slæt. 16 Beretning fra Fællesudvalget for Statens Planteavlsv- og Husdyrbrugsforsøg. 30 p.
- Nissinen, O., Hakkola, H., Tuori, M., Heikkilä, R. & Syrjälä-Qvist, L.** 2000. Nurmipalkokasvien talvehtimis- ja satotuloksia Euroopan pohjoisosissa. Maataloustieteen päivät, Helsinki, 10.-11.1. 2000. Poster.
- Raig, H.** 1994. Advances in the research of the new fodder crop *Galega orientalis* Lam. In: Nommsalu, H. (ed.). Fodder galega (*Galega orientalis* Lam.) research in Estonia. Saku, Estonia: The Estonian Research Institute of Agriculture. p. 5–24.
- Root, T. & Syrjälä-Qvist, L.** 1993. Fermentation quality and effect on milk production of *Galega orientalis*-silage. Proceedings of the 10th International Conference on silage research, Dublin, Ireland, September 6-8, 1993. p. 184–185. ISBN 0-948321 79-2.
- Saarisalo, E., Jaakkola, S. & Sormunen-Cristian, R.** 1997. Sirppimaillassäilörehu lypsylehmien ruokinnassa. Kotieläintieteen päivät 1997. Maaseutukeskusten liiton julkaisuja 914. Helsinki: Maaseutukeskusten liitto. p. 175–177. ISSN 0789-9661, ISBN 951-808-054-2.
- Sheldrick, R., Newman, G. & Roberts, D.** 1995. Legumes for milk and meat. Second edition. Church Lane, Kingston, UK: Chalcombe Publications. 109 p. ISBN 0-948617-31-4.
- Søegaard, K.** 1993. Agronomy of white clover. In: `t Mannetje, L. & Frame, J. (eds.). Grassland and Society. Proceedings of the 15th General Meeting of the European Grassland Federation, Waageningen, Netherland, June 6-9, 1995. p. 515–524. ISBN 90-74134-15-7.
- Sormunen-Cristian, R. & Mela, T.** 1997. Sirppimailanen on lupaava nurmipalkokasvi. Koetoiminta ja käytäntö 54(25.2.1997): 8.
- **& Mela, T.** 1998. Yellow-flowered lucerne: properties and influence on performance and reproduction of ewes. Agricultural and Food Science in Finland 7: 437–446.
- **& Nykänen-Kurki, P.** 1995. Valkoapilalaidun liharakitsan kasvatuksessa. Koetoiminta ja käytäntö 52(25.4.1995): 14.
- Syrjälä, L. & Kauppinen, R.** 1978. Sinimailanen säilörehun raaka-aineena. Koetoiminta ja käytäntö 35(21.3.1978): 10.
- **& Poikonen, H.** 1978. Puna-apila säilörehun raaka-aineena. Koetoiminta ja käytäntö 35(6.6.1978): 24.
- Syrjälä-Qvist, L., Pekkarinen, E., Setälä, J. & Kangasmäki, T. J.** 1984. Effect of red clover/timothy ratio on the protein feeding value and the quality of silage. Journal of the Scientific Agricultural Society in Finland 56: 183–191.
- Tesfa, A.T., Virkajärvi, P., Syrjälä-Qvist, L. & Tuori, M.** 1995. Valkoapilalaidun lypsylehmien ruokinnassa. In: Nurmitalous ja ympäristöseminaari 6.6.1995, Mikkeli. Suomen Nurmijhdistyksen julkaisu 5: 65–67.
- Thomas, C., Aston, K. & Daley, S.R.** 1985. Milk production from silage. 3. A comparison of red clover with grass silage. Animal Production 41: 23–31.
- Thomson, D.J.** 1984. The nutritive value of white clover. In: Thomson, D.J. (ed.). Forage legumes. Proceedings of a Symposium organised by the British Grassland Society, Maidenhead, UK, 21-23 February, 1984. Occasional Symposium 16: 78–92. ISSN 0572-7022, ISBN 905944-097.
- Tuori, M., Kaustell, K., Valaja, J., Aimonen, E., Saarisalo, E. & Huhtanen, P.** 1996. Rehutaulukot ja ruokintasuositukset. Helsinki. 99 p. ISBN 951-45-7348-X.
- , **Kuusonen, U., Huuskonen, A. & Syrjälä-Qvist, L.** 2000c. Puna-apila- ja vuohenhernesäilörehut puhtaana sekä nurminatasäilörehun kanssa seoksena lypsylehmien ruokinnassa. Maataloustieteen päivät, Helsinki, 10.-11.1.2000. Poster.
- , **Lukkari, M. & Syrjälä-Qvist, L.** 2000a. Kevät- ja kesäasadosta tehdyt sinimaillassäilörehut puhtaana sekä timotei-nurminatasäilörehun kanssa seoksena lypsylehmien ruokinnassa. Maataloustieteen päivät, Helsinki, 10.-11.1.2000. Poster.

- , **Seppälä, A., Nousiainen, J., Hellämäki, M. & Syrjälä-Qvist, L.** 2000b. Erilaiset säilöntäaineet nurmipalkokasvien säilönnässä. Maataloustieteen päivät, Helsinki, 10.-11.1.2000. Poster.
- , **Syrjälä-Qvist, L. & Särkijärvi, S.** 1997. Eri kasvuasteilla korjatun vuohenhernesäilörehun koostumus ja sulavuus pässeillä. Kotieläintieteen päivät 1997. Maaseutukeskusten liiton julkaisuja 914. Helsinki: Maaseutukeskusten liitto. p. 215–218. ISSN 0789-9661, ISBN 951-808-054-2.
- , **Syrjälä-Qvist, L. & Särkijärvi, S.** 1998. Effect of cutting times of fodder galega silage (*Galega orientalis* Lam.) on the digestibility in vivo, rumen degradation in sacco and microbial protein synthesis. In: Nagy, G. & Pető, K. (eds.). Ecological Aspects of Grassland Management. Proceedings of the 17th General Meeting of the European Grassland Federation, Debrecen, Hungary, May 18-21, 1998. Grassland Science in Europe 3: 933–936. ISBN 963-7177-82-5.
- Vanhatalo, A., Heikkilä, T. & Gäddnäs, T.** 1995. Puna-apilapitoinen säilörehu lypsylehmien ruokinnassa: vaikutus valkuaisyynteesiin, pötsifermentaatioon ja maidon tuotantoon heinäsäilörehuun verrattuna. Kotieläintieteen päivät 1995. Maaseutukeskusten liiton julkaisuja 888. Helsinki: Maaseutukeskusten liitto. p. 190–193. ISSN 0789-9661, ISBN 951-808-034-8.
- , **Heikkilä, T. & Gäddnäs, T.** 1996. Mikrobisyynteesi tehostuu apilapitoisella säilörehulla. Koetoiminta ja käytäntö 53(24.1.1996): 3.
- Varis, E.** 1986. Goats rue (*Galega orientalis* Lam.), a potential pasture legume for temperate conditions. Journal of the Agricultural Society in Finland 58: 83–101.
- Virkajärvi, P. & Varis, E.** 1991. The effect of cutting times on goat's rue / *Galega orientalis* leys. Journal of the Agricultural Society in Finland 63: 391–402.
- Virtanen, A.I.** 1935. Tie omavaraiseen typpitalouteen maataloudessa. Suomen Kemistilehti A8: 90–98.
- Waghorn, G.C., Jones, W.T., Shelton, I.D. & McNabb, W.C.** 1990. Condensed tannins and the nutritive value of herbage. Nutrition Abstracts and Reviews (Series B) 1991, 61: 737 (abstr.).
- & **Shelton, I.D.** 1992. The nutritive value of Lotus for sheep. Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production 52: 89–92.
- , **Ulyatt, M.J., John, A. & Fisher, M.T.** 1987. The effect of condensed tannins on the site of digestion of amino acids and other nutrients in sheep fed on *Lotus corniculatus* L. British Journal of Nutrition 57: 115–126.
- Weissbach, F. & Honig, H.** 1996. ber die Vorhergabe und Steuerung des Gärungsverlaufs bei der Silierung von Grnfutter aus extensivem Anbau. Landbauforschung Völkenrode 46: 10–17.
- Wilkins, R.J., Bertilsson, J., Doyle, C.J., Halling, M., Paul, C., Scholefield, D., Nousiainen, J. & Syrjälä-Qvist, L.** 1998. Use of forage legumes for silage in low-input dairy production systems. In: Nagy, G., Pető, K. (eds.). Ecological Aspects of Grassland Management. Proceedings of the 17th General Meeting of the European Grassland Federation, Debrecen, Hungary, May 18-21, 1998. Grassland Science in Europe 3: 285–288. ISBN 963-7177-82-5.

Laiduntamisen tehostamisen mahdollisuudet Suomessa

Perttu Virkajärvi¹⁾, Auvo Sairanen¹⁾, Jouni Nousiainen¹⁾ & Hannele Khalili²⁾

¹⁾ Maatalouden tutkimuskeskus, Pohjois-Savon tutkimusasema, Halola, 71750 Maaninka, perthu.virkajarvi@mtt.fi, auvo.sairanen@mtt.fi, jouni.nousiainen@mtt.fi

²⁾ Maatalouden tutkimuskeskus, Kotieläintuotannon tutkimus, Eläinravitseminen, 31600 Jokioinen, hannele.khalili@mtt.fi

Suomessa, kuten muissakin Euroopan maissa, on maidon tuotantokustannusten vähentäminen keskeistä. Koska laidun on yleensä halvinta karkearehua, tulisi sen hyväksikäyttöä nostaa. Lisäksi kuluttajien ja tuottajien huoli eläinten hyvinvoinnista ja lajinmukaisesta ruokinnasta korostaa laidunruokinnan merkitystä. Suomessa laidunkauden lyhyys ja laidunruohon laadun ja määrän suuri vaihtelu tekevät laitumen hyväksikäytön parantamisesta haastavan tehtävän. Laiduntamisen tehokkuuteen vaikuttavat eniten eläintiheys, tarjolla oleva laidun, lisäruokinta, laiduntamistapa ja laidunkauden pituus. Tässä kirjoituksessa esitetään Maatalouden tutkimuskeskuksen (MTT) käynnissä olevan tutkimushankkeen tuloksia tarjolla olevan laitumen, lai-

duntamisen aloitusajankohdan ja väkirehuytäydennyksen osalta. Kokeet tehtiin talvi-poikivilla holstein-friisiläisillä lypsylehmillä. Tutkimushankkeessa tutkittiin samanaikaisesti eläintuotosta, nurmiperäisiä teki-joitä, laitumen hyväksikäyttöä ja jälkikasvua. Tulosten perusteella tarjolla olevan laitumen määrän vaikutus on suurempi laitumen hyväksikäytössä kuin maitotuotoksessa. Tämän vuoksi laidunalan mitoitus tilatasolla vaikuttaa eniten laiduntamisen tehokkuuteen. Suomen oloissa 9–10 cm on sopivin nurmen korkeus laiduntamisen jälkeen. Viivästynyt laiduntamisen aloitus vähensi maitotuotosta 14 % ja vaikeutti laiduntamisen järjestämistä. Monipuolinen väkirehuseos lisäsi maitotuotosta enemmän kuin ohra.

Avainsanat: laitumet, laidunruokinta, laiduntalous, lypsykarja, nurmet

Potential to increase grazing efficiency in Finland

Abstract

In Finland, as in other European countries, there is continuous demand to reduce production costs in the dairy sector. Since grazed grass is generally the cheapest forage, the proportion and utilisation of pasture should be optimised. The importance of grazing is further emphasized by the growing concern of both consumers and producers for animal welfare and more natural feeding. The grazing season is short in Finland and changes in growth rate and development are rapid. Thus, improving pasture utilisation is a challenging task. The main factors affecting the efficiency of grazing are stocking rate, herbage allowance (HA), supplementation, buffer feeding, grazing system and the length of the grazing season. In this paper discusses HA, early turn-out to pasture and supplement type on the basis of the results of our ongoing re-

search project at the Agricultural Research Centre of Finland. The trials were carried out with winter calving Friesian dairy cows. The project has studied animal production, sward factors, sward utilisation and re-growth ability of pasture simultaneously. HA has been found to have a minor effect on energy-corrected milk yield per cow but a strong effect on sward utilization. Pasture allocation is thus a key factor in grazing efficiency at farm level. A post-grazing sward height of 9–10 cm is recommended for Finnish conditions. A delayed turn-out date decreased the energy-corrected milk yield by 14% and caused difficulties in pasture management. Cows produced more energy corrected milk when they were fed a concentrate mixture as a supplement instead of barley.

Key words: grassland, grazing, pastures, dairy cattle, grasslands

Johdanto

Suomalaisilla lypsykarjatiloilta pitäisi jatkuvasti pystyä alentamaan maidon tuotantokustannuksia. Koska laidun on yleensä halvinta karkearehua, tulisi sen käyttöä lisätä ja tehostaa. Myös kuluttajien ja tuottajien huoli eläinten hyvinvoinnista ja lajinnukaisesta ruokinnasta korostavat laiduntamisen merkitystä. Valitettavasti laidunkausi on Suomessa lyhyt. Nurmen kasvu ja kehitysnopeus vaihtelevat suuresti sen aikana. Suomen eniten viljellyt nurmikasvit, timotei ja nurminata, ovat talvenkestävyydeltään hyviä, mutta niiden soveltuvuus laiduntamiseen ei ole paras mahdollinen. Tämä tekee laitumen hyväksikäytön tehostamisesta haastavan tehtävän.

Laiduntamisen tehokkuuteen voidaan eniten vaikuttaa eläintihedellä, tarjolla olevan laitumen määrällä, väkirehutäydennyksellä, puskuriruokinnalla, laidunkierrolla ja laidunkauden pituudella. Näistä tarjolla olevan laitumen määrää, aikaisen aloituksen vaikutuksia ja väkirehutäydennystä on tutkittu Maatalouden tutkimuskeskuksen (MTT) käynnissä olevassa laiduntutkimuksessa. Siinä tutkittiin samanaikaisesti sekä eläintuotosta että nurmiperäisiä tekijöitä, kuten laitumen hyväksikäyttöä ja jälkikasvukykyä. Tässä esityksessä käsitellään tähänastisista tuloksista keskeisimpiä.

Aineisto ja menetelmät

Laidunkokeet tehtiin MTT:n Pohjois-Savon tutkimusasemalla. Koe-eläimet olivat talvipoikivia holstein-früsiläislemmiä. Laitumet oli perustettu timotei-nurminataseoksilla. Tasaisen jälkikasvun varmistamiseksi lohkot niitettiin tarvittaessa.

Koe 1, kesä 1998

Kokeessa tutkittiin kolmen tarjolla olevan laitumen määrän (laidunnurmen määrä

kuiva-ainekiloina (ka) per lehmää per vuorokausi; 3 cm leikkuukorkeus; lyhenne TOL) vaikutusta maitotuotokseen, laidunruohon syöntiin sekä laitumen hyväksikäyttöön ja jälkikasvuun. Käytetyt TOL-tasot olivat 19, 23, ja 27 kg ka/eläin/vrk. Laitumen massa arvioitiin määrälaniittotekniikalla. Eläimiä oli 8 kutakin koeryhmää kohti ja ne saivat laitumen lisäksi vain kivennäistä. Koejaksoja oli kolme: ensimmäinen kesäkuun puolivälissä, toinen heinäkuun puolivälissä ja kolmas elokuun alussa. Kokeessa ei tutkittu kumuloituvia vaikutuksia vaan kullekin jaksolle otettiin käyttöön tasainen laidunala, jolle koejäsenten syöttökaistat satunnaistettiin päivittäin. Laitumen syönti ja hyväksikäyttö laskettiin määrittämällä laidunmassa ennen ja jälkeen syötön. Hylkylaiikkujen (heikosti syötyjen alojen osuus laitumesta) määritettiin linjamittauksin. Lisäksi laitumilta mitattiin korkeus ennen ja jälkeen syötön. Laitumen jälkikasvu laskettiin määrittämällä laidunmassa ja lehtialaindeksi kahden viikon kuluessa syötöstä.

Koe 2, kesä 1997

Kokeessa tutkittiin aikaisen (A) ja viittä päivää myöhäisemmän (M) laitumelle laskemisen vaikutusta maitotuotokseen ja laitumen hyväksikäyttöön. Neljä peltolohkoa jaettiin kukin kahteen puolikkaaseen ja alueet arvottiin koekäsittelyjen kesken. Syntyneet lohkot laidunnettiin kaistasyöttötekniikalla, kumpikin ryhmä itsenäisesti. Tarjolla olevan laitumen määrä oli 21 kg ka/lehmä/vrk (5 cm leikkuukorkeus). Kummassakin ryhmässä oli 8 lehmää. Laitumen lisäksi eläimet saivat 1,5 kg väkirehuseosta ja 0,3 kg kivennäistä. Koejaksoja oli kolme: ensimmäinen 16.–22.6.1997 (A) ja 23.–29.6.1997 (M); toinen 21.–27.7 (A) ja 28.7.–3.8. (M) ja kolmas 11.–17.8 (A) ja 18.–24.8 (M).

Taulukko 1. Energiakorjatun maidon (EKM) määrä, maidon pitoisuudet ja laitumen hyväksikäyttö.

	TOL (kg ka/pv)		27	SEM	Merk. ¹
	19	23			
EKM (kg/d)	22,2	22,8	23,6	0,27	**
Rasvapitoisuus (g/kg)	41,9	41,2	41,1	0,74	
Valkuaispitoisuus (g/kg)	32,0	31,7	31,7	0,20	
Laitumen hyväksikäyttö, %	77,7	70,3	61,0	-	-

1) Tilastollinen merkitsevyys: ° P< 0,1; * P<0,05; ** P<0,01; *** P<0,001

Koe 3, kesä 1996

Väkirehun koostumuksen vaikutusta selvittävä koe suoritettiin 10.6–12.8.1996. Kokeessa oli 15 lehmää. Vertailuryhmä sai laitumen lisäksi vain kivennäistä. Kaksi muuta ruokintaa koostuivat laitumesta, kivennäisestä ja neljän kilon väkirehulisästä. Lisäväkirehuina käytettiin joko ohraa tai seosta, joka koostui (g/kg) ohrasta (200), kaurasta (200), vehnäleseestä (220), vehnästä (110), vehnäsiirapista (60), melassileikkeestä (200) ja NaHCO₃:sta (10). Koejärjestelynä oli viisi kertaa toistettu 3 × 3 -latinalainen neliö ja jaksojen pituus oli 21 päivää. Laidunala oli jaettu 15 lohkoon ja lohkoa vaihdettiin yhden tai kahden päivän välein.

Tulokset ja niiden tarkastelu

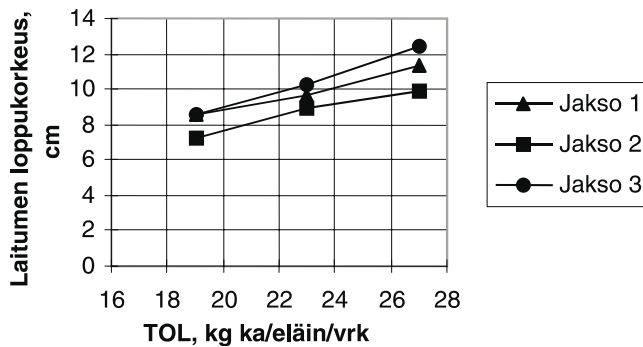
Koe 1

Päivittäin tarjotun laitumen määrän lisääntyminen suurensi maitotuotosta 0,18 kg maitoa lisättyä laitumen kuiva-ainekiloa kohti, mutta vähensi laitumen hyväksikäyttöä 78:sta 61 prosenttiin. Tarjolla olevan laitumen määrä ei vaikuttanut maidon koostumukseen (Taulukko 1). Tarjolla olevan laitumen tuotantovaste vastaa aikaisempia pohjoismaisia tuloksia: 0,19 (Kristensen 1988) tai 0,14 kg maitoa lisättyä kuiva-ainekiloa kohti (Maatalouden tutkimuskeskus, julkaisematon). Laitumen määrällä oli systemaattinen vaikutus laitumen loppukorkeuteen kaikilla jaksoilla (Kuva

1). Samalla, kun laitumen määrää lisättiin, lisääntyi myös heikosti syötyjen alueiden osuus (22:sta 46 prosenttiin). Korkeimmalla TOL-tasolla oli myös suurin syötön jälkeinen lehtiala. Tällä ei kuitenkaan ollut vaikutusta jälkikasvunopeuteen, mikä osaltaan johtui sopivasta maan kosteudesta, sillä sademäärä oli laidunkaudella suuri (293 mm, vrt. 30 vuoden keskiarvo 209 mm). Pienelläkin TOL-määrällä ei havaittu laitumen pinnan pettämistä, sillä pellon pinta oli kantavaa. Vähemmän kantavilla maalojeilla (savi, turve) näin suuri eläinpaine olisi ollut ehkä mahdollinen. Tämän ja mahdollisen kumuloituvan (jos koetta olisi jatkettu samalla laitumella ja samoilla eläimillä koko laidunkausi) vaikutuksen vuoksi pienintä TOL-tasoa ei voitane suositella.

Koe 2

Koska laidunmassa oli laiduntamisen alkaessa vielä pieni (300 kg ka/ha, 5 cm leikkukorkeus), aikaisen ryhmän lehmät saivat lisäruokintana säilörehua ensimmäisen kahdeksan laidunpäivän ajan ja myöhäisempi ryhmä kolmen laidunpäivän ajan. Aikaisempi laitumelle laskeminen vähensi laitumen kuiva-ainesatoa hehtaaria kohden, mutta paransi laitumen hyväksikäyttöä ensimmäisellä jaksolla (Taulukko 2) ja nosti maito- ja valkuaisstuotosta (Taulukko 3). Vain viiden päivän ero laitumelle laskemisessa paransi laiduntamisen hallintaa paremman nurmen sulavuuden ja hyväksikäytön ansiosta. Erot tasoittuivat loppukesällä. Vaikkakin aikaisemman ryhmän laidunruohon korkeus ennen syöttöä alkukesällä oli nopean kasvun vuoksi keskimäärin 30,5



Kuva 1. TOL:n määrän vaikutus laitumen syötyjen alojen loppukorkeuteen kolmella eri koejaksolla.

cm, oli sen orgaanisen aineen sulavuus (*in vitro*, sellulaasi) silti aina yli 75 %. Sen sijaan myöhemmin laitumelle lasketulla ryhmällä laitumen orgaanisen aineen sulavuus laski alimmillaan 69 %:iin (Kuva 2).

Koe 3

Väkirehutäydennys lisäsi maitotuotosta, ja tuotoksen lisäys oli suurempi väkirehuseoksella verrattuna ohraan (2,6 vs. 1,3 kg/pv). Ohra lisäsi valkuaistuotosta 51 g ja monipuolinen väkirehuseos 115 g/päivässä pelkkään laitumeen verrattuna (Taulukko 4). Aikaisemmissa kokeissa (Ettala et al. 1986) kevätpoikivien lehmien maitotuotos oli noussut 0,3 kg ohrakiloa kohti, kun päivittäinen ohra-annos oli 4 kg. Tässä kokeessa (koe 3) yksi ohrakiloa lisäsi syyspoikivien lehmien energiakorjattua maitotuotosta 0,23 kg. Samanlainen pieni tuotosvaste (0,40 kg EKM/kg väkirehua) saatiin myös Spörndlyn (1991) niittoruohokokeessa, jossa väkirehuna oli 4 kg ohraa. Väkirehuseos lisäsi kuitenkin maitotuotosta enemmän, 0,55 kg

EKM/kilo väkirehua. Spörndlyn (1991) kokeessa ei maitotuotoksessa tai niittoruohon syönnissä ollut eroa käytettäessä väkirehuna ohraa tai sokerijuurikasleikkeen ja vehnäleseeseen seosta. Syrjälä-Qvistin et al. (1996) laidunkokeessa väkirehuseoksen (kaura, ohra, rypsirouhe, sokerijuurikasleike, sivutuotteet) määrän lisäys kolmesta kuuteen kiloon lisäsi maitotuotosta 0,87 kiloa väkirehukiloa kohti. Lisäys kuudesta yhdeksään kiloon lisäsi tuotosta vain 0,17 kg EKM/väkirehukilo.

Johtopäätökset

Tarjolla olevan laitumen määrä vaikutti vain vähän maitotuotokseen, mutta sen sijaan laitumen hyväksikäyttö väheni selvästi laitumen määrän lisääntyessä. Laitumen mitoitus on avainasemassa laitumen hyväksikäytön kannalta. Suositeltava ruohon korkeus Suomen oloissa syötön jälkeen on 9–10 cm. Myöhästynyt laitumelle laskeminen vä-

Taulukko 2. Keskimääräinen nurmen massa ja korkeus eri aloitusajankohdittain ja eri jaksolla (A = aikainen; M = myöhäinen laitumelle lasku).

Jakso Laitumelle lasku	1		2		3	
	A	M	A	M	A	M
Nurmen massa, kg/ha	1870	4740	1370	1940	1720	2070
Nurmen korkeus, cm						
- ennen laidunnusta	30,5	46,4	22,5	31,6	29,3	29,1
- laidunnuksen jälkeen	9,7	14,6	6,9	10,1	10,1	9,0
Hyväksikäyttö (%)	65	51	76	81	74	79

Taulukko 3. Laiduntamisen aloitusajankohdan vaikutus maitotuotokseen ja maidon koostumukseen (A = aikainen; M = myöhäinen).

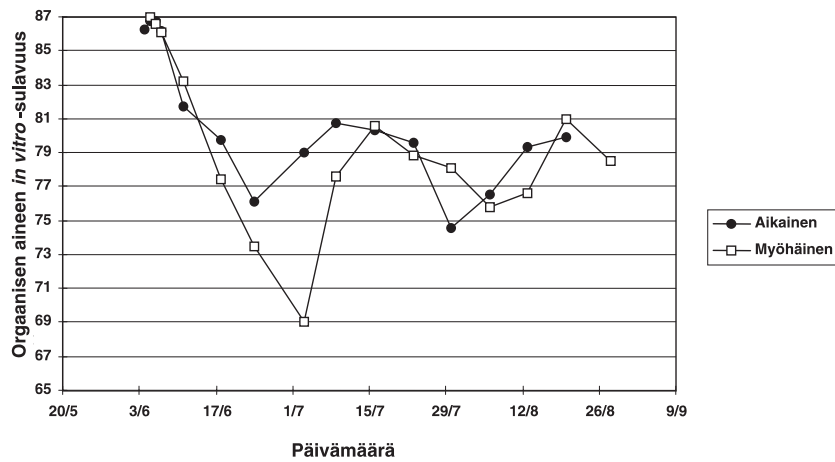
	Aloitusajankohta		SEM	Merk.
	Aikainen	Myöhäinen		
Maitotuotos, EKM kg/vrk	21,4	18,4	0,72	*
Rasvapitoisuus (g/kg)	37,8	39,8	1,06	
Valkuaispitoisuus (g/kg)	34,8	35,6	0,80	°
Rasvatuotos, g/d	800	715	31,5	
Valkuaistuotos, g/d	742	646	21,4	**

Tilastollinen merkitsevyys: ° P<0,1; * P<0,05; ** P<0,01; *** P<0,001

Taulukko 4. Väkirehun (4 kg) vaikutus maitotuotokseen ja maidon rasva- ja valkuaispitoisuuksiin laidunruokinnalla.

	Ruokinta			SEM	Laidun vs. väkirehut	Ohra vs. seos
	Pelkkä laidun	Laidun + ohra	Laidun + seos			
Maitotuotos, EKM kg/d	18,3	19,2	20,5	0,42	***	*
Rasvapitoisuus, g/kg	41,2	38,5	37,6	0,42	***	
Valkuaispitoisuus, g/kg	34,2	34,2	34,9	0,35		
Rasvatuotos, g/d	734	741	779	18,6		
Valkuaistuotos, g/d	614	665	729	15,2	***	**

Tilastollinen merkitsevyys: * P<0,05; ** P<0,01; *** P<0,001



Kuva 2. Laiduntamisen aloitusajankohdan vaikutus laitumen orgaanisen aineen sulavuuteen (*in vitro*-sellulaasi). Kunkin havaintopisteen n=2.

hensi energiakorjattua maitotuotosta 14 % ja aiheutti ongelmia laidunkierron järjestä-

misessä. Monipuolinen väkirehu nosti maitotuotosta enemmän kuin ohra.

Kirjallisuus

Ettala, E., Rinne, K., Virtanen, E., Rissanen, H. 1986. Effect of supplemented concentrates on the milk yields of cows grazing good pasture. *Annales Agriculturae Fenniae* 25: 111–125.

Kristensen, E.S. 1988. Influence of defoliation regime on herbage production and characteristics of intake by dairy cows as affected by grazing intensity. *Grass and Forage Science* 43: 239–251.

Spörndly, E. 1991. Supplementation of dairy cows offered freshly cut herbage ad libitum with starchy

concentrates based on barley or fibrous concentrates based on unmolassed sugar beet pulp and wheat bran. *Swedish Journal of Agricultural Research* 21: 131–139.

Syrjälä-Qvist, L., Tesfa, A.T., Tuori, M. 1996. The effects of concentrate feeding level on milk yield and composition of rotationally grazed dairy cows. In: Parente, G. et al. (eds.). *Grassland and Land Use Systems. Proceedings of the 16th General Meeting of the European Grassland Federation, Grado (Gorizia), Italy, September 15-19, 1996.* p. 633–636.

Luonnonmukaisen nurmituotannon erityispiirteet

Päivi Nykänen-Kurki¹⁾, Petri Leinonen²⁾, Eeva Kuusela³⁾, Arja Nykänen⁴⁾,
Riitta Sormunen-Cristian⁵⁾ & Artur Granstedt⁶⁾

¹⁾ Maatalouden tutkimuskeskus, Luonnonvarojen tutkimus, Ekologinen tuotanto, Karilantie 2 A,
50600 Mikkeli, paivi.nykanen-kurki@mtt.fi

²⁾ Elomestari Oy, Huttulantie 1, 51900 Juva, petri.leinonen@elomestari.fi

³⁾ Joensuun yliopisto, Biologian laitos, PL 111, 80101 Joensuu, eeva.kuusela@joensuu.fi

⁴⁾ Maatalouden tutkimuskeskus, Luonnonvarojen tutkimus, Ekologinen tuotanto, Huttulantie 1,
51900 Juva, arja.nykanen@mtt.fi

⁵⁾ Maatalouden tutkimuskeskus, Kotieläintuotannon tutkimus, Eläinravitus, 31600 Jokioinen, riitta.sormunen-cristian@mtt.fi

⁶⁾ The Biodynamic Research Institut, Skilleby Gård, S-15391 Järna,
Sverige, artur.granstedt@jdb.se

Luonnonmukaisen tuotannon perusta on monipuolinen viljelykierto, jossa palkokasvinurmi toimii maan viljavuuden ja kasvukunnon ylläpitäjänä. Palkokasvit pystyvät laajan juuriston, biologisen typensidonnan ja sen ritsosfääriä hapattavan vaikutuksen sekä voimakkaan mykorrhizasymbioosin avulla käyttämään hyväkseen maaperän vaikealiukoisia ravinnevaroja, mikäli maan rakenne, kuivatus ja kalkitus ovat kunnossa. Tästä seuraa, että luomutilalta myydään enemmän tyypeä kuin sinne ostetaan. Typensidonnan tehokkuus on kuitenkin kasvin, nystyräbakteerin ja ympäristöolojen yhteensopivuuden summa. Puna-apila on nurmien tärkein typensitoja, mutta sen määrä vähenee nurmessa usein jo toisena sattuvuonna. Tuhojen pääsyylliset ovat vettä

keräävät painanteet pellon pinnalla, apilamätä ja mekaanisista vaurioista alkunsa saava apilan juurilaho. Paikallista alkuperää oleva, runsaasti kovia siemeniä sisältävä kylvösiemen, elo-syyskuun vaihteessa pitkään sänkeen tehty niitto sekä riittävä heinä määrä seoksessa torjuvat apilamätää parhaiten. Apilapitoisuuden hallitsemiseksi kokeillaan parhaillaan täydennyspintakylvön soveltuvuutta oloihimme. Puna-apilan lisäksi muita rehunurmiin soveltuvia palkokasveja ovat alsikeapila, sinimailanen ja vuohenherne. Laitumiin sopivia ehdokkaita ovat valkoapila, sirppimailanen ja keltamaitte sekä yksivuotisiin viljaa ja italianraiheinää sisältäviin nurmiin erityisesti rehu- ja ruisvirna.

Avainsanat: nurmipalkokasvit, apilat, Trifolium, luonnonmukainen maataloustuotanto, nurmituotanto, viljelykierto, biologinen typensidonta, mykorrhiza

Special features of organic grassland production

Abstract

Organic farming is based on versatile crop rotation, in which a legume grass mixture is a promotor of soil fertility. Under good field conditions, legumes can take up slowly soluble nutrients due to their symbiotic nitrogen fixation, extensive rooting systems and arbuscular mycorrhiza. Nitrogen fixation efficiency is a result of the interaction between a plant, the *Rhizobium* and the environment. Thus, more nitrogen is sold from than is bought for organic farms. Red clover is the most important legume in Finland, but its content in a mixture already declines in the second harvest year. Clover rot (*Sclerotinia trifoliorum* Erikss.) often damages young stands, and root rot (several

pathogens) old ones. The most important measures for maintaining clover are: growing a grass clover mixture, taking care of field conditions, shaping the soil surface, avoiding mechanical injuries, using local clover seed with a proportion of hard seeds and making a high last cut at the end of August. The effect on red clover content of oversowing pelleted, pre-inoculated clover seeds is currently being studied. Further studies should also be conducted on alsike clover, lucerne and goat's rue for cutting, white clover, yellow flowered lucerne and birdsfoot trefoil for grazing and vetches for annual swards.

Key words: pasture legumes, clovers, Trifolium, organic farming, grassland farming, crop rotation, biological nitrogen fixation, mycorrhiza

Johdanto

Palkokasvipitoinen nurmi on sekä rehuntuotannon että ravinnehuollon keskeinen tekijä luonnonmukaisessa tuotannossa. Palkokasvien biologinen typensidonta ja niiden maan viljavuutta parantavat ominaisuudet mahdollistavat tuottavan luonnonmukaisen kasvi- ja kotieläintuotannon, mutta tämä vaatii nurmipalkokasvien viljelyn onnistumisen. Peltomaan kasvukunnon perustana on monipuolinen viljelykierto, jossa nurmi toimii maan viljavuuden ja kasvukunnon ylläpitäjänä. Näin ollen nurmiviljelyä tarkastellaan osana luomutilan viljelykiertoa, ei pelkästään tilan omavaraisen rehuntuotannon välineenä. Toisaalta tuotostason nostamiseen tähtäävillä tiloilla on tarvetta entistä tavoitehakuiseen rehuntuotannon suunnitteluun. Tässä esitetään useiden kirjoittajien yhteistyönä luonnonmukaisen nurmituotannon erityispiirteitä, arvioidaan ”vanhoja totuuksia” ja viimeisimpiä tutkimustuloksia nurmipalkokasvien viljelystä sekä tuodaan esiin luomutilojen käytännön kokemuksia.

Puna-apila ja maan liukoiset ravinnevarat

Hyvin kasvavan puna-apilanurmen sato on suuri, joten pellolta poistuu apilarehun mukana mittava määrä ravinteita. Nurmipalkokasvien lannoitustarvetta pidetäänkin perinteisesti melko suurena. Toisaalta Takala (1988) esitti pitkäaikaisten lannoituskokeiden yhteenvetona, ettei kalkitus, maalaji, fosfaatti- tai hivenlannoitus vaikuttanut merkittävästi apilan menestymiseen. Sata maatilaa käsittäneessä haastattelututkimuksessa kartoitettiin puna-apilan viljelyn menestystekijöitä (Pulli & Turtola 1983). Niitä pelloja, joilla puna-apila menestyi hyvin, oli kalkittu runsaasti ja niillä oli jonkin verran parempi viljavuus kuin Suomen pelloilla keskimäärin kyseisenä ai-

kana. Nurmen apilapitoisuuden ja peltomaan pH-arvon välillä vallitsi positiivinen riippuvuussuhde. Sen sijaan maan liukoisten ravinteiden ja apilapitoisuuden välillä riippuvuussuhdetta ei ollut. Poikkeuksena maan sinkki- ja molybdeeniluvut korreloivat negatiivisesti nurmen puna-apilapitoisuuden kanssa. Puna-apilakasvuston oletettiin käyttäneen runsaasti näitä ravinteita. Peltomaan liukoisten ravinteiden pieni määrä tuskin rajoittaa puna-apilan kasvua, jos riittävän runsaasta kalkituksesta on huolehdittu (Aura & Kemppainen 1983). Palkokasvit pystyvät laajan juuriston, typensidontan ja sen ritsosfääriä hapattavan vaikutuksen sekä voimakkaan mykorritsasymbioosin (sienijuuri) avulla käyttämään hyväkseen maaperän vaikealiukoisia ravinnevaroja, mikäli maan rakenne ja kuivatustilanne ovat kunnossa (Scheller 1994).

Luomutilan ravinnetase

Luomutilan nurmien lannoitus poikkeaa perusteellisesti tavanomaisesta tuotannosta. Palkokasvinurmille ei anneta vuotuista pintalannoitusta vaan nurmen kasvu perustuu biologiseen typensidontaan. Ne nurmet, joista apila on hävinnyt, joko uudistetaan tai lannoitetaan ilmastetulla lietelannalla tai virtsalla yleensä ensimmäisen niiton jälkeen. Tästä seuraa, että luomukarjatilan ravinteiden kauppatase on typen suhteen selvästi negatiivinen. Tilalta myydään sato tuotteissa enemmän typpeä kuin sinne ostetaan rehuissa, lannoitteissa ja kuivikkeissa. Tavanomaisilla karjatililla, joiden rehuntuotanto perustuu heinäkasinurmiin, typen kauppatase on voimakkaasti positiivinen: typpeä ostetaan kolmesta viiteen kertaan enemmän kuin satotuotteissa myydään tilalta (Väisänen 1996).

Muiden ravinteiden kuin typen tase on rehuomavaraisilla luomukarjatililla lievästi negatiivinen eli maan omia ravinnevaroja hyödyntävä. Ostorehun käyttö yleensä tasapainottaa ravinteiden ostot ja myynnit liikimain yhtä suuriksi. Ravinnepoistuma ei

pitkälläkään aikavälillä heikentänyt maan kasvukuntoa, mikäli viljelykierto oli toimiva ja maan rakenteesta pidettiin huolta (Sattler & Wistinghausen 1989). Tarvittaessa luomuviljelyssä voidaan fosforin ja kaliumin ravinnetäydennys tehdä hidasliukoisilla kivijauheilla kuten biotiitti ja apatiitti. Apatiitista ravinteiden vapautuminen oli hidasta ja vaikeasti ennustettavaa (Huhta et al. 1998), mutta karkeilla kivennäis- ja turvemaileda biotiitin vaikutus maan liukoiseen kaliumiin näytti olevan parhaimmillaan kolmen vuoden ajan levityksestä (Linna & Jansson 1994). Biotiitti ja raakafosfaatti eivät kuitenkaan vaikuttaneet kolmevuotisen apilanurmen satoon (Kemppainen 1995).

Biologinen typensidonta

Palkokasvinurmien biologisen typensidontan määrä vaihtelee kirjallisuuden mukaan erittäin paljon. Valkoapilan typensidonnaksi on mitattu maailman lauhkeilla vyöhykkeillä 45–680 kg/ha typpeä vuodessa (Crush 1987). Ruotsissa Uppsalan korkeudella sinimailasnurmen typensidonnaksi mitattiin parhaimmillaan 400 kg/ha (Andren et al. 1990). Suomen oloissa puna-apilanurmen vuotuisen typensidontan on laskettu olevan 100–300 kg/ha (Huokuna et al. 1985). Käytännön luomutiloilla mitattiin erittäin kuivana vuonna 1995 toisen vuoden puna-apilanurmesta typensidonnaksi 46–60 kg/ha typpeä. Seuraavana kesänä Maatalouden tutkimuskeskuksessa (MTT) Partalan puna-apilanurmelta mitattiin typensidonnaksi keskimäärin 80 kg/ha ja enimmillään 150 kg/ha typpeä vuodessa (Väsänen et al. 1998). Samaan aikaan alueen luomutilojen puna-apilanurmisadoista laskettu typensidonta osui samaan vaihteluvälisiin (Nykänen et al. 1998).

Typensidontan tehokkuus on kasvin, nystyräbakteerin (*Rhizobium* sp.) ja ympäristöolojen yhteensopivuuden summa. Maaperässä on varsin monimuotoinen nystyräbakteeriyhdyskunta (Svenning et al. 1997) ja palkokasvin nystyröityminen mah-

dollisimman tehokkaasti typpeä sitovalla *Rhizobium*-populaatiolla pyritään varmistamaan ympäryksellä. Lämpötila ja maan happamuus vaikuttavat ratkaisevasti typensidontaan. *Rhizobium* ei juurikaan kasva alle viiden asteen lämpötilassa. Samoin matala pH valikoi tehottomia tyypibakteereita ja heikentää niiden toimintaa, erityisesti nystyränmuodostusta. Herneen tyypibakteerien määrä väheni suoraviivaisesti maan muuttuessa happamammaksi (Leinonen 1996), mutta maaperän luontaisen *Rhizobium*-populaation tehokkuus näyttäisi rajoittavan apilan viljelyä vain, jos peltomaan pH on alle 6.

Nurmen apilapitoisuus

Liian vähäinen apilan määrä johtaa nurmen heikkoon satoon riittämättömän typensidontan vuoksi ja liian suuri apilamäärä aiheuttaa ruokinta- ja säilöntäongelmia. Valkoapilaseosnurmen parhaana apilapitoisuutena sekä nurmen tuottavuuden että eläinten ruokinnan kannalta pidetään 20–50 % apilapitoisuutta seoksen kuiva-aineessa (Frame & Newbould 1986). Samoja lukuja voidaan soveltaa puna-apilanurmeen. Puna-apilanurmen apilapitoisuus vähenee usein jo toisena satovuonna. Apilapitoisuus vaihtelee myös kasvukauden aikana. Keväällä apilapitoisuus on pieni ja lisääntyy syksyä kohti sekä puna-apila- että valkoapilaseosnurmissa. Apilan kylvösiemenmäärä ei juurikaan vaikuta nurmen apilapitoisuuteen. Kivennäismailla 2 kg/ha puna-apilan siementä riitti täytsiheään nurmeen, kun siemen kylvettiin senttimetrin syvyyteen (Huokuna 1966).

Nurmen täydennyskylvöä käytetään Euroopassa yleisesti nurmen valkoapilapitoisuuden parantamiseen (Tiley & Frame 1988). Suomessa menetelmää on kokeiltu nurmen puna-apilapitoisuuden parantamiseksi melko hyvin tuloksin (Hakkola 1995). Käytetty jyrinkylvömenetelmä vaatii kuitenkin erikoiskoneet, eikä se ole yleistynyt käytäntöön. Uudessa-Seelannissa on ylei-

sesti käytössä täydennyspintakylvömenetelmä (Jones & Thomas 1965), jossa apilaturmen pintaan kylvetään kalkkipilleröityä ja *Rhizobium*-ympättyä apilansiementä. Kyseisen menetelmän käyttökelpoisuutta Suomen oloissa tutkitaan meneillään olevassa Luomunurmituotannon kehittämisprojektissa (Nykänen-Kurki et al. 1999). Mikäli varhain keväällä pintakylvettyjen apiloiden taimettuminen onnistuu, menetelmä tarjoaa mahdollisuuden säädellä nurmen apilapitoisuutta halutulla tavalla.

Apilamätää (*Sclerotinia trifoliorum* Erikss.) on pidetty yhtenä apilaviljelyn ja samalla koko luomuviljelyn pahimmista uhkista. Apilamätä iskee tiheisiin ja nuoriin, useimmiten kylvövuoden apilaturmiin ja saattaa pahimmillaan tuhota koko apilikon. Oloihimme sopeutumattomat lajikkeet, apilan puhdaskasvustot ja suuret kylvösiemenmäärät lisäsivät aiemmin apilamätätuhoja (Huokuna 1985). Vaikka apilamätä on erikoistunut apilalajeihin, se voi tarttua myös virnoihin, mailasiin ja mesiköihin uhkaamatta niiden satoa. Apilamätä muodostaa rihmastopakkoja, jotka säilyvät maassa elinkykyisinä 6–7 vuotta. Tautia voi heikentää viljelykierrolla, mutta sitä on vaikea torjua sillä kokonaan, vaikka luomuviljelyssä ei yleensä uusita ”nurmesta nurmeen”. Paikallista alkuperää, runsaasti kovia siemeniä sisältävä kylvösiemen, elo-syyskuun vaihteessa pitkään sänkeen tehty niitto sekä riittävä heinän määrä seoksessa torjuvat tautia parhaiten (Hannukkala 1999). Lisäksi apilamätä on helppo sekoittaa vihannesten pahaan varastotautiin, pahkahomeeseen (*Sclerotinia sclerotiorum*). Taudit on voitu varmuudella erottaa toisistaan vasta noin kymmenen vuotta. Nykykäsityksen mukaan pahkahome ei uhkaa apilaviljelyä, mutta apila voi ylläpitää pahkahomekannan, joka saastuttaa viljelykierrossa apilaa seuraavan vihanneskasvuston.

Pellon perusparannusten heikko tila ja apilalle soveltumaton viljelytekniikka ovat vähintään yhtä vaikea apilaviljelyn ongelma kuin apilamätä. Ojituksen heikko kunto, riittämätön pellonpinnan muotoilu, liian matala pH eli kalkituksen puute ja sa-

donkorjuuliikenne hävittävät apilaa. Palkokasvit näyttävät olevan herkempiä juuristovaurioille kuin heinäkasvit. Erityisesti vanhoja apilakasvustoja tuhoava apilan juurilaho saa alkunsa juuristovaurioista (Ylimäki 1967). Juuristovaurioita syntyy helposti märässä ja pehmeässä maassa liikuttaessa. Puna-apila-, vuohenherne- ja sinimailaspellon kuivatuksen tulee olla kunnossa. Käytännössä toimiva idea juuristovaurioiden vähentämiseksi on lisätä renkaiden lukumäärää liete- ja rehuvaunujen alle sekä telinä että renkaiden lukumääränä akselia kohti.

Puna-apilan vaihtoehdot

Puna-apilan lisäksi muita rehunurmiin soveltuvia palkokasveja ovat alsikeapila, sinimailanen ja vuohenherne. Alsikeapila on osoittautunut käytännössä hyväksi rehuksviksi vaikeissa kasvuoloissa, vaikka se on kivennäismailla puna-apilaa heikompi satoineen. Alsikeapilan viljelytekniikkaa ja sadonmuodostusta on sen käyttöarvoon nähden tutkittu liian vähän.

Nurmikasvien kuningattareksi kutsuttu sinimailanen on eteläisen Suomen viljelykasvi, mutta se voi menestyä parhailta rinteillä vielä Keski-Suomessa. Sinimailaselle sopivia maalajeja ovat hieno hiekka sekä hiedan, hiesun tai saven eri lajitteet. Sinimailanen ei menesty, jos pohjavesi on korkealla. Myös pintavesien tulee valua tehokkaasti pois. Ruokamultakerroksen pH-suositus on 6,0 ja pohjamaan edellistä korkeampi (Vuorinen & Takala 1993). Sinimailanen on pitkäikäinen ja satoisa kasvi kasvupaikalla, jolla se viihtyy. Jos se saa kukkia kerran kesässä, talvehtiminen paranee.

Vuohenherne on satoisa ja pitkäikäinen kasvi lämpimillä kasvupaikoilla. Viikissä järjestetyssä kokeessa kuuden satovuoden keskisato oli 9000 kg/ha kuiva-ainetta. Kylvövuonna vuohenherneestä voitiin korjata yksi sato. Seuraavina vuosina kasvusto talvehti parhaiten kaksiniittosysteemissä. Paras aika ensimmäiselle niitolle oli, kun

noin 10 % kasvustosta oli kukalla. Talvehtimisen varmistamiseksi toisen sadon kasvuajan tulee olla tarpeeksi pitkä, jotta talvehtivia rönsyjä ehtii muodostua riittävä määrä. Puna-apilan paras niittoajankohta, elosyyskuun vaihe, oli huonoin vuohenherneelle, joka pitäisi niittää mahdollisimman myöhään (Virkajärvi & Varis 1991). Vuohenherneen rooli luomunurmista on toistaiseksi ollut melko vähäinen, mutta sen merkitys pitkäikäisissä nurmissa vaikeasti uudistettavilla mailla sekä apilamädän torjunnassa olisivat tarkemmin selvitettäviä asioita.

Luomulaidun

Hyvä luomulaidun on tasapainoinen seos apiloita, heiniä ja yrtejä. Suomessa laidunseoksen perusheiniksi sopivat myös luonnonmukaisessa tuotannossa viljelyvarmat nurminata ja timotei. Niittynurmikalla voi lisätä laitumen tallauksen kestävyyttä ja tiheyttä. Englanninraiheinä sopii Etelä- ja Keski-Suomeen ja koiranheinä kuiville hiesu- ja savimaille (Kuusela 1998). Apiloista valkoapila kestää parhaiten laidunnusta. Samalla se lisäsi kuiva-aineen syöntiä heinälaitumiin verrattuna (Sormunen-Cristian et al. 1997). Sen viljely onkin lisääntymässä hikevillä mailla oloissamme menestyvien lajikkeiden (virolainen Jögeva 4, walesilainen AberHerald ja ruotsalainen Sonja) kaupan tulon myötä (Nykänen-Kurki et al. 1998).

Verrattaessa valko-, alsike- ja puna-apilaa lehmien laitumessa, valkoapila osoittautui kestävimmäksi ja maittavimmaksi. Valkoapilapitoisuus säilyi laitumessa suurimpana ja valkoapilaseos tuli laiduntamisen lopetuskorkeuden perusteella mitattuna syötyä tarkimmin. Valkoapilaseoksen keskimääräinen syöty sato oli 4040 kg ka/ha ja apilapitoisuus 28 %. On huomattava, että siemenseoksesta riippumatta kaikkien laidunten apilapitoisuus vaihteli paljon sekä kasvukausittain ja laidunnuskerroittain että paikallisesti laitumessa (Kuusela et al.

1999a). Edellytyksenä onnistuneelle luomulaitumelle on laitumen intensiivinen hoito sekä laidunpaineen hallinta. Jos hylkylaikkuja jää runsaasti, ne on niitettävä välittömästi laidunnuksen jälkeen. Laitumen syöttö päivittäin vaihtuvina kaistoina osoittautui laitumen hyväksikäytön kannalta tehokkaammaksi kuin laiduntaminen viikoittain vaihtuvilla lohkoilla (Kuusela et al. 1999b).

Keltamaite on vähäravinteisilla mailla menestyvä poudankestävä laidunkasvi, eikä se aiheuta puhaltumista (Duke 1981). Keltamaitteen talvenkestävyys vaikuttaa kuitenkin puna-apilaa heikommalta. Sirppimailanen on laidunnusta kestävä sinimailasen lähisukulainen. Se on Jokioisilla tehtyjen alustavien tutkimusten mukaan sopeutunut hyvin maamme olosuhteisiin (Mela et al. 1996), mutta sen talvenkestävyyttä muualla Suomessa ei ole vielä varmennettu.

Yksivuotiset nurmet luomutilalla

Yksivuotisia nurmikasveja tarvitaan karjanlannan levitysalan, apilamätäriskin pienentämisen ja karjan rehustuksen varmistamisen takia. Yksivuotisten kasvien kylvöajankohta joustaa tarvittavien perusparannusten toteuttamiseksi (ojitus, kalkitus, kessannointi) ja niiden kasvurytmi poikkeaa monivuotisista nurmista tasaten työhuipuja ja monipuolistaen laidunjärjestelyjä (Nissinen 1992). Viljelyvarmimmiksi viherrehuseoksiksi ovat osoittautuneet virna-vilja-raiheinäseokset. Myös ristikukkaisia rehukasveja sekä apiloita lisätään yleisesti. Yksivuotista rehu- eli peltovirnaa käytetään yleisesti laidunseoksissa sekä useamman korjuun säilörehuseoksissa, sillä ajoissa niitettynä sen jälkikasvukyky on hyvä. Toisaalta ilman niittoja se pyrkii syksyllä tuottamaan siementä, jolloin vegetatiivinen kasvu alkaa hiipua. Talviyksivuotisen ruisvirnan vahvin puoli on loppukesän voimakas kasvu ja se soveltuukin kertakorjuuseen

säilörehuksi seoksena kauran kanssa (Hannukkala 1996). Kesällä 1999 tutkittiin sekä virna- että apilapohjaisia yksivuotisia laitu- mia Siikasalmella ja Jokioisilla Luomunur- mituotannon kehittämissuorituksissa (Nykä- nen-Kurki et al. 1999).

Nurmen esikasviarvo

Esikasviarvoksi nimitetään sitä vaikutusta, joka orgaanisella materiaalilla on seuraavan kasvin satoon kolmen vuoden kuluessa maahan muokkauksesta (Granstedt 1993). Mineralisoituvan typen määrä riippuu maa- han muokatun orgaanisen aineen määrästä ja sen typpipitoisuudesta, pieneliöille käy- tettävissä olevan energian ja typen suhtees-

ta (C/N-suhde) ja humukseen jäävän orgaa- nisen aineen määrästä, minkä on mittaus- ten perusteella todettu olevan 35 % alkupe- räisestä eloperäisestä aineksesta. Nuori yk- sivuotinen viherlannoituskasvusto, jonka C/N-suhde on matala ja typpipitoisuus kor- kea, hajoaa nopeasti jo muokkausta seuraava- na vuonna. Vanha nurmi hajoaa edellistä hitaammin mm. ligniinipitoisuutensa vuoksi (Granstedt 1995). Viisivuotisen viljelykier- ron (ohra + apilaheinänsiemen, apilanurmi, apilanurmi, ruis ja hernekaura) typenotosta 63 % lasketaan olevan peräisin apilanurmen typensidonnasta, josta osa poistuu apilanur- men sadossa ja osa mineraloituu seuraavien kasvien käyttöön. Loppuosa on peräisin maan mineraalitypestä, karjanlannasta ja herneen typensidonnasta (Granstedt 1996).

Kirjallisuus

Andren, O., Lindberg, T., Boström, U., Clarholm, M., Hansson, A.-C., Johansson, G., Lagerlöf, J., Paustian, K., Persson, J., Petterson, R., Schnürer, J., Sohlenius, B. & Wivstad, M. 1990. Organic carbon and nitrogen flows. *Ecological Bulletin* 40: 85–126.

Aura, E. & Kempainen, R. 1983. Kalkituksen ja karjanlannan vaikutus puna-apilan typensidontaan. Biologisen typensidonnin ja ravinnetypen hyväksikäytön projekti. Julkaisu 5: 33–44. Helsinki: SITRA. ISBN 951-563-073-8.

Crush, J.R. 1987. Nitrogen fixation. In: Baker, M.J. & Williams, W.M (eds.). *White Clover*. Wallingford, United Kingdom: C.A.B International. p. 299–321. ISBN 0-85198-529-7.

Duke, J.A. 1981. *Handbook of legumes of world economic importance*. London: Pleum Press.

Frame, J. & Newbould, P. 1986. Agronomy of white clover. *Advances in Agronomy* 40: 1–88.

Granstedt, A. 1993. Lannoitus luomuviljelyssä. Karjanlannan, viherlannoituksen ja nurmiviljelyn lannoitusvaikutus, esikasviarvo ja kasvinvuorotus. *Omavarainen maatalous* 5: 26–27.

– 1995. The mobilization and immobilization of soil nitrogen after green manure crops at three locations in Sweden. In: Cook, H. F. & Lee, H. C. (eds.). *Soil management in sustainable agriculture*. Kent, United Kingdom: Wye College Press. p. 265–275. ISBN 0-86266-138-2.

– 1996. Nurmikasvit luomuviljelyn typpihuollossa, osa II. *Omavarainen maatalous* 7/1996: 24–25.

Hakkola, H. 1995. Nurmen täydennyskylvö onnistuu parhaiten keväällä. *Koetoiminta ja käytäntö* 52: 54–55.

Hannukkala, A. 1999. Apilan ja nurmipalkokasvien taudit. *Tieto tuottamaan* 84: 43–46.

Hannukkala, A. E. 1996. Ruisvirna-kaura-seos on lisä Lapin yksivuotisiin rehukasveihin. *Koetoiminta ja käytäntö* 53: 40.

Huhta, H., Nykänen, A. & Seuri, P. 1998. Apatite dust of the Siilinjärvi rock phosphate mine as a slowly soluble phosphorus fertilizer in organic farming. *Grassland Science in Europe* 3: 559–562.

Huokuna, E. 1966. Siementarve nurmia perustettaessa. *Nurmien kylvösiemenmäärä*. *Pellervo* 67: 11–12.

- 1985. Apilan pahkahomeen esiintymisestä. Maatalouden tutkimuskeskus. Tiedote 22/85. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. p. 13–20. ISSN 0359-7652.
- , **Järvi, A., Rinne, K. & Talvitie, H.** 1985. Nurmi-palkokasvit puhtaana kasvustona ja heinäseokse-na. Maatalouden tutkimuskeskus. Tiedote 22/85. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. p. 1–12. ISSN 0359-7652.
- Jones, D.G. & Thomas, S.B.** 1965. The use of inoculation and pelleting in the establishment of white clover under mountain conditions. *Journal of applied bacteriology* 29: 430–439.
- Kempainen, R.** 1995. Biotiitti ja raakafosfaatti apilanurmen lannoitteina. Maatalouden tutkimuskeskus. Tiedote 10/95. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 21 p. ISSN 0359-7652.
- Kuusela, E.** 1998. Laiduntaminen luonnonmukaisessa kotieläintaloudessa. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 33. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. p. 11–17. ISBN 951-729-509-X, ISSN 1238-9935.
- , **Suvitie, M. & Khalili, H.** 1999a. Apilat laidunkasveina luomussa. Koetoiminta ja käytäntö 3: 7.
- , **Khalili, H. & Suvitie, M.** 1999b. Grazing strategies in ecological milk production. *In: Grazing and pasture management in the Nordic Countries.* NJF seminar no 305, Ås, Norja, 27.6.1999. p. 87–88.
- Leinonen, P.** 1996. The effects of soil properties on indigenous *Rhizobium* population nodulating peas. *The Science of Legumes* 3: 227–232.
- Linna, P. & Jansson, H.** 1994. Biotiitti nurmen kaliumlannoitteena. Maatalouden tutkimuskeskus. Tiedote 1/94. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 13 p. ISSN 0359-7652.
- Mela, T., Sormunen-Cristian, R. & Niskanen, V.** 1996. Experiences of the yellow-flowered lucerne (*Medicago falcata* L.) in Finland. Proceedings of the 16th General Meeting of the European Grassland Federation, Grado (Gorizia), Italy, September 15-19, 1996. *Grassland Science in Europe* 1: 515–519.
- Nissinen, O.** 1992. Yksivuotisten tuorehukasvien soveltuminen laidun- ja niittoruokintaan Pohjois-Suomessa. Maatalouden tutkimuskeskus. Tiedote 4/92. 45 p. ISSN 0359-7652.
- Nykänen, A., Granstedt, A. & Laine, A.** 1998. Apilanurmen iän vaikutus seuraavaan viljasatoon ja päättötavan vaikutus typen huuhtoutumisriskiin luomuviljelyssä. *Agro-Food '98*, Tampere, 3.-5.2.1998. p. 6.
- , **Nykänen, A., Leinonen, P. & Koskimies, H.** 1999. Luomunurmituotannon kehittäminen. *Agro-Food '99*, Tampere, 2.-4.2.1999. p. 18.
- , **Sormunen-Cristian, R. & Rönkä T.** 1998. Valkoapilan menestyminen ja soveltuvuus laitumeen Suomen oloissa. *Agro-Food '98*, Tampere, 3.-5.2.1998. p. 5.
- Pulli & Turtola, A.** 1983. Puna-apilan viljelytekniikka ja menestyminen suomalaisilla maataloilla. Biologisen typensidonnan ja ravinnetyypen hyväksikäytön projekti. Julkaisu 3. Helsinki: SITRA. 159 p. ISBN 951-563-071-1.
- Sattler, F. & Wistinghausen, E.V.** 1989. *Der Landwirtschaftliche Betrieb.* Stuttgart: Ulmer Verlag. 333 p.
- Scheller, E.** 1994. Lannoitus luonnonmukaisessa viljelyssä kasvinravitsemuksen tieteellisiä perusteita. Helsinki: Biodynaaminen yhdistys. 55 p.
- Sormunen-Cristian, R., Nykänen-Kurki, P. & Pelto, J.** 1997. Valkoapilaa sisältävän karitsalaitumen kivennäispitoisuus. *Kotieläintieteen päivät 1997.* Maaseutukeskusten liiton julkaisuja 914. Helsinki: Maaseutukeskusten liitto. p. 219–221. ISBN 951-808-054-2, ISSN 0787-9661.
- Svenning, M.M., Eilertsen, K.-E., Gudmundson, J. & Leinonen, P.** 1997. Effect of inoculum composition on plant production and nodule occupancy in the field. *Current Plant Science and Biotechnology in Agriculture* 31: 641. ISBN 0-7923-4834-6.
- Takala, M.** 1988. Palkokasvien biologiasta. Maatalouden tutkimuskeskus. Tiedote 10/88. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 18 p. ISSN 0359-7652.
- Tiley, G.E.D. & Frame, J.** 1988. Sward establishment and renovation without ploughing. Proceedings of the 12th General Meeting of the European Grassland Federation, Dublin, Ireland. p. 199–203.
- Virkajärvi, P. & Varis, E.** 1991. The effect of cutting times on goat's rue (*Galega orientalis* Lam.) leys. *Journal of Agricultural Science in Finland* 63: 391–402.
- Vuorinen, M. & Takala, M.** 1993. Sinimailasen viljelyyn vaikuttavia tekijöitä. Maatalouden tutkimuskeskus. Tiedote 16/93. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 17 p. ISSN 0359-7652.
- Väisänen, J.** 1996. Ravinteiden kauppataseet nautakarjatilojen ravinteiden käytön kuvaajana. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 8. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 54 p. ISSN 1238-9935, ISBN 951-729-471-9.

–, **Nykänen, A., Kuusela, E. & Leinonen, P.** 1998. Apilanurmiko typpipommi ? Agro-Food '98, Tampere, 3.- 5.2.1998. E57.

Ylimäki, A. 1967. Root rot as a cause of red clover decline in leys in Finland. *Annales Agriculturae Fenniae* 6. Supplementum 1. 59 p.

Porkkanan kasvu ja varastokestävyys muuttuminen kasvukauden lopulla

Terhi Suojala

*Maatalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, Puutarbatuotanto,
Toivonlinnantie 518, 21500 Piikkiö, terhi.suojala@mtt.fi*

Varastoitavan porkkanan sadonkorjuun ajoittuminen vaikuttaa sadon määrään, laatuun ja varastokestävyteen. Korjuuajan optimointia tutkittiin vuosina 1995–1998 MTT:n vihanneskoepaikalla Kokemäellä ja yhteensä 17 vihannestilalla. Sadon kasvu päättyi lokakuun alkupuolella satotasosta riippumatta, ja 10–36 % viimeiseen sadonkorjuuseen mennessä saavutetusta satopotentiaalista kertyi syys-lokakuussa. Porkkanoiden sokerikoostumus, jonka on arveltu kuvaavan kasvin kehitysvaihetta, muuttui sadonkorjuukaudella, mutta muutokset eivät olleet suoraan yhteydessä sadon kasvuun tai varastokestävyteen. Syyskuussa

1996 porkkanoita vaurioittaneet yöpakkaset johtivat sokeripitoisuuksien selvään laskuun, mutta tämä ei heikentänyt sadon aistittavaa laatua tai varastokestävyttä. Aistittava laatu parani hieman ja varastokestävyys huomattavasti sadonkorjuun siirtyessä myöhempään. Varastokestävyys muutokset olivat samansuuntaisia kaikilla koepaikoilla ja kaikkina koivuotuksina. Tulosten perusteella erityisesti liian varhainen sadonkorjuu on haitaksi varastoitavan porkkanan tuotannossa. Varastotautiriskien hallintaan kaivataan lisää ymmärrystä, sillä keskimääräinen varastohävikki vaihtelee kasvupaikoittain huomattavasti.

*Avainsanat: vibannekset, porkkana, *Daucus carota*, varastointi, varastotaudit, sato, sadon laatu, aistinvarainen arviointi, sokerit*

Yield production and changes in storability of carrot in September and October

Abstract

Timing of the harvest of carrot affects the quantity, quality and storability of the yield. Optimisation of harvest time was studied at the Vegetable Experimental Site of the Agricultural Research Centre of Finland and on 17 farms in 1995–98. The increase in yield ceased in early October, irrespective of the yield level, and 10–36% of the total yield potential achieved at the final harvest was produced in September and October. The sugar composition of the roots, which is considered as an indicator of the developmental stage of the plant, changed during the harvest period, but the changes were not directly related to the yield in-

crease or changes in storability. In September 1996, night frosts caused a clear decrease in sugar content, which did not impair the sensory quality or storability. Delaying harvest resulted in a slightly better sensory quality and a considerable improvement in carrot storability. The improvement in storability occurred at all experimental sites and in each year. Results suggest that too early a harvest in particular has an unfavourable effects on the production of carrot for storage. Controlling the risk of storage diseases requires further research, since the average storage loss varies considerably between growing sites.

*Key words: vegetables, carrots, *Daucus carota*, storage, storage diseases, yields, sensory quality, organoleptic analysis, sugars*

Johdanto

Vihanneslajikkeiden kasvurytmin oikea ajoittuminen suhteessa ympäristötekijöiden muutoksiin on sadontuotannon edellytys pohjoisissa oloissa. Korkea sato voidaan saavuttaa lajikkeilla, joiden tuottokyky säilyy myös kasvukauden lopulla, jolloin säteilyn väheneminen ja lämpötilan lasku heikentävät kasvuoloja. Vihanneslajikkeiden kasvurytmiä ja kasvun minimivaatimuksia pohjoisissa oloissa ei ole kovin paljon tutkittu, huolimatta siitä että etelämpänä jalostettujen lajikkeiden menestymismahdollisuudet Suomen oloissa vaihtelevat huomattavasti.

Varastoitavien vihannesten sadonkorjuu ajoittuu yleensä syys-lokakuun vaihteleiviin sääoloihin. Sadonkorjuun ajoittuminen vaikuttaa sadon määrään, laatuun ja varastokestävyyteen. Aikaisemmat tutkimustiedot sadonkorjuuajan vaikutuksesta porkkanan varastoitavuuteen ja laadun säilymiseen varastoinnin aikana ovat olleet vähäisiä ja osittain ristiriitaisia, kuten myös viljelijöiden omat kokemukset. Tämän tutkimuksen tavoitteina oli optimoida porkkanan sadonkorjuuaikaa kriteereinä 1) korkea kokonaissato 2) vähäinen varastohävikki 3) korkea sadon laatu korjuuhetkellä ja 4) laadun säilyminen varastoinnin aikana. Lisäksi seurattiin lajikkeiden kasvua ja kehitystä kasvukaudella taustaksi sadon kasvulle ja varastokestävyyden muutoksille syksyllä. Laatuominaisuuksista arvioitiin varastokestävyyden lisäksi aistittavaa laatua ja sokerikoostumusta, jonka on oletettu kuvaavan myös kasvin kehitysvaihetta.

Aineisto ja menetelmät

Tutkimukseen liittyvät kokeet tehtiin pääosin vuosina 1995–1997 MTT:n vihanneskoepaikalla Kokemäellä ja vihannestiloilla Huittisten, Forssan ja Laitilan seuduilla. Tilakokeiden tarkoituksena oli kerätä laaja koeaineisto muutaman koevuoden aikana, saada käsitys satotasojen ja keskimääräisen

varastokestävyyden vaihtelusta ja arvioida sadonkorjuuajan merkityksen yhtenevyyttä erilaisissa kasvuoloissa.

Koelajikkeina olivat Fontana, teollisuuden käyttöön viljeltävä, juureltaan kartionmuotoinen lajike, ja Panther, tuoremyyntiin yleisesti viljeltävä sylinterinmuotoinen lajike. Kokeissa oli 3–6 sadonkorjuuta syys-lokakuussa. Jokaisen korjuupäivän sadosta mitattiin tuore- ja kuiva-ainesadon määrä, lehtien tuorepaino, varastujuuren liukoisten sokereiden pitoisuudet korjuuhetkellä ja varastohävikki erimittaisen varastoinnin jälkeen. Lisäksi osasta aineistoa seurattiin sokeripitoisuuksia ja aistittavaa laatua varastoinnin aikana.

Varastointikaudella 1998–1999 tehdystä kokeesta tutkittiin syitä havaittuihin varastokestävyyden muutoksiin kasvukauden lopulla. Kokeesta selvitettiin sadonkorjuuajan, mekaanisten vaurioiden ja kylmävarastointia edeltävän lämpötilan vaikutusta porkkanoiden varastotautialttiuteen. Erityisen kiinnostuksen kohteena oli porkkanan vaarallisin varastotauti, mustamätä (*Mycocentrospora acerina*).

Sadon määrä kasvoi lokakuun alkupuolelle

Porkkanan satotaso vaihteli huomattavasti koepaikoittain, mutta sadon kasvu päättyi lähes samanaikaisesti lokakuun alkupuolella satotasosta riippumatta. Syyskuun alkupuolella tehdyn ensimmäisen sadonkorjuun jälkeen sadon määrä kasvoi 5–29 tonnia hehtaarilla, mikä vastaa 10–36 % kokonaissadosta kasvukauden lopulla. Niinpä jopa kolmasosa saavutetusta satopotentiaalista tuotettiin runsaan kuukauden aikana syys-lokakuussa. Sadon kasvu syyskesällä voitiin selittää melko hyvin kylvöajasta laskeutulla lämpösummalla.

Sadon kasvu oli seurausta jatkuvasta fotosynteesistä, sillä myös kuiva-ainesato lisääntyi samanaikaisesti. Ainoastaan vuonna 1996, jolloin pakkaset vaurioittivat kasvus-

toja syyskuun lopulla, kuiva-ainetta ei enää kertynyt vaan mitattu sadonlisä johtui juurten vesipitoisuuden noususta.

Runsas lehdistö mahdollistaa tehokkaan kasvun vielä syksyllä

Kasvukauden lopulla porkkanan lehtien paino laskee vanhimpien lehtien kuollessa. Lehtien paino alkoi laskea molemmissa lajikkeissa samanaikaisesti, mutta Fontana-lajikkeen lehtien paino säilyi suurempana kasvukauden loppuun asti. Vahva lehdistö lienee tekijä, joka varmistaa tehokkaan kasvun vielä syyskesän epäedullisemmissä sääoloissa. Kasvukaudella tehdyt mittaukset osoittivat, että lajikkeiden suhteellinen kasvunopeus (kuiva-aineen tuotto kasvin kuivapainoa kohti) oli samanlainen koko seuranta-ajan ajan. Tämä merkitsee, että erot lajikkeiden satopotentialissa syntyvät hyvin varhain - vaiheessa, jossa määräytyy lajikkeelle tyypillinen verson ja varastojuuren suhde. Englantilaisten tutkimusten mukaan tämä tapahtuu 27–48 vuorokautta kylvön jälkeen (Hole et al. 1987). Lajikkeet, joilla on runsas lehdistö, tuottavat yleensä myös suuremman juurisadon, vaikka niiden satoindeksi onkin alhaisempi (Hole et al. 1987)

Syksyn yöpakkaset kuluttivat juuren varastosokereita

Porkkanan varastojuuren kuiva-aineesta noin puolet on liukoisia sokereita, joista määrältään eniten on sakkaroosia. Eri sokeiden määräsuhteiden on arveltu kuvaavan kasvin kehitysvaihetta, sillä kasvukauden aikana sakkaroosin määrä nousee ja fruk-

toosin ja glukoosin määrät laskevat. Myös koeaineistossamme havaittiin sakkaroosin lisääntyvän ja monosakkaridien määrän laskevan syys-lokakuussa. Muutokset eivät kuitenkaan olleet suoraan yhteydessä sadon kasvuun tai varastokestävyysmuutoksiin. Kokonaissokeripitoisuus ei yleensä muuttunut kovin paljon sadonkorjuukaudella.

Harvinaisen kovat yöpakkaset syyskuussa 1996 (minimilämpötila lähes -10 °C maan pinnassa) johtivat juuren kuiva-ainetta ja sokeripitoisuuksien selvään laskuun, mikä johtunee varastoyhdisteiden käytöstä syntyneiden vaurioiden korjaamiseen ja uusien lehtien kasvattamiseen. Sokeripitoisuuksien lasku ei kuitenkaan heikentänyt porkkanoiden aistittavaa laatua tai varastokestävyyttä.

Lokakuinen sadonkorjuu vähensi selvästi varastohävikkiä

Sadonkorjuuajan vaikutus varastoinnin aikaiseen hävikkiin oli samansuuntainen vuodesta ja koepaikasta riippumatta: varastotautien aiheuttama pilaantuminen väheni sadonkorjuun siirtyessä myöhempään. Tärkeimmät sienitaudit koemateriaalissa olivat mustamätä ja harmaahome, joiden molempien runsaus väheni syksyn kuluessa. Sadonkorjuuajan merkitys oli sitä suurempi, mitä enemmän tauteja sadossa oli. Korjuuajalla ei ollut selvää vaikutusta haihdunnasta ja hengityksestä johtuvaan painohävikkiin.

Porkkanoiden säilyvyys parani yleensä syyskuun lopulla tai lokakuun alussa tehtyyn sadonkorjuuseen asti. Merkittävää on, että hävikki ei lisääntynyt tämän jälkeenkään, huolimatta esimerkiksi syksyn 1996 pakkasvaurioista. Vasta jatkuvat pakkaset ja maan pysyvä jäätyminen lokakuun lopussa 1997 vihanneskoepaikalla Kokemäellä nostivat hävikin samalle tasolle kuin se oli

ollut syyskuun alussa tehdyssä nostossa. Myöskään nosto vesisateessa tai runsaiden sateiden jälkeen ei heikentänyt säilyvyyttä, vaikka joissakin tutkimuksissa on osoitettu sadonkorjuuajan säiden vaikuttavan varastohävikkiin enemmän kuin porkkanan kehitysvaiheen (Fritz & Weichmann 1979).

Porkkanan kestävyys mustamätää vastaan paranee syksyllä

Syitä varastokestävyuden paranemiseen syksyn lähetessä selvitettiin syksyllä 1998. Aikaisemmin on oletettu, että porkkanan kehitysvaiheen vaikutus varastotauteihin saattaisi johtua muutoksista porkkanan alttiudessa saada mekaanisia vaurioita, jotka mahdollistavat taudinaiheuttajien pääsyn juureen, tai kyvyssä parantaa syntyneitä vaurioita (Davies & Lewis 1980). Tässä koeksessa ei korjuuajalla havaittu olleen vaikutusta vaurioalttiuteen tai vaurioiden korjautumiseen. Sen sijaan saastutettaessa eri aikaan korjattuja porkkanoita mustamätäympillä saastunnan määrä väheni selvästi syksyä kohti. Näyttää siltä, että porkkanan rakenteessa ja erityisesti kemiallisessa koostumuksessa tapahtuvat muutokset lisäävät porkkanan vastustuskykyä varastotauteja kohtaan syksyllä. Erityisen kiinnostava on falkarindioli-niminen polyasetyleeniyhdiste, jonka tiedetään aiheuttavan kestävyyttä mustamätäsientä vastaan (Garrod et al. 1978, Garrod & Lewis 1982).

Aistittava laatu parani hieman syksyä kohti

Porkkanoiden aistittavan laadun muutoksia syksyllä ja varastoinnin aikana arvioitiin yhteistyössä MTT:n elintarvikekemian ja -tekniikan tutkimuksen kanssa. Kovin suuria muutokset sadonkorjuukaudella eivät olleet, mutta suuntaus oli kohti hieman parempaa aistittavaa laatua syksyn edetessä. Mielenkiintoista tuloksissa oli, että esimerkiksi sokeripitoisuuksien lasku syksyllä 1996 ei heikentänyt porkkanoiden aistittua makeutta. Myöskään varastoinnin aikana makuominaisuudet eivät kovin paljon muuttuneet, sen sijaan mehukkuus ja rapeus heikkenivät hieman kevättä kohti.

Johtopäätökset

Tulokset osoittivat, että varastoitavan porkkanan sadonkorjuuajan optimi ajoittuu tutkituilla lajikkeilla syyskuun loppuun - lokakuun alkupuolelle, jolloin suurin osa saavutettavissa olevasta satopotentialista on käytetty ja varastokestävyys on jo parantunut. Liian varhainen sadonkorjuu on haitaksi erityisesti varastokestävyuden kannalta, ja se saattaa merkitä myös heikompa aistittavaa laatua.

Sadonkorjuuajan vaikutukset niin sadon määrään, varastokestävyuteen kuin sokerikoostumukseen olivat yllättävän yhteneviä koepaikasta riippumatta, vaikka keskimääräinen satotaso ja varastohävikki vaihtelivat huomattavasti. Varastotautiriskien hallinta on oleellista varastoinnin taloudellisuuden näkökulmasta, joten tautirunsauden vuositaisen ja kasvupaikkojen välisen vaihtelun syitä olisi tarpeen edelleen tutkia. Lisäksi olisi oleellista selvittää erityyppisten lajikkeiden kasvu- ja kehitysrytmiä pohjoisissa oloissa, jotta koko kasvukausi pystyttäisiin hyödyntämään mahdollisimman tehokkaasti.

Kirjallisuus

Davies, W.P. & Lewis, B.G. 1980. The inter-relationship between the age of carrot roots at harvest and infection by *Mycocentrospora acerina* in storage. *Annals of Applied Biology* 95: 11–17.

Fritz, D. & Weichmann, J. 1979. Influence of the harvesting date of carrots on quality and quality preservation. *Acta Horticulturae* 93: 91–100.

Garrod, B. & Lewis, B.G. 1982. Effect of falcari-
ndiol on hyphal growth of *Mycocentrospora acerina*.
Transactions of the British Mycological Society 78:
533–536.

–, **Lewis, B.G. & Coxon, D.T.** 1978. *Cis*-
heptadeca-1,9-diene-4,6-diyne-3,8-diol, an antifun-
gal polyacetylene from carrot root tissue. *Physio-
logical Plant Pathology* 13: 241–246.

Hole, C.C., Morris, G.E.L. & Cowper, A.S. 1987.
Distribution of dry matter between shoot and stor-
age root of field-grown carrots. I. Onset of differ-
ences between cultivars. *Journal of Horticultural
Science* 62: 335–341.

Talvenkestävyys ja sokerit vadelman versoissa ja silmuissa

Pauliina Palonen

Ei saatavissa

Mansikkalajikkeiston uusiutuminen

Tarja Hietaranta

*Maatalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, Puutarhatuotanto,
Toivonlinnantie 518, 21500 Piikkiö, tarja.bietaranta@mtt.fi*

Puutarhamansikkalajikkeisto on Suomessa uusiutumassa. Zefyr- ja Senga Sengana-lajikkeiden viljelyn vähennyttyä on norjalainen Jonsok-lajike kohonnut valta-asemaan. Uusia parempia vaihtoehtoja etsitään kuitenkin aktiivisesti sekä ulkomaisen lajikeaineiston testauksen että kotimaisen mansikanjalostuksen kautta.

Mansikan, kuten niin monen muunkin viljelylajin suhteen olemme viljelyn pohjoisella äärialueella. Ilmastomme asettaa omat vaatimuksensa lajikevalikoimalle ja monet ulkomaiset lajikevaihtoehdot karsiutuvat pois pohjosiin olosuhteisiin soveltumattomina. Ulkomaista mansikan lajikeaineistoa seulotaan kaksivaiheisilla testauksella: lajike seurantakokeilla ja tilakokeilla.

Lajike seurantakokeiden tarkoituksena on suuren lajikemäärän alustava testaus. Koeruudut ovat pienehköjä; kutakin lajiketta istutetaan vain 30 kasvia sekä Maatalouden tutkimuskeskuksen (MTT) puutarhatuotantoon Piikkiöön (60°23′N ja 22°33′E) että MTT:n ekologisten tuotan-

toon Mikkeliin (61°40′N ja 27°13′E). Kokeet toimivat alkukarsintana viljelmäkokeisiin. Niiden avulla etsitään ne lupaavat lajikkeet, joiden lisätestaukseen kannattaa panostaa.

Lajike seurantakokeiden jälkeen tulevat viljelmäkoeket ovat mansikkatiloilla tehtäviä suurempia kokeita. Ne toteutetaan yhteistyössä viljelijöiden, alueellisten marjanviljelykonsulenttien, Puutarhaliiton erikoiskonsulentin ja MTT:n tutkijoiden kanssa.

Vuosina 1997–1999 seurattiin 34 eri lajikkeen menestymistä ja ominaisuuksia. Lisäksi uusiin kokeisiin istutettiin kaikkiaan 49 lajiketta. Kiinnostavalta lajiketuloksaalta vaikuttaa erityisesti kanadalainen Kent, mutta myös norjalainen Inga-lajike osoittautui ensimmäisen varsinaisen satoauden perusteella seuraamisen arvoiseksi uutuudeksi. Molemmat lajikkeet ovat mukana vuonna 1999 alkaneessa uudessa mansikan tilakoejaksossa.

Avainsanat: mansikat, lajikkeet, jalostus

Hiililannoitus kasvihuoneessa

Liisa Särkkä

*Maatalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, Puutarhatuotanto,
Toivonlinnantie 518, 21500 Piikkiö, liisa.sarkka@mtt.fi*

Johdanto

Metanolia sisältävän aineen on todettu aridisissa olosuhteissa ruiskutettuna nostavan kasvien satotasoa jopa 100 % (Nonomura & Benson 1992a, b). Havainnon tehneet tutkijat päättelivät, että aineen vaikutus liittyi valohengityksen vähenemiseen. Suomessa useat kasvihuoneviljelijät käyttävätkin nykyään ruiskutetta, joka sisältää etanolia, ureaa, glysiiniä ja rautakelaattia. Metanoli on korvattu etanolilla, koska se on ihmiselle vähemmän haitallista. Ruiskutetta kutsutaan hiililannoitteeksi.

Maatalouden tutkimuskeskuksessa tehdyn tutkimuksen tarkoituksena oli verrata hiililannoituksen vaikutusta miniruuksella, tillillä ja kurkulla. Tutkimus tehtiin yhteistyössä Helsingin yliopiston kasvintuotantotieteen laitoksen kanssa, jossa tutkittiin radioaktiivista hiiltä sisältävän etanolin kulua retiisissä.

Aineisto ja menetelmät

Kasvit ruiskutettiin aamuisin kerran viikossa hiililannoitteella, jonka etanolipitoisuus vaihteli koekasvin mukaan. Miniruuksella ja tillillä ruiskutteen etanolipitoisuudet olivat 20 ja 30 %, kurkulla pitoisuudet olivat 12 ja 20 %. Kontrollikasvit ruiskutettiin vedellä. Molempiin ruiskutteisiin lisättiin pintajännitystä alentavaa ainetta (Citowett 0,02 %). Tuuletusluukut pidettiin kiinni

ruiskutuksen ajan ja mahdollisimman monta tuntia sen jälkeen. Miniruuksun ja tillin kontrollikasvit siirrettiin toiseen osastoon ruiskutuksen ajaksi ja sitä seuraavaksi vuorokaudeksi. Kurkun kontrollikasvit kasvoivat toisessa osastossa. Mukana oli myös nk. kaasuuntuneen etanolin koejäsen. Nämä kasvit kasvoivat koekasvien kanssa samassa osastossa, mutta niitä ei ruiskutettu hiililannoitteella. Miniruuksukoe tehtiin kaksi kertaa ja tillikoe kolme kertaa. Kurkkukoe toistettiin kerran vaihtamalla osastot keskenään.

Tulokset ja niiden tarkastelu

Sekä miniruuksella että tillillä kaasuuntuneen etanolikäsitteilyn saaneet kasvit antoivat paremman tuloksen kuin kontrollikasvit. Miniruuksun kukkaversojen, kukkien ja nuppujen lukumäärät olivat suuremmat ja tillin vihermassan tuore- ja kuivapainot olivat korkeammat kuin kontrollikasveissa.

Kurkulla 12 %:n etanoliruiskutus paransi 2-luokan sadon laatua verrattuna kontrollikasveihin. Miniruuksun ja tillin saamien ruiskutteen etanolipitoisuudet olivat luultavasti liian väkevät, koska kaasuuntunutta etanolia saaneet kasvit hyötyivät käsittelystä ruiskutettuja enemmän. Kurkkukokeen 12 %:n väkevyys voisi olla sopiva myös niille. Retiisikokeen tulosten

mukaan etanoli kulkeutuu kasvin nuoriin, kasvaviin lehtiin, joten se vaikuttaa kasvin hiilimetaboliaan (Haakana et al. julkaisematon). Tutkimuksessa käytetty ruiskutusajankohta, aamu ja tuuletusluukkujen pittäminen

kiinni olivat ensiarvoisen tärkeitä tekijöitä tulosten kannalta, koska etanolin todettiin kulkeutuvan kasviin valoisassa paremmin kuin pimeässä, ja se kulkeutui kasviin myös kaasumaisessa olomuodossa.

Kirjallisuus

Nonomura, A.M., & Benson, A.A. 1992a. The path of carbon in photosynthesis: Improved crop yields with methanol. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 89: 9794–9798.

– 1992b. The path of carbon in photosynthesis: Methanol and light. *Photosynthesis research* 3: 914–991.

Tekovalotuksen vaikutus gerberan satomäärään keskitalvella

Janne Autio

Ei saatavissa

Kasvumallit kasvihuoneessa

Timo Kaukoranta

*Maatalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, Kasvinsuojelu,
31600 Jokioinen, timo.kaukoranta@mtt.fi*

Kasvihuoneiden säätöjärjestelmät ovat kehittyneet niin pitkälle, ettei niiden käytölle kasvien ja kasvihuoneen toiminnan taloudellisesti optimaalisen säädön toteuttamiseksi ole teknisiä esteitä. Tarvittavat mallit kasvien toiminnasta eivät kuitenkaan ole aina tarkkoja iältään ja kunnoltaan erilaisille kasvustoille. Fysikaalisia malleja massan ja energian muutoksista täytyy myöskin kalibroida erilaisiin kasvihuoneisiin. Reaaliaikaisen optimaalisen säädön (käytön) tiellä ovat lopulta kasvihuoneviljelijöiden vaihte-

levat tottumukset ja vaatimukset (laajoilla markkinoilla). Mallit ovat nykyisellään niin hyviä, että niitä käytetään säädön analysoinnissa ja suunnittelussa. Sellaisen mittaustekniikan kehittäminen, joka antaisi välitöntä palautetta kasvien reagoinnista kasvihuoneen olosuhteiden muutokseen, mahdollistaisi kasvuston ja kasvihuoneen mukaan säätyvien mallien käytön. Sen jälkeen voitaisiin tavoitella huomattavasti nykyistä paremmin reaaliaikaista optimaalista säätöä.

Asiasanat: kasvihuoneet, säätö, mallit, ViberTobtori

Models for greenhouse control

Abstract

Greenhouse control systems have been developed to a level at which optimal control is no longer limited by the technical capacity of the control systems. Nevertheless, detailed models of the behaviour of crops and the greenhouse are still not accurate enough to be used directly in optimal real time control. This does not, however, mean that the

models cannot yet be used; many are currently applicable to the analysis and planning of control strategies. Further improvements in the accuracy of the crop models may require the use of tuning mechanisms which are able to receive signals from sensors measuring the responses of plants to variations in the greenhouse climate.

Key words: greenhouses, control, models, ViberTobtori

Johdanto

Säätöjärjestelmien tuottajia ja kasvihuone-tutkijoita on kiinnostanut 1980-luvulta alkaen, voiko kasvihuoneiden taloudellista tehokkuutta parantaa käyttämällä kasvien ja kasvihuoneen toimintaa kuvaavia malleja asetusarvojen valitsemisessa. Tällä hetkellä mallien hyväksikäytön tiellä ei ole enää mitään säätöjärjestelmien toimintaan liittyviä esteitä. Säätöjärjestelmien tietokoneiden teho on kasvanut riittäväksi ja jatkaa kasvuun. Nykyaikaiset säätöjärjestelmät pystyvät toteuttamaan tarkasti viljelijän asettamien säätöarvojen mukaisen ilmaston.

Kasvu- ja kasvihuonemallien käyttökelpoisuus kasvihuoneen säädössä

Malleja, jotka kuvaavat kasvien ja kasvihuoneen toimintaa, käytetään säätöjärjestelmissä nytkin, mutta monet käyttäjät eivät tunnista niitä sellaisiksi. Kun esimerkiksi säädetään kasvihuoneen lämpötilaa niin, että huoneen lämpötilan asetusarvo muuttuu suhteessa auringon säteilyn voimakkuuteen, takana on implisiittinen malli. Tässä mallissa on huomioitu nettofotosynteesin lämpötilaoptimin riippuvuus lämpötilasta ja osittain kasvihuoneen energian käytön tehokkuus. Malleja käytetään kastelun ohjaukseen asettamalla kastelumäärä riippuvaksi säteilysummasta. Tällöin takana on malli, jonka mukaan haihduntanopeus kasvihuoneessa riippuu lineaarisesti säteilyn voimakkuudesta. Säätöjärjestelmässä voi olla mahdollista tavoitella tiettyä säteilysummaa ja keskilämpötilaa useiden vuorokausien ajan. Takana on malli siitä, että fotosynteesin tuottamat yhteytystuotteet kerääntyvät ”altaaseen”, josta ne käytetään usean vuorokauden jaksolla kasvuun. Käyt-

tönopeus riippuu tällöin suoraan jakson keskilämpötilasta. Näissä tapauksissa viljelijän on asetettava mallien parametrit. Säätöjärjestelmä ei siinä auta.

Säätöjärjestelmä ei tiedä kasvien kasvu-prosessien, fotosynteesin, hengityksen, allokaation ja haihdunnan nopeuksia, vaikka juuri niitä perimmiltään pyritään säätämään. Säätöjärjestelmä ei tiedä edes kasvihuoneen fysikaalisten prosessien, eli massan ja energian muutosten nopeuksia. Viljelijän on tunnettava nämä prosessit ja käytettävä sitä tietoa asetusarvojen valintaan. Kasvihuonetuotannon tutkijoiden pyrkimyksenä on ollut luoda malleja, joilla kasvien ja kasvihuoneen prosessien nopeuksia voidaan laskea. Mallit voitaisiin liittää säätöjärjestelmän osaksi niin, että taloudellisesti optimaalista säätöä hakeva säätöjärjestelmä ottaisi huomioon kasvit ja ulkona vallitsevan sään eksplisiittisesti. On ajateltu, että tällaiset mallit voisivat valita parempaan taloudelliseen lopputulokseen johtavat säädön asetukset kuin viljelijä (Seginer 1996, Straten 1996, Tap et al. 1998).

Tähän mennessä mallit nettofotosynteesistä, kasvusta, haihdunnasta sekä massan ja energian muutoksista kasvihuoneessa on rakennettu ja onnistuttu myös kalibroimaan jonkun kokeen datan mukaisiksi (Day 1998). Mallien validointi ei ole kuitenkaan edennyt niin pitkälle, että niitä voitaisiin pitää ennustusmielessä luotettavina vaihtelevan ikäisille ja kuntoisille kasvu-tiloille. Kasvumalleissa erityisesti yhteytystuotteiden kulkeutumista on edelleen vaikea arvioida tarkasti (Challa & Heuvelink 1996).

Toteutettaessa tietokoneohjelmaa, joka voisi ottaa viljelijän vastuun taloudellisesti optimaalisen säädön toteuttamisesta, tulee lisää ongelmia. Kasvituotteiden myynnistä saatava hinta ei ole kunnolla ennustettavissa säätöjä tehtäessä. Yhdelle kasvilajikkeelle sopiviksi osoittautuneet säätövalinnat eivät myöskään välttämättä sovi hyvin toiselle, koska lajikkeet reagoivat eri tavalla ympäristöön. Tuotantopanoksiakaan ei yleensä käytetä toisistaan riippumatta, esim. jos halutaan tuottaa lisää lämpöä, voidaan

oheistuotteena tuottaa usein myös hiilidioksidia ja sähköä. Lisäksi yhden päivän säätarvojen valinnat vaikuttavat tulevien päivien valintoihin, mutta tulevien päivien sää ja erityisesti hetkelliset säteilyarvot eivät ole säätöjärjestelmän tiedossa. Teknisten ongelmien lisäksi on vaikea esittää monimutkaiset mallit viljelijälle ymmärrettävässä muodossa.

Osa optimaalisen säädön toteuttamisen teknisistä ongelmista voidaan ratkaista nopeastikin. Tuotantopanosten käytön riippuvuus toisistaan on laskentatehtävä. Tällä hetkellä paikallinen sääennuste voidaan hakea automaattisesti säätöjärjestelmälle sää-tiedon tuottajan palvelimelta.

Lopulta, vaikka kasvu- ja kasvihuone-mallit ovat riittävän tarkkoja, niiden käyttönotossa on ongelmia. Säätöjärjestelmien ostajien tottumukset ja vaatimukset ovat erilaisia ja se hillitsee säätöjärjestelmiä tuottavien yritysten halua muuttaa säätöjärjestelmiä niin, että ne ottaisivat enemmän vastuuta asetusarvojen valinnasta.

Tieteellisestä mallista sovellukseen

Nettofotosynteesin ja haihdunnan malleja on kehitetty nyt niin pitkälle, että niitä voitaisiin periaatteessa ottaa käyttöön. Jokseenkin kaikki mallit kuvaavat teoriaa kasvien toiminnasta. Mallien rakennetta muutetaan ja tarkennetaan ajan kuluessa, kun uudet kokeet osoittavat sen tarpeelliseksi. Tämä on hyvä asia tieteellisen teorian kehityksen näkökulmasta, mutta se vaikeuttaa monimutkaisten mallien siirtämistä kaupallisiin ohjelmiin. Kun mallin rakenne kuvaa teoriaa, ohjelmoitaessa teoria kietoutuu myös ohjelmarakenteiden osaksi. Tällainen sekoittuminen on hankalaa, koska se edellyttää kaupallisen ohjelman kirjoittajalta ja ylläpitäjältä biologisen teorian ymmärtämistä ja kehityksen seuraamista. Tämä ei pitemmän päälle ole mahdollista. Sovelluksia tehtäessä mallien teoria täytyy siis irrot-

taa rakenteesta. Biologinen teoria täytyy siirtää parametreihin, jolloin mallin rakenne on valittavissa puhtaasti matemaattisen ja ohjelmointitekniikan sopivuuden perusteella.

ViherTohtori – sovellus kasvihuoneviljelijöille

ViherTohtori on Maatalouden tutkimuskeskuksen ja Itumic Oy:n (Jyväskylä) yhdessä kehittämä ohjelma. Se on rakennettu Windows-käyttöjärjestelmään Delphi-kehittimellä, joka tuottaa Object Pascal-kielistä koodia. Ohjelma sisältää reaaliaikaisesti toimivat mallit säteilyn läpäisystä kasvihuoneen katteen ja verhojen läpi, kasvuston fotosynteesistä ja haihdunnasta sekä ravinteiden syötöstä kasvustoon. Mallien syöttötietoina voi käyttää normaaleja mittaustietoja tai mittaustiedoista eri tavoin poikuettua tietoa. ViherTohtori selittää ja ennustaa kasvuston toimintaa, mutta se ei vaikuta ohjelmallisesti säädön asetuksiin.

Säteily, nettofotosynteesi ja kasvu

ViherTohtorissa käytettävä nettofotosynteesin malli perustuu pääosin Gijzenin (1992) raportissa yksityiskohtaisesti esitettyyn ASKAM-simulointimalliin. Kasvihuoneen päälle tuleva suora ja diffuusi fotosynteettisesti aktiivinen säteily (PAR) erotetaan ja katteen läpäisevä osa lasketaan olettaen, että se riippuu katteen läpäisevyyden lisäksi auringon kulmasta. ASKAM-mallista poiketen tämän jälkeen lasketaan vielä verhojen läpi menevä osa PAR:stä verhojen läpäisevyyden perusteella, olettaen että verhot läpäisevät samalla tavalla suoraa ja diffuusia säteilyä. Edelleen ViherTohtoriin on lisätty keinovalojen tuottama PAR.

ASKAM-mallissa kasvustoon absorboituva suora ja diffuusi PAR lasketaan analyttisesti siten, että kasvusto oletetaan vaakuunassa homogeeniseksi. Absorption

laskemista varten ohjelmalle on annettava säteilyn sirontaparametrien lisäksi lehtialaindeksi (LAI). Lehtien fotosynteettinen tehokkuus oletetaan pystysuunnassa vakioiksi. Hengitysnopeus riippuu lämpötilasta ja hengityksen kokonaismäärä kasvuston massasta ja jakautumisesta eri kasvinosiin.

ViherTohtorissa koko nettofotosynteesin (säteilyn absorptio, bruttofotosynteesi, hengitys) laskemistapa on vaihdettu teorian kuvauksen mukaisten ohjelmalausekkeiden sijasta *feed-forward* -tyyppiseksi neuroverkoksi. Neuroverkon syöttökerroksessa ovat lämpötila, suora ja diffuusi PAR (W/m^2), hiilidioksidin pitoisuus ilmassa (ppm) ja LAI. LAI:ä ei siis lasketa kasvusta vaan se on syöttötieto mallille. Verkossa on kolme välikerrosta, joissa ensimmäisestä välikerroksesta alkaen on 9, 7 ja 6 solmua. Neuronifunktio on sigmoidinen jokaisessa kerroksessa. Verkon tuloskerroksessa on nettofotosynteesin nopeus ($g/m^2/s$). Verkon parametrit on estimoitu käyttäen WinNN-ohjelmaa (versio 0.97). Estimointia varten luotiin data, jossa syöttökerroksessa esiintyvillä muuttujilla käytiin läpi askeleittain normaalissa kasvihuoneviljelyssä esiintyvä arvoalue (28000 havaintoa) ja tuloskerroksen muuttujalle (nettofotosynteesi) laskettiin arvo mukautetulla ASKAM-mallilla.

Nettofotosynteesimallin neuroverkoksi muuttamisen tarkoituksena on biologisen mallirakenteen ohjelmoinnin välttäminen. Muutoksella pyritään yksinkertaistamaan ohjelmointia ja siihen, että biologista mallia nettofotosynteesistä voidaan tarpeen mukaan muuttaa lähes rajoituksetta ilman ohjelmapäivitystä ViherTohtorissa. Mallin muutokset siirtyvät neuroverkkoon päivittämällä verkon parametrit tiedostosta.

Vuorokautinen hedelmien tuorepainon lisäys ($g/m^2/vrk$) lasketaan ViherTohtorissa kertomalla vuorokauden nettofotosynteesin summa peräkkäin kolmella kertoimella: kasvutehokkuus, hedelmiin menevä osuus kasvusta ja 1/hedelmien kuiva-ainepitoisuus. Kasvutehokkuus osoittaa sokerin muuntamisen tehokkuuden rakenteelliseksi

si kuiva-aineksi.

Haihdunta

Haihdunnan malli on ViherTohtorissa Jolliet'n (1994) esittämän mukainen. Jolliet'n kuvaama malli on soveltamista varten yksinkertaistettu muoto Stanghellinin (1987) kehittämästä kasvihuonekasvien haihdunnan mallista. Jolliet'n mallissa haihdunta on haihduntamallien normaalin tavan mukaisesti jaettu säteilystä ja vesihöyryn kylästyvajaksesta (lämpötila, suhteellinen kosteus) johtuviin osiin. Molempien osien mukainen haihdunta riippuu myös LAI:stä. ViherTohtorissa on Jolliet'n malliin lisätty keinovalojen tuottama kokonaissäteily.

Keskeiset parametrit kasvun ja veden käytön laskemisessa

Nettofotosynteesin ja haihdunnan mallit säädetään kasvilajin ja kasvihuoneen mukaisiksi asettamalla ViherTohtorissa useita parametrejä. Melko helposti asetettavia parametrejä ovat kasvihuoneen sijainti (leveys- ja pituusastetta), katteen ja verhojen kokonaissäteilyn ja PAR:n läpäisevyys, sekä keinovalojen tuottama säteily (mahdollisia kaikki säteilyanturityypit) ja lampputyypipi. Lampputyypin perusteella säteily muutetaan ohjelman tarvitsemaksi kokonaissäteilyksi ja PAR:ksi Thimijanin ja Heinsin (1983) esittämien muunnostapojen mukaisesti.

Luultavasti vaikeimmat parametrit ohjelman käyttäjälle ovat ne, jolla lasketaan LAI. Käyttäjän täytyy asettaa ohjelmaan LAI istutushetkellä ja oletettu LAI täysikokoisessa kasvustossa, sekä säteilysumma, joka tarvitaan istutuksesta täysikokoiseen kasvustoon pääsemiseksi. Ohjelma laskee näillä tiedoilla kullekin päivälle LAI:n arvon, jota käytetään syöttötietona nettofotosynteesiä laskettaessa.

Ravinteet

Ravinnemalli laskee lannoite- ja ravinnekohtaisesti syötön kasvualustaan ja ravinteiden teoreettisen oton potentiaalisen haihdunnan mukaisessa vesivirrassa alustasta kasvustoon. Ravinteiden syötön laske-
miseksi tarvittavat tiedot saadaan osittain säätöjärjestelmältä suoraan, osittain käyttäjän on asetettava ne. Säätöjärjestelmästä saadaan lannoituksessa käytettävien emoliuosten suhteet. Säätöjärjestelmä mittaa kasvualustaan syötettävän kasteluliuksen sähkönjohtavuuden ja vesimäärän. ViherTohtori-ohjelmaan asetetaan raakaveden sähkönjohtavuus, emoliuosten kaikkien ravinteiden pitoisuudet ja emoliuosten laimennussuhde käytössä, samoin asetetaan jokaisen emoliuksen vaikutus kasteluvu-
den sähkönjohtavuuteen.

Arvio kasvuston ravinteiden käytöstä saadaan laskemalla haihdunnan mukainen ravinnevirta kasvustoon olettaen, että kasvusto ottaa ravinteita kasteluliuksesta siinä suhteessa kuin niitä siinä on.

Käyttö säädön analysointiin ja suunnitteluun

ViherTohtoria rakennettaessa lähtökohta on ollut, että käytettävissä oleva säätöjärjestelmä on riittävän joustava viljelijän valitseman säätöstrategian toteuttamiseen, kunhan viljelijällä on riittävästi tietoa säätöjen vaikutuksesta kasveihin. Ohjelmalla voi seurata, miten mitatut olosuhteet vaikuttavat teoriassa kasveihin. Tarvittaessa ohjelmalla voi tehdä helposti sensitiivisyysanalyysin ilmastomuuttujien vaikutuksesta nettofotosynteesiin, kasvuun ja haihduntaan.

ViherTohtori-ohjelman haihduntaosalla voi viljelmällä tutkia esim. haihdunnan riittävyttä pimeiden jaksojen aikana tai haihduntavaatimuksen kohtuullisuutta voimakkaan säteilyn oloissa, millä säätöjen muutoksilla voisi saavuttaa riittävän hyvän haihdunnan, kuinka suuri osa kasteluvu-
destä eri oloissa valuu läpi, vastaako kaste-

lun jako haihduntavaatimusta päivän eri vaiheissa, onko kasvusto ehkä vioittunut tai joku laite epäkunnossa lasketun haihdunnan alkaessa äkillisesti poiketa mitatusta kastelusta. Ravinneosalla voi tutkia yksittäisten ravinteiden käyttöä suhteessa tavoitteisiin. Fotosynteesi- ja kasvuosalla voi tutkia, paljonko kasvien kasvua voi lisätä muuttamalla säätöjä, ovatko kasvutekijät kohtuullisessa suhteessa toisiinsa, millaiset olot kasvulle on tänään verrattuna muihin päiviin.

Yhteenveto

Useiden tutkijoiden lopullisena tavoitteena on ollut kehittää malleja, joilla ohjattaisiin reaaliaikaisesti säätöarvojen asettamista optimaalisiin arvoihin. Käytännössä tutkijoiden kehittämistä malleja ei ole pystytty soveltamaan kaupallisissa säätöjärjestelmissä reaaliaikaisen taloudellisen optimoinnin välineinä. Mallit on otettu kuitenkin käyttöön analysoinnin ja suunnittelun välineinä tutkimuksessa ja neuvonnassa ja vähitellen ehkä myös viljelyksillä. ViherTohtori-ohjelman tavoite on antaa viljelijälle mahdollisuus analysoida kasvuston kasvua sekä veden ja ravinteiden käyttöä. Muita malleja säädön strategiseen ja taktiseen suunnitteluun ovat mm: kasvihuoneen energiatehokkuuden laskeminen pitkällä jaksolla (Uffelen & Bakker 1998, Jolliet et al. 1991), koristekasvien sadon ajoittaminen ja pituuden säätäminen (Persson & Larsen 1998, Fisher et al. 1998, Fisher & Heins 1996).

Mallien kehittämisessä seuraava merkittävä askel voi olla itsestään tarkentuvien mallien tekeminen (Day 1998). Tulevaisuudessa saatetaan päästä siihen, että nettofotosynteesiä, hedelmien kasvua ja haihduntaa voidaan mitata jatkuvasti ja automaattisesti. Mittaustulokset antavat kuitenkin aina vain hetkellisiä, runsaan hälyn sotkemia arvoja. Niissä ei ole mallien tuomaa yleispätevyyttä, mutta jos mittaustuloksia käytetään mallien tarkkuuden seurantaan ja kalibrointiin, voidaan malleihin luottaa nykyistä paremmin.

- Challa, H. & Heuvelink, E.** 1996. Photosynthesis driven crop growth models for greenhouse cultivation: advances and bottle-necks. Proceedings of international workshop on greenhouse crop models. *Acta Horticulturae* 417: 9–22.
- Day, W.** 1998. The value of crop and greenhouse models in greenhouse environmental control. Proceedings of the second international symposium of models for plant growth, environmental control and farm management in protected cultivation. *Acta Horticulturae* 456: 295–303.
- Fisher, P.R. & Heins, R.D.** 1996. The greenhouse Care system: a decision-support system for height control and scheduling of potted flowering plants. Proceedings of the international workshop on greenhouse crop models. *Acta Horticulturae* 417: 41–45.
- , **Lieth, J.H. & Heins, R.D.** 1998. Predicting variability in anthesis of Easter *Lily* (*Lilium longiflorum* Thunb.) populations in response to temperature. Proceedings of the second international symposium of models for plant growth, environmental control and farm management in protected cultivation. *Acta Horticulturae* 456: 117–124.
- Gijzen, H.** 1992. Simulation of photosynthesis and dry matter production of greenhouse crops. Simulation report CABO-TT, Nr. 28. 97 p.
- Jolliet, O.** 1994. Hortitrans, a model for predicting and optimizing humidity and transpiration in greenhouses. *Journal of Agricultural Engineering Research* 57: 23–37.
- , **Danloy L., Gay, J.-B., Munday, G.L. & Reist, A.** 1991. Horticorn: an improved static model for predicting the energy consumption of a greenhouse. *Agricultural and Forest Meteorology* 55: 265–294.
- Persson, L. & Larsen, R.U.** 1998. Adapting a prediction model for flower development in Chrysanthemum to new cultivars. Proceedings of the second international symposium of models for plant growth, environmental control and farm management in protected cultivation. *Acta Horticulturae* 456: 143–150.
- Seginer, I.** 1996. Optimal control of the greenhouse environment: an overview. Proceedings of the second IFAC/ISHS workshop on mathematical and control applications in agriculture and horticulture. *Acta Horticulturae* 406: 191–201.
- Stanghellini, C.** 1987. Transpiration of greenhouse crops. An aid to climate management. Wageningen: Landbouwniversiteit. 150 p. Academic dissertation.
- Straten, G. van.** 1996. On-line optimal control of greenhouse crop cultivation. Proceedings of the second IFAC/ISHS workshop on mathematical and control applications in agriculture and horticulture. *Acta Horticulturae* 406: 203–211.
- Tap, R.F., Van Straten, G., Van Willigenburg, L.G.** 1998. Comparison of classical and optimal control of greenhouse tomato crop production. In: Munack, A. & Tantau, H.J. (eds.). *Mathematical and Control Applications in Agriculture and Horticulture*, Proceedings of the 3rd IFAC Workshop. Elsevier Science. p. 1–6. ISBN: 0-08-043037-6.
- Thimijan, R.W. & Heins, R.D.** 1983. Photometric, radiometric and quantum light units of measure: a review of procedures for interconversion. *HortScience* 18: 818–822.
- Uffelen, R. van & Bakker, R.** 1998. Management support for energy-efficient climate control: a management tool. Proceedings of the second international symposium of models for plant growth, environmental control and farm management in protected cultivation. *Acta Horticulturae* 456: 523–529.

Toisen lyhytpäiväkäsittelyn vaikutus Korona-mansikan kukkien lukumäärään ja kukinnan ajoittumiseen

Hannu Mäki

Ei saatavissa

Uusia koristekasveja Suomeen

Aune Koponen

Kasvitieteellinen puutarha, PL 44, 00014 Helsingin yliopisto, aune.koponen@helsinki.fi

Helsingin yliopiston kasvitieteellisen puutarhan Kumpulán puutarhan kasvimaan-tieteellinen osasto edustaa boreaalisen (ja oroboreaalisen) vyöhykkeen lajistoa. Kasvi-en hankkimiseksi puutarha järjesti siemen-keruumatkat Japanin Hokkaidolle vuonna 1993, Koillis-Kiinaan (Mantshuria) 1994 ja Brittiläiseen Kolumbiaan ja Albertaan, Kanadaan 1995. Matkojen tuloksena saatiin 1000 kasvikantaa. Kerättyjen siementen itävyydessä oli suuria eroja, ja monta siemen-erää jäi itämättä. Paikoilleen istutetuista vain 7 (3,6 %) japanilaista, 5 (1,9 %) kiin-alaista ja 1 (0,5 %) kanadalaista alkuperää oleva kasvi on kuollut puutarhassamme.

Osa kasveista on sellaisia, joita on aikai-

semmin vain harvoin tai ei lainkaan kasva-tettu Suomessa. Perennakasveista *Hypericum ascyron* ja *Lychnis fulgens* ovat hyvin lu-paavia koristekasveina. Puuvartisista kore-ansembra *Pinus koraiensis*, *Betula maximovic-ziana*, *Malus fusca*, ussurinpäärynä *Pyrus us-suriensis*, kiinanvaahtera *Acer ukurunduense*, *Philadelphus schrenkii*, *Prinsepia sinensis* (Ro-saceae) ja laakakataja *Juniperus horizontalis* ovat tähän asti menestyneet hyvin. Tiiviitä kasvustoja muodostavat *Rubus parvifolius*, *Juniperus communis* subsp. *depressa* ja *Salix in-tegra* sopivat käytettäväksi viherrakentami-seen samoin kuin *Cephalanthus occidentalis*, joka saatiin puutarhaan kansainvälisessä siemenvaihdossa.

Avainsanat: koristekasvit, luonnonkasvit, puuvartiset kasvit, siemen, Japani, Kanada, Koillis-Kiina

New ornamentals in Finland

Abstract

Helsinki University Botanical Garden began to build up a plant geographical garden in the Kumpula campus area in 1987. Plants for the new garden come from the boreal (and oroboreal) zone, from areas where bioclimatic conditions are the same as those in southern Finland (Helsinki). To obtain more material, the Botanical Garden arranged seed collecting excursions to Hokkaido, Japan (1993), North-East China (Manchuria 1994), and British Columbia and Alberta, Canada (1995). A total of 1000 plant origins were collected during these excursions. After planting, only 7 origins (3.6%) of Japanese, 5 origins (2%) of

North-East Chinese (1.9%) and 1 origin (0.5%) of Canadian plants failed to survive.

Some of the plants have rarely or never been grown in Finland before. Of perennial plants, *Hypericum ascyron* and *Lychnis fulgens* have value as ornamentals. The following woody plants, *Pinus koraiensis*, *Betula maximovicziana*, *Malus fusca*, *Pyrus ussuriensis*, *Acer ukurunduense*, *Philadelphus schrenkii*, *Prinsepia sinensis* and *Juniperus horizontalis*, have thrived well so far. *Juniperus communis* subsp. *depressa*, *Rubus parvifolius*, *Salix integra* and *Cephalanthus occidentalis* might be suitable for greening purposes.

Keywords: ornamental plants, wild plants, woody plants, seedCanada, Finland, Japan, North-East China

Johdanto

Vuosikymmenien ajan suurin osa Suomessa myydyistä koristekasvien taimista on tuotettu Keski-Euroopassa ja keskieuropplaisia luonnonolosuhteita silmällä pitäen. Nykyään Suomessa on tarjolla kotimaisia taimia, jotka menestyvät meidän paljon ankarammassa ilmastossamme. Uusia kestäviä alppiruusulajikkeita tarjottiin kaupalliseen lisäykseen vuonna 1987, ja tähän mennessä jo 9 suomalaista alppiruusulajiketta on myynnissä (Uosukainen & Tigerstedt 1988, Tigerstedt & Uosukainen 1996, Tegel et al. 1999). 1980-luvulla KESKAS-hankkeessa valittiin kasvatuskokeisiin yli 700 puuvartista kasvikantaa, joita oli viljelty Suomessa kauan ja todettu kestäviksi. Näistä 12 rekisteröityä lajiketta sai Suomalaisia laatutaimia FinE® -tavaramerkin 1990-luvulla (Kauppila 1998). Edellä mainitut tulokkaat ja muutaman taimitarhan myymät paikalliset taimikannat ovat silti vielä pieni osa suomalaisten vuosittain ostamista koristekasvien taimista.

Kasvitieteelliset puutarhat ovat kasvataneet tutkimus- ja opetuskäyttöön ulkomaisia kasveja, joilla on havaittu olevan arvoa koristekasveinakin. Tästä on esimerkiksi keltakotakuusama *Weigela middendorffiana*, jonka suomalainen Amurin retkikunta toi siemenenä Kaukoidästä 1970-luvulla. Sitä kasvatettiin Oulun yliopiston kasvitieteellisessä puutarhassa ja Helsingin yliopiston Metsäasemalla Hyytiälässä, josta se otettiin KESKAS-kokeisiin ja sen jälkeen taimitarhakasvatuksiin (Alanko & Tegel 1989). Vaikka keltakotakuusama on ollut tunnettu dendrologien piirissä Keski-Euroopassakin, sitä ei ole ollut myynnissä. Vasta viime vuosina keltakotakuusamaa on esitelty saksalaisissa puutarha-alan lehdissä (Rücker 1997, Verstl 1999).

Helsingin yliopiston kasvitieteellisen puutarhan Kumpulan puutarha perustettiin vuonna 1987. Sen osana alettiin rakentaa kasvimaantieteellistä puutarhaa, jonka kasvit edustavat boreaalisen (ja oroboreaalisen) vyöhykkeen lajistoa etenkin Etelä-Suo-

mea vastaavilta ilmastoalueilta. Täten koelma muodostuu Euroopan, itäisen Pohjois-Amerikan, läntisen Pohjois-Amerikan, Itä-Aasian (Venäjän Kaukoita, Koillis-Kiina, Korea) ja Japanin luonnonvaraisista ja luonnonalkuperää olevista kasveista.

Aineisto ja menetelmät

Osa kasvimaantieteellisen puutarhan kasveista on saatu kasvitieteellisten puutarhojen kansainvälisen siemenvaihdon välityksellä. Näin saadaan vain pieni määrä siementä ja istutettavia taimia annosta kohden. Runsaamman lajiston ja taimimäärän hankkimiseksi Kasvitieteellinen puutarha järjesti siemenkeruumatkat Japanin Hokkaidolle vuonna 1993, Koillis-Kiinaan (Mantshuria) vuonna 1994 ja Brittiläiseen Kolumbiaan ja Albertaan, Kanadaan vuonna 1995 (Koponen & Koponen 1995, 1996, Koponen 1998). Jokaisella matkalla oli mukana yhteistyökumppani japanilaisesta, kiinalaisesta ja kanadalaisesta kasvitieteellisestä puutarhasta. Matkojen tuloksena saatiin 1000 kasvikantaa. Siementen ohella kerättiin pistokkaita mikrolisäystä varten sekä muutama taimi juurineen. Tällä hetkellä aineistosta on istutettu Kumpulan puutarhaan yli 30 000 tainta.

Tulokset

Keruiden tuloksena siemeniä, taimia ja mikrolisättyjä kasveja oli enemmän kuin Kumpulan ja Kaisaniemen puutarhoissa tarvittiin. Siemeniä tarjottiin kansainväliseen siemenvaihtoon, siemeniä ja taimia arboretumeihin (Mustila, Viikki), puutarhaoppilaitoksiin (Lepaa, Harju, Mäntsälä) ja kaupunkien puutarhoihin (Kerava, Kotka, Riihimäki). Mustilasta ja Lepaalta taimia on levitetty eri puolille Suomea.

Kasvien antaminen laajempaan käyttöön on tärkeää. Vaikka joku alkuperä ei pärjäisikään omassa puutarhassamme, se

saattaa menestyä muualla. Yksin aineiston itävyydessä oli suuria eroja. Japanista kerätyistä siemeneristä 47 %, Kiinasta kerätyistä 17 % ja Kanadasta kerätyistä 6 % ei itänyt omassa puutarhassamme. Sen sijaan paikalleen istutettuina taimet ovat menestyneet hyvin. Istutuksen jälkeen 7 (3,6 %) japanilaista, 5 (1,9 %) kiinalaista ja 1 (0,5 %) kanadalaista alkuperää oleva kasvit on kuollut puutarhassamme. Ilmaston tai maaperä puolesta epäonnistuneita olivat mm. kolme Koillis-Kiinan *Lespedeza* -alkuperää.

Tulosten tarkastelu

On vielä liian aikaista arvioida, saadaanko näiden keruumatkojen tuloksena uusia koristekasveja Suomen puutarhoihin ja puistoihin. Osa kasveista on sellaisia, joita on aikaisemmin harvoin tai ei lainkaan kasvatettu Suomessa. Perennakasveista kuisma, *Hypericum ascyron* on hyvin lupaava. Se on pysty, 70–100 cm korkea, lehdet ovat terveet ja sillä on runsaasti keltaisia, 4–5 cm:n läpimittaisia kukkia. Sen japanilainen ja kiinalainen alkuperä ovat yhtä hyviä. Yksi kasvikanamme on kanadalaisen yhteistyöosapuolen, Devonian Botanic Gardenin toimesta rekisteröity nimellä *Lychnis fulgens*, Chinese Delight (Manzel & Jaros Hooks 1997).

Muutamit puualkuperät, kuten koreansebra *Pinus koraiensis*, *Betula maximovicziana*, *Malus fusca* ja ussurinpäärynä, *Pyrus ussuriensis* ovat lupaavia. Pensasalkuperistä kiinanvaahtera, *Acer ukurunduense*, *Philadelphus schrenkii*, *Prinsepia sinensis* (Rosaceae) ja laakakataja *Juniperus horizontalis* ovat tähän asti menestyneet hyvin. Viherrakentamiseen soveltuvia kasveja voivat olla tiiviinä kasvustoina kasvavat *Rubus parvifolius*, *Juniperus communis* subsp. *depressa* ja *Salix integra*. Köynnöskasveista ruosteiviini, *Vitis coignetiae* on menestynyt hyvin ainakin lämpimillä seinustoilla.

Esimerkkinä menestyneestä alkuperästä, joka on saatu siemenvaihdossa Kanadasta, on *Cephalanthus occidentalis* (Rubiaceae). Se on tiheäkasvuinen pensas, joka vaatii tuoreen kasvupaikan. Sen tummanvihreät lehdet ovat vastakkain tai kiekuroina ja pallomainen, valkea kukinto on versojen kärjessä. Sitä on ollut tänä vuonna myynnissä Englannissa (RHS Plant Finder 1999) ja ilmeisesti Ruotsissakin (ruotsiksi bollbuske). Sen lajike Keystone esiteltiin vuoden 1997 tulokkaana Amerikan markkinoille (Altekruse & Manzel 1996).

Uusien kasvien tuominen vierailta alueilta ei ole aivan riskitöntä. Kasvista saattaa tulla liian elinvoimainen puutarhakarkulainen. Tässä suhteessa on lupaava *Senecio cannabifolius*, korkea perenna, joka tuottaa suunnattoman määrän tuulen mukana leviäviä siemeniä.

Kirjallisuus

Alanko, P. & Tegel, S. 1989. KESKAS-tutkimus. Kestäviä koristekasveja viherrakentamisen tarpeisiin. SITRA, Sarja B nro 98. Helsinki: Kyriiri. 111 p. ISSN 0785-1138, ISBN 951-563-219-6.

Altekruse, H. & Manzel, K.E. 1996. New & recommended plants for 1997. American Nurseryman 184(12): 60.

Kaupilla, A. 1998. Kestävät koristepensaat myynnissä. Sorbifolia 29: 45–46.

Koponen, T. 1998. Botanical Garden, University of Helsinki, Seed collecting excursions to Japan, China, and Canada. Museologia Scientiarum 14(1): 449–458. Supplementum.

- & **Koponen, A.** 1995. Helsingin yliopiston kasvitieteellisen puutarhan Koillis-Kiinan tutkimusmatka (Expedition of the Botanical Garden, University of Helsinki, to Northeast China). *Sorbifolia* 26: 107–125.
- & **Koponen, A.** 1996. Helsingin yliopiston kasvitieteellisen puutarhan Kanadan tutkimusmatka (Expedition of the Botanical Garden, University of Helsinki, to Canada). *Sorbifolia* 27: 107–120.
- Manzel, K.E. & Jaros Hooks, J.** 1997. New plants for 1998. *American Nurserman* 186(12): 26–77.
- RHS Plant Finder 1999-2000.1999. 13th ed. London: The Royal Horticultural Society. 956 p. ISSN 0961-2599, ISBN 0-7513-0668-1.
- Rücker, K.**1997. Gelbblühende Weigelie. *Gartenpraxis* 6/1997: 5.
- Tegel, S., Väinölä, A., Koivistoinen, M. & Koto, R.** 1999 Laajasuonpuisto: Alppiruusut ja puistoatsaleat. Helsinki: HKR: Kirjapaino Snellman OY. 10 p.
- Tigerstedt, P.M.A. & Uosukainen, M.** 1996. Breeding cold-hardy Rhododendrons. *Journal American Rhododendron Society* 50: 185–189.
- Uosukainen, M. & Tigerstedt, P.M.A.** 1988. Breeding of frosthardy rhododendrons. *Journal of Agricultural Science in Finland* 60: 235–254.
- Verstl, A.** 1999. Weigela - Blütensträucher mit Klasse. *Deutsche Baumschule* 3/1999: 25–27.

Liikennealueitten vihreyttäminen

Sirkka Juhanoja¹⁾ & Minna Heikkilä¹⁾

¹⁾ *Maatalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, Puutarbatuotanto, Toivonlinnantie 518, 21500 Piikkiö, sirkka.juhanoja@mtt.fi, minna.heikkila@mtt.fi*

Viherrakentamisen ongelma-alueita ovat erilaiset liikenneväylien ympäristöt. Niiden kunto ja ulkonäkö on merkittävä tekijä maiseman yleisvaikutelman muodostumisessa, mutta niiden hoito on vähäistä ja ne perustetaan usein heikoille kasvualustoille hankaliin maastomuotoihin. Kuivuus ja liikenteen aiheuttama kuormitus asettavat erityisvaatimuksia käytettäville kasveille, joiden pitää olla peittäviä ja reheviä muodostamatta kuitenkaan liian korkeita kasvustoja näkyvyyttä heikentämään. Matalat, maanpinnan tehokkaasti peittävät, usein kasvutavaltaan suikertavat pensaat ovat kasviryhmä, josta etsitään ratkaisuja viherrakentamisen ongelmakohteisiin. Tutkimuksessa selvitetään 15 pensassukuun (mm. pajut, vuohenkuusamat, vatukat) kuuluvien lajien, lajikkeiden ja kantojen soveltuvuutta erilaisiin liikenne- ja puistokoh-

teisiin, joihin halutaan matalaa peittävää kasvillisuutta. Maatalouden tutkimuskeskuksen (MTT) johtamassa hankkeessa ovat yhteistyökumppaneina kaupunkien puistotoimet, Taimistoviljelijät ja Viherympäristöliitto. Kasvien ilmastollisesta kestävydestä ja muista ominaisuuksista hankitaan tietoa Piikkiöön (60°23'N, 22°33'E) ja Ruukkiin (64°40'N, 25°05'E) perustetuissa peltokokeissa. Pensaiden soveltuvuudesta käytännön viherrakentamiseen saadaan tietoa kuuteen kaupunkiin perustetuissa käytökokeissa, joissa kasvit on sijoitettu todellisiin viherrakentamiskohteisiin.

Alustavien tulosten mukaan tutkimuksen kasveista useat ovat käyttökelpoisia maanpeitekasveja vaikeissa viherrakentamiskohteissa. Parhaat pensaat saavat FinE-tavaramerkin käyttöoikeuden.

Avainsanat: maanpeitekasvit, puuvartistet kasvit, viherrakentaminen, kantavertailu, käyttökoe

New ways to landscape traffic areas

Abstract

The landscaping of traffic areas is problematic. Although such areas contribute to the general impression of a green and viable environment, they are often built on poor soils in difficult terrains with downward slopes, and their maintenance tends to be virtually neglected. Aridity and strain caused by traffic impose special requirements on plants, as they should cover the ground and look dense without impeding visibility.

Urban horticulture has high expectations of low creeping woody plants and perennials for greening traffic areas. This research studies the suitability of low woody bushes of 15 genera (e.g. *Salix*, *Diervilla*, *Rubus*) for different traffic and park sur-

roundings. The project is being carried out by the Agricultural Research Centre of Finland in cooperation with cities, nurseries and the Finnish Association of Landscape Industries (Viherympäristöliitto). The hardiness and botanical characters are being studied in field trials at Piikkiö (60°23'N, 22°33'E) and Ruukki (64°40'N, 25°05'E). Trial areas have been established in six towns in Southern and Central Finland, too.

Preliminary results show that many of the species and clones included in the trials make excellent ground cover plants in a variety of traffic areas. The best species and clones will be given the right to use the trademark FinE.

Keywords: ground cover plants, woody plants, landscaping, clone selections

Johdanto

Rakennetun ympäristön vihreyttämisessä tärkeitä alueita ovat puistojen ja pihojen lisäksi erilaisten kulkuväylien ympäristöt. Näiden laajuus ja toteutus vaihtelee paljon väylän koon mukaan, mutta kaikille on yhteistä näkyvyys maisemassa ja yleensä vähäinen hoito. Alueiden maastomuodot ovat usein hankalia ja rakentamisessa käytetään heikkolaatuista kasvualustaa. Kuivuus ja liikenteen aiheuttama kuormitus lisäävät alueiden haasteellisuutta viherrakentajalle. Suunnittelijan kannalta kohteet ovat vaativia: kasvit eivät saa haitata näkyvyyttä, mutta niiden on vähäisestä hoidosta huolimatta oltava hyvännäköisiä ja annettava ohikulkijalle mielikuva vihreästä elinkelpoisesta ympäristöstä. Edustavan, peittävän vihreyden lisäksi kasveilta edellytetään tiesuolan, hiekoitushiekan, aurauslumen, ilman epäpuhtauksien ja jopa mekaanisen kulutuksen kestoa. Epämääräiset nurmikokaistat eivät ole toivottuja. Matalat, maanpinnan tehokkaasti peittävät, usein kasvutavaltaan suikertavat pensaat ja perennat ovat kasviryhmiä, joihin kohdistuu suuria odotuksia viherrakentamisen ongelmakohteita ratkaistaessa.

Puuvartisista maanpeitekasveista on olemassa niukasti tutkimustietoa. Viime vuonna käynnistyneessä tutkimushankkeessa Maatalouden tutkimuskeskus (MTT), kaupunkien viheryksiköt, Taimistoviljelijät ja Viherympäristöliitto yhdessä etsivät ratkaisuja viherrakentamisen ongelmakohteisiin puuvartisista maanpeitekasveista. Vuonna 1998 alkaneessa tutkimuksessa ongelmaa lähestytään kahdella tavalla: perustietoa kasvien ominaisuuksista, peittokyvystä ja ilmastollisesta kestäväydestä saadaan MTT:n peltokokeista, ja kokemusta kasvien soveltuvuudesta erilaisiin viherrakentamiskohteisiin antavat kaupunkeihin perustetut käyttökokeet.

Aineisto ja menetelmät

Tutkittava kasviaineisto

Tutkimuksen kasvimateriaali on kerätty eri tahoilta: mukana on pensaita taimistojen valikoimista, kasvitieteellisistä puutarhoista saatuja toistaiseksi meillä lähes tuntemattomia lajeja, ulkomaisia uutuuksia ja KESKAS-tutkimuksessa (kestävät koristekasvit) rekisteröityjä kasveja. Pensaiden kasvutapa vaihtelee suikertavasta pystykasvuiseen verhopensaaseen, mutta kaikki lajit ovat matalia. Hyvin maanmyötäisesti kasvavia ovat pikkuherukka (*Ribes glandulosum*), sinivatukka (*Rubus caesius*), pajut (*Salix*), muutamat ruusut (*Rosa*) sekä lamohietakirsikka (*Prunus pumila* var. *depressa*). Pieniä verhopensaita ovat mm. vuohenkuusamat (*Diervilla*) ja pienikokoinen koiranheisi (*Viburnum opulus*) Kallion Pallo. Yhteensä kasvilajeja, -lajikkeita tai -kantoja on 38, sukuja on 15 (Taulukko 1).

Peltokokeet

MTT:n peltokokeisiin Piikkiössä (60°23'N, 22°33'E) ja Ruukissa (64°40'N, 25°05'E) kasvit on istutettu ruutuihin, joista saatavat havainto- ja mittaustulokset antavat tilastollisesti luotettavaa tietoa kasvien ominaisuuksista ja menestymisestä. Koeruudut ovat yhden neliömetrin suuruisia ja kerranteita on Piikkiössä kuusi, Ruukissa viisi. Piikkiön istutuksessa on käytetty sekä kolmen litran astioissa kasvaneita taimia että ns. kevyttaimia, jotka on kasvatettu taimikenoissa tai pienissä ruukuissa. Istutustiheddet ovat olleet astiataimille kolme tainta neliömetrille ja kevyttaimille viisi tainta neliömetrille. Osa taimista on peitetty varjotuskankaisella kehikolla, jotta saadaan selville kasvin valo- ja varjo-ominaisuuksia. Kasveista havainnoidaan talvenkestävyyttä, peittävyyttä (kilpailukykyä), kasvuston korkeutta, terveyttä, kukintaominaisuuksia ja yleisvaikutelmaa. Peltokokeissa kasvien kestäväydestä saadaan tiedot kahdelta il-

Taulukko 1. Tutkimuksessa mukana olevat kasvit.

Chaenomeles japonica
Chaenomeles Darts Coverboy
Cotoneaster Skogholm
Cotoneaster dammeri Eicholz
Cotoneaster horizontalis
Diervilla lonicera
Diervilla sessilifolia
Diervilla × *splendens*
Euonymus nanus
Potentilla Fruticosa-hybr.
Potentilla Darts Cream
Potentilla Goldteppich
Prunus pumila Depressa
Ribes glandulosum
Rosa Gul Dagmar Hastrup
Rosa Heidekönigin
Rosa Immensee
Rosa Weisse Immensee
Rosa maximowicziana
Rosa Foxi Pavement
Rosa Pink Pavement
Rubus caesius
Rubus crataegifolius Prelude
Rubus fruticosus Darts Robertville
Salix arctophila
Salix arenaria
Salix finmarchica
Salix repens
Salix repens Saret
Spiraea beauverdiana
Spiraea japonica Nana
Stephanandra incisa Crispa
Symphoricarpos Arvid
Vaccinium angustifolium Hele
Vaccinium sp.
Viburnum opulus Kallion Pallo

mastoilta erilaiselta alueelta. Piikkiö edustaa Lounais-Suomen leutoa aluetta, Ruukki melko ankaran ilmaston vähälumista aluetta. Peltokokeissa on mahdollisuus verrata eri lajeja ja saman lajin eri kantoja toisiinsa niiden kasvaessa samanlaisissa olosuhteissa. Tällä tavoin saadaan selville kantojen väliset erot. Myös nimistölliset epäselvyydet käydään tutkimuksessa läpi ja annetaan yksiselitteinen nimi suositeltaville kasveille.

Käyttökokeet kaupungeissa

Tutkimuksessa on mukana kuusi kaupunkia: Helsinki, Kuopio, Lahti, Mikkeli, Tampere ja Turku. Niihin on perustettu yhteensä noin 30 kohdetta, joissa on noin 250 havainnoitavaa istutusruutua. Ruudut vaihtelevat koepaikan, kasvualustan, istutustiheyden ja kasvilajin tai -kannan suhteen. Koepaikkojen paikat ovat kaupunkien normaalissa viherrakentamisessa muotoutuneita istutusalueita. Mukana on sekä liiken-

Kuva 1. Sopivien kasvien valinta liikennealueille on tärkeää myös turvallisuuden kannalta. Kasvit eivät saa estää näkyvyyttä risteyskohdissa. Tässä kohteessa aikaisemmin kasvaneet korkeat ruusut on korvattu tutkimukseen kuuluvilla matalilla pensailla (kuva: Sirkka Juhanoja).



nekohteita että puistokohteita. Istutusalueiden kaltevuus vaihtelee, on tasamaata ja erilaisia luiskia, joista osa on erittäin jyrkkiä (Kuva 1). Koeistutukset toteutetaan kaupunkien yleisen viherrakentamis- ja hoitokäytännön mukaisesti, jolloin niistä saata-
vaa tietoa voidaan suoraan soveltaa käytäntöön. Havaintoja tehdään eri vuodenaikoina mm. kasvin peittävydestä, terveydestä, kunnosta ja erilaisten ympäristörasitteiden vaikutuksesta kasviin. Tällaisia ovat mm. lumen paino talvella, aurauus, hiekoitus, teiden suolaus, mekaaninen tallaus, pakokaasut ja muut ilmansaasteet.

Alustavia tuloksia

Ensimmäisen vuoden havaintojen perusteella lajivalikoimassa on useita kasveja, joilla on merkitystä vähään hoitoon tyytyvinä maanpeitepensaina. Pikkupensaista vuohenkuusamat ovat erittäin tuuheita ja peittäviä, mutta eivät aivan matalia verhopensaita, joiden kantojen välillä on selviä eroja. Matalat pensashanhikit (*Potentilla fruticosa* -risteymä) ovat lähteneet hyvin kasvuun ja saavuttaneet kohtalaisen peittävyden taimen koosta riippumatta. Kantojen väliset erot ovat pieniä. Hyviä pikkupensaita ovat vielä koiranheiden kääpiömuoto Kallion Pallo ja pikkukeijuangervo (*Spiraea japonica*) Nana.

Kokeiden neljästä pajusta kaksi on aivan matalaa, hyvin haarovaa tyyppiä. Nämä *S. finmarchica* ja *S. arctophila* ovat tässä vaiheessa varsin lupaavia. Pikkukherukan kantojen välillä saattaa olla eroja. Vatukan suvusta kokeessa on kolme mielenkiintoista lajia. Sinivatukan kannat eroavat jonkin verran toisistaan ulkonäöltään. *R. crataegifolius* Prélude on kaunis tummavertoinen ja punertavalehtinen kasvi. *R. fruticosus* Dart's Robertville on hyvin rentovartinen, erittäin piikkinen, kauniisti kukkiva ja marjova laji. Vatukat ovat erittäin voimakkaasti kasvavia ja niiden talviaikaiset vioitukset peittyvät nopeasti uuden kasvun alle. Lamohietakirsikka on hyvin matala, kaunislehtinen kasvi, joka menestyy karullakin paikalla.

Matalat suikertavat ruusut (*Rosa*) ovat saaneet talvella pahoja vioituksia, vain Pavement -tyypin matalat pensaat ovat menestyneet. Myös matalat tuhkapensaat (*Cotoneaster*) ovat saaneet talvivaurioita.

Tulosten merkitys

Tutkimuksesta saadaan perustietoa useiden lajien kasvitieteellisistä ominaisuuksista, kestävydestä Suomen ilmasto-olosuhteissa ja ennen kaikkea käyttömahdollisuuksista erilaisissa viherrakentamiskohteissa. Myös saman lajin erilaisista kannoista voidaan saada paras esiin tuotantoa varten. Hyvien kestävien lajien ja kantojen löytäminen on

oleellisen tärkeätä istutusten menestymiselle. Maanpeitekasvit ovat tyypillisesti massakasveja, joiden käyttömäärät ovat suuria ja käyttäjiä ovat julkisyhteisöt, kuten kunnat ja Tielaitos. Kotimaisena tuotantona maan-

peitekasvien käytön lisääminen luo uusia menestymisen mahdollisuuksia taimitarhantuotannolle. Parhaat maanpeitekasvit saavat FinE-tavaramerkin käyttöoikeuden.

Kasvien taudinkestävyysgeenit, niiden rakenne, toiminta ja käyttömahdollisuudet

Jari Valkonen

*Swedish University of Agricultural Sciences (SLU), Department of Plant Biology, Genetic Center
P.O. Box 7080, S-750 07 Uppsala, Sweden ja Helsingin yliopisto, Biotekniikan instituutti,
jari.valkonen@vbiol.slu.se*

Kasveista on eristetty yli 20 taudinkestävyysgeeniä, joista suurimman osan uskotaan virittävän kestävyysvasteen tunnistamalla taudinaiheuttajan tietty geenituote. Taudinkestävyysgeenien rakenteen tuntemusta voidaan hyödyntää tunnistamalla erilaisten testien (RFLP, PCR) avulla jalostusaineistoissa ne jälkeläiset, jotka kantavat haluttua kestävyysgeeniä. Eristettyjä kestävyysgeenejä voidaan siirtää geeninsiirtotekniikoiden avulla saman lajin alttiisiin lajik-

keisiin tai eri kasvilajeihin, joilla on yhteisiä taudinaiheuttajia. Kestävyysgeenien samankaltaisuus voi mahdollistaa eristetyn geenin muokkaamisen siten, että se tunnistaa myös muita taudinaiheuttajia. Kestävyysgeenien kyky aiheuttaa solujen kuolemista mahdollistaa sen, että kestävyysgeenejä muokkaamalla voidaan vaikuttaa kasvuun ja kehitykseen, esimerkiksi tuleentumisen (solukoiden luonnollisen kuolemissen) ajankohtaan.

*Avainsanat: kasvitaudit, geenitekniikka, kasvinjalostus, kestävyys,
taudinkestävyys geeni, patogeeni, resistenssi*

Disease-resistant genes of plants – their structure, functioning and use

Abstract

More than 20 disease-resistance genes have been isolated from plants and characterized to date. Most of the genes probably function on a gene-for-gene basis and activate resistance responses following recognition of the product from the pathogen avirulence gene. Knowledge of the structures of resistance genes can be utilized in plant breeding programmes to develop gene-specific markers for RFLP and PCR tests. Isolated resistance genes can be transferred by genetic trans-

formation to susceptible varieties or to other crop species suffering from the same pathogens. Since the resistance genes share common structures, it may be possible to engineer them to recognize several pathogens. The responses induced by the resistance genes include cell death, suggesting that by engineering the isolated resistance genes it may be possible to modify processes associated with the growth and development of the plants.

Key words: plant diseases, genetic engineering, plant breeding, pathogen, resistance, resistance gene isolation

Johdanto

Kasvitaudit vähentävät viljelykasvien vuotuista satoa keskimäärin 12 % (Agrios 1997). Kuitenkin kasvilajin, viljelyalueen, tuotantojärjestelmän sekä sään vaikutuksesta tuhot voivat olla huomattavastikin suuremmat. Sienten aiheuttamia tuhoja voidaan torjua fungisideilla kasvukauden aikana, mutta bakteerien ja virusten torjunta kemiallisesti on tehotonta ja usein mahdotonta. Torjunta-aineiden käytöstä aiheutuu viljelijälle ylimääräisiä tuotantokuluja ja terveystorjuntaa, haittavaikutuksia ympäristölle, sekä mahdollisesti tuotteisiin jäämiä. Taudinkestävien lajikkeiden jalostaminen ja viljely on siten tavoiteltavaa.

Taudinkestävyysmekanismit

Kasvien taudinkestävyys perustuu yhtäältä niiden kykyyn tunnistaa yksittäisiä taudinaiheuttajia ja pysäyttää tartunta, sekä toisaalta yleisiin stressinsietovasteisiin, jotka virittyvät edellä mainitun kestävyysvasteen seurauksena tai muiden ärsykkeiden vaikutuksesta. Esimerkkinä näiden kahden kestävyysvasteen erosta voidaan käyttää kasvien yliherkkyyttä (hypersensitiivisyyttä) taudinaiheuttajia vastaan. Yliherkkyysvaste virittyy kasvin kestävyysgeenin tunnistessa taudinaiheuttajan heti tartunnan alkuvaiheessa. Vasteen seurauksena tartuntakohdan soluissa tapahtuu sekä biokemiallisia muutoksia (vety- ja happiradikaalien tuotannon voimakas lisääntyminen) että rakenteellisia muutoksia (solukalvojen läpäisevyyden kasvu, soluseiniä paksuuntuminen, plasmodesmien tukkeutuminen). Lopulta solukko kuolee tavalla, joka muistuttaa eläinsoluissa tunnettua geneettisesti ohjelmoitua solukuolemaa (apoptoosi) (Mittler et al. 1995, Pennell & Lamb 1997).

Yliherkkyysvasteen aikana tartuntakohtaa ympäröivä solukko virittyy (in-

dusoituu) kestävyysvasteen uusia tartuntoja vastaan (*local acquired resistance*, LAR). Myös muut kasvinosat muuttuvat kestävämmiksi tartuntoja vastaan (*systemic acquired resistance*, SAR). Sekä LAR että SAR estävät kuitenkin myös virittäneen taudinaiheuttajan myöhemmät tartuntayritykset (Ross 1961a, 1961b, Ryals et al. 1996).

Viruksien aiheuttamaa yliherkkyyssvasteen tutkimalla on osoitettu, että yliherkkyyssvasteen laukaisseen viruksen eteneminen pysähtyy kuoliolaikkuun ympäröivässä elävässä solukossa (Ross 1961a, 1961b). Siten solujen kuoleminen ei ole synnyttänyt taudinaiheuttajan kasvun ja etenemisen estymistä vaan edustaa yliherkkyyssvasteen toisistaan (sekundääristä) vaihetta (Richael & Gilchrist 1999). Käyttämällä sienien tuottamaa glykoproteiinia yliherkkyyssvasteen laukaisijana on osoitettu, että solujen kuolemisena ilmenevää vastetta vaihetta tarvitaan kuitenkin LAR- ja SAR-vasteiden virittämiseen (Costet et al. 1999). SAR voidaan virittää myös kemiallisin ärsykkeillä, esimerkiksi salisyylilihapon avulla (Ryals et al. 1996).

Kestävyysgeenit

Kasvien kestävyysjalostuksessa on hyödynnetty sekä yksittäisiin vallitseviin (dominantteihin) geeneihin perustuvaa, taudinaiheuttajakohdasta kestävyyttä että laaja-alaista, moniin taudinaiheuttajiin vaikuttavaa ja monien geenien yhteisvaikutuksena syntyvää kestävyyttä. Ensimmäisenä mainitun kestävyysvasteen tuntemusmekanismien ja geenien tasolla on huomattavasti jälkimmäistä pidemmällä.

Dominanttien, taudinaiheuttajakohdastaisten kestävyysgeenien toimintaa kuvaa nk. Geeni-vastaan-Geeni -malli (GvG) (Flor 1946). Sen mukaan kunkin kestävyysgeenin vastaparin taudinaiheuttajassa on tietty avirulenssigeeni, ja näiden geenien tuotteiden välinen tunnistus laukaisee torjuntavasteen. Kestävyysgeenin tai avirulenssigeenin puuttuminen tai muuntumi-

nen estävät tunnistuksen, jolloin taudinaiheuttaja voi tartuttaa kasvin kestävyysvastetta laukaisematta. Tämän mallin tueksi on runsaasti tuloksia geneettisistä tutkimuksista yli 50 vuoden ajalta (Keen 1990), mutta 1990-luvulla mallia on voitu ryhtyä testaamaan myös molekulaarisella tasolla (Joosten et al. 1994, Tang et al. 1996). Ensimmäinen GvG-mallin mukainen kestävyysgeeni (*Pto*) eristettiin tomaatista (Martin et al. 1993). *Pto* tuottaa yliherkkyysovasteen bakteeria (*Pseudomonas syringae* pv. *tomato*) vastaan.

GvG-mallin mukaiset kestävyysgeenit ovat rakenteeltaan hyvin samankaltaisia huolimatta siitä, mistä kasvilajista ja -heimosta ne on eristetty tai tunnistavatko ne viruksia, bakteereja, sieniä tai ankeroisia. Kestävyysgeenit sijaitsevat kasvien kromosomeissa usein ryhminä, joissa geeniryhmän eri jäsenet voivat tunnistaa saman taudinaiheuttajan eri rotuja tai eri taudinaiheuttajia (Hammond-Kosack & Jones 1997). Geenin samankaltaisuus ei ole yllättävää, sillä niiden laukaisemat kestävyysvasteet ovat samankaltaisia.

Geenit voidaan luokitella tuottamiensa valkuaisaineiden rakenteiden perusteella (Hammond-Kosack & Jones 1997). Suurimman luokan muodostavat solulimaan sijoittuvat proteiinit, joille yhteisiä rakenteita ovat nukleotideja sitovat alueet (NBT) sekä toistuvia leusiinitähteitä sisältävät alueet (LRR). Toisen luokan muodostavat treoniini-kinaasi-tyyppiset proteiinit, joita edustaa *Pto*. Kolmanteen luokkaan kuuluvat solukalvoon kiinnittyvät proteiinit, joista yhdessä (Xa21) on lisäksi solun ulkopuolelle ulottuva kinaasialue.

Solulimassa sijaitsevat proteiinit voivat tunnistaa taudinaiheuttajan tuotteen vastaan päästyä soluun. Niinpä ensimmäiseen ja toiseen luokkaan kuuluvat kestävyysgeenit tunnistavat viruksia, jotka lisääntyvät solussa, sekä bakteereja, jotka pystyvät erittämään yhdisteitänsä soluun. Kolmannen luokan kestävyysgeenit pystyvät tunnistamaan solukalvon ulkopuolisilla osillaan molekyyliä myös solun ulkopuolelta. Ne tunnistavat sieniä, jotka kasvavat soluväleissä.

Pto:n tuottaman valkuaisaineen (*Pto*) on osoitettu sitoutuvan bakteerin avirulenssi-geenin tuottamaan valkuaisaineeseen (*AvrPto*) (Tang et al. 1996). Myöhemmin on eristetty yli 20 GvG-mallin mukaista kestävyysgeeniä, mutta niistä yhdenkään ei ole voitu osoittaa sitoutuvan vastaavaan taudinaiheuttajan geenituotteeseen. Todennäköisesti vuorovaikutuksessa on mukana muitakin kasvisolun molekyyliä, joita ei vielä tunneta. Toisin kuin kestävyysgeenien tuotteiden rakenteessa, niiden tunnistamien taudinaiheuttajien geenituotteiden rakenteissa ei ole havaittavaa samankaltaisuutta. Tunnistukseen liittyvät molekulaariset mekanismit ovat siten yhä selvittämättä.

Koska monien kestävyysgeenien tuottamat proteiinit sisältävät eläinsoluista tunnettuja reseptoriaalueita sekä keskenään hyvin samankaltaisia kinaasialueita, fosforylaation uskotaan olevan avainmekanismi, jolla tunnistusta seuraava, kestävyysvasteet laukaiseva signaalinkuljetus solussa ja soluissa käynnistetään. Signaalimolekyylit ovat yhä tuntemattomia.

Myös peittyvää (resessiivistä) viljanhärmänkestävyyttä tuottava geeni *mlo* on eristetty ohrasta ja sen rakenne selvitetty. *mlo* on rakenteeltaan hyvin erilainen kuin edellä kuvatut geenit eikä sen toimintamekanismia tunneta (Büschges et al. 1997, Jarosch et al. 1999).

Eristettyjen kestävyysgeenien käyttömahdollisuudet

Tietoa taudinkestävyysgeenien rakenteesta voidaan hyödyntää tunnistamalla erilaisten testien (esim. RFLP, PCR) avulla jalostusaineistoissa ne jälkeläiset, jotka kantavat haluttua kestävyysgeeniä (Sorri et al. 1999). Koska kestävyysgeenit sijaitsevat ryhminä ja periytyvät yhdessä, yhdelle geenille kehitettyä geenimerkkiä voidaan usein hyödyn-

tää usean muunkin kestävyysgeenin seulon-
lontaan risteytysjälkeläistössä (Leister et al.
1996).

Eristettyjä kestävyysgeenejä voidaan
siirtää geeninsiirtotekniikoiden avulla al-
ttiisiin lajikkeisiin tai eri viljelykasveihin,
joilla on yhteisiä taudinaiheuttajia. Esimer-
kiksi tomaatin bakteerinkestävyysgeeni *Pto*
tuottaa kestävyyttä myös tupakoissa (Rom-
mens et al. 1995), tupakan viruksenkestä-
vyysgeeni *N* tomaatissa (Whitham et al.
1996), ja tomaatin sienenkestävyysgeeni
Cf-9 perunassa (Hammond-Kosack et al.
1998). Kestävyysgeenien samankaltaisuus
mahdollistaa eristetyn geenin muokkaa-
misen siten, että se voi tunnistaa myös mui-

ta taudinaiheuttajia. Siten luonnollisia, tau-
dinaiheuttajakohtaisia kestävyysgeenejä
muokkaamalla voitaneen tuottaa laaja-
alaista kestävyyttä eri taudinaiheuttajia vas-
taan ja hyödyntää samaa kestävyysgeeniä
eri muodoissa eri viljelykasveissa.

Kestävyysgeenien kyky laukaista vaste,
joka johtaa solujen kuolemaan, osoittaa,
että geenien tehtävä evoluution alkuvai-
heessa on liittynyt kasvun ja kehityksen sää-
telyyn. Siten kestävyysgeenejä muokkaa-
malla voitaneen vaikuttaa myös kasvien ke-
hityksrytmiin, esimerkiksi tuleentumisen
(solukoiden luonnollisen kuoleamisen) ajan-
kohtaan.

Kirjallisuus

Agrios, G.N. 1997. Plant pathology. 4th ed. San Di-
ego: Academic Press. p. 3–41.

**Büschges, R., Hollricher, K., Panstruga, R., Si-
mons, G., Wolter, M., Frijters, A., van Daelen, R.,
van der Lee, T., Diergaarde, P., Groenendijk, J.,
Töpsch, S., Vos, P., Salamini, F. & Schulze-
Lefert, P.** 1997. The barley *Mlo* gene: a novel con-
trol element of plant pathogen resistance. *Cell* 88:
695–705.

**Costet, L., Cordelier, S., Dorey, S., Bailleul, F.,
Fritig, B. & Kauffmann, S.** 1999. Relationships be-
tween localized acquired resistance (LAR) and the
hypersensitive response (HR): HR is necessary for
LAR to occur and salicylic acid is not sufficient to
trigger LAR. *Molecular Plant-Microbe Interactions*
12: 655–662.

Flor, H.H. 1946. Genetics of pathogenicity in
Melampsora lini. *Journal of Agricultural Research*
73: 335–357.

Hammond-Kosack, K.E. & Jones, J.D.G. 1997.
Plant disease resistance genes. *Annual Review of*
Plant Physiology and Plant Molecular Biology 48:
575–607.

–, **Tang, S., Harrison, K. & Jones, J.D.G.** 1998.
The tomato *Cf-9* disease resistance gene functions
in tobacco and potato to confer responsiveness to

the fungal avirulence gene product Avr9. *Plant Cell*
10: 1251–1266.

Jarosch, B., Kogel, K.H. & Schaffrath, U. 1999.
The ambivalence of the barley *Mlo* locus: mutations
conferring resistance against powdery mildew (*Blu-
meria graminis* f.sp. *hordei*) enhance susceptibility
to the rice blast fungus *Magnaporthe grisea*. *Mo-
lecular Plant-Microbe Interactions* 12: 508–514.

**Joosten, M.H.A.J., Cozijnsen, T.J. & De Wit,
P.J.G.M.** 1994. Host resistance to a fungal tomato
pathogen lost by a single base-pair change in an
avirulence gene. *Nature* 367: 384–386.

Keen, N.T. 1990. Gene-for-gene complementarity
in plant-pathogen interactions. *Annual Review of*
Genetics 24: 447–463.

**Leister, D., Ballvora, A., Salamini, F. & Gebhardt,
C.** 1996. A PCR-based approach for isolating
pathogen resistance genes from potato with poten-
tial for wide application in plants. *Nature Genetics*
14: 421–429.

**Martin, G.B., Brommonschenkel, S.H., Chun-
wongse, J., Frary, A., Ganai, M.W., Spivey, R.,
Wu, T., Earle, E.D. & Tanksley, S.D.** 1993. Map-
based cloning of protein kinase gene conferring dis-
ease resistance in tomato. *Science* 262: 1432–
1436.

- Mittler, R., Shulaev, V. & Lam, E.** 1995. Coordinated activation of programmed cell death and defense mechanisms in transgenic tobacco plants expressing a bacterial proton pump. *Plant Cell* 7: 29–42.
- Pennell, R.I. & Lamb, C.** 1997. Programmed cell death in plants. *Plant Cell* 9: 1157–1168.
- Richael, C. & Gilchrist, D.** 1999. The hypersensitive response: a case of hold or fold? *Physiological and Molecular Plant Pathology* 55: 5–12.
- Rommens, C.M.T., Salmeron, J.M., Oldroyd, G.E.D. & Staskawicz, B.J.** 1995. Intergeneric transfer and functional expression of the tomato disease resistance gene *Pto*. *Plant Cell* 7: 1537–1544.
- Ross, A.F.** 1961a. Localized acquired resistance to plant virus infection in hypersensitive hosts. *Virology* 14: 329–339.
- 1961b. Systemic acquired resistance induced by localized virus infections in plants. *Virology* 14: 340–358.
- Ryals, J.A., Neuenschwander, U.H., Willits, M.G., Molina, A., Steiner, H.Y. & Junt, M.D.** 1996. Systemic acquired resistance. *Plant Cell* 8: 1809–1819.
- Sorri, V.A., Watanabe, K.N. & Valkonen, J.P.T.** 1999. Predicted kinase-3a motif of a resistance gene analogue as a unique marker for virus resistance. *Theoretical and Applied Genetics* 99: 164–170.
- Tang, X., Frederick, R.D., Zhou, J., Halterman, D.A., Jia, Y. & Martin, G.B.** 1996. Initiation of plant disease resistance by physical interaction of *AvrPto* and *Pto* kinase. *Science* 274: 2060–2063.
- Whitham, S., McCormick, S. & Baker, B.** 1996. The *N* gene of tobacco confers resistance to tobacco mosaic virus in transgenic tomato. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 93: 8776–8781.

Kasvitauteja aiheuttavien gram-positiivisten bakteerien molekyylitason tautimekanismien selvitys: *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus* -lajin virulenssitekijät

Mary Metzler

*Helsingin yliopisto, Biotieteiden laitos, Perinnöllisyystieteen osasto,
PL 56, 00014 Helsingin yliopisto, mary.metzler@helsinki.fi*

Clavibacter michiganensis subsp. *sepedonicus* (*Cms*) on gram-positiivinen bakteeri, joka on läheistä sukua mykobakteereille ja streptomyykeeteille. Se on kasvipatogeeni, joka aiheuttaa perunan vaalean rengasmädän. Tämä kasvitauti aiheuttaa huomattavia taloudellisia menetyksiä eri puolilla Eurooppaa huolimatta jatkuvista ponnisteluista taudin hävittämiseksi. Tutkimusprojektimme päämääränä on selvittää molekyylitasolla *Cms*-bakteerin virulenssitekijät.

Cms-bakteeri tuottaa erityyvää sellulaasi-entsyymiä, jota kutsumme CelA:ksi. Tutkimusryhmämme on kloonannut ja sekvenssoinut geenin, joka koodaa sellulaasi CelA:ta. Mutantit bakteerikannat, jotka eivät tuota sellulaasia, ovat vain hyvin heikosti virulentteja. Virulenssi voidaan kuitenkin osittain palauttaa siirtämällä mutantteihin bakteereihin kyseinen sellulaasigeeni. Tällä voidaan osoittaa sellulaasin olevan *Cms*:lle tärkeä virulenssitekijä. Kyseisen entsyymin rakenne poikkeaa merkittävästi aikaisemmin kuvatuista sellulaaseista aminohappo-

sekvenssin perusteella. Sellulaasit ovat yleensä monidomeenisia proteiineja, joiden katalyyttinen domeeni ja selluloosaan sitoutuva domeeni ovat toisistaan erillään. Olemme huomanneet, että *Cms*:n sellulaasilla (CelA:lla) on näiden kahden domeenin lisäksi kolmas domeeni (dom3), jonka kaltaista ei ole aikaisemmin kuvattu sellulaasi-yhteydessä. Tämän domeenin peptidisekvenssissä on yhteneväisyyttä ekspansiineiksi kutsuttujen kasviproteiinien kanssa. Ekspansiinit ovat kasvien solunseinän proteiineja, jotka tunkeutuvat selluloosakuitujen mikrofibrillien väliin saaden nämä liukumaan toistensa lomitse, kun solunseinä kasvaa. Tämän perusteella on mahdollista, että myös CelA:n dom3 osallistuu solunseinän selluloosakuitujen fibrillien avaamiseen.

Sellulaasi-tutkimusten lisäksi olemme osoittaneet, että patogeeniset *Cms*-kannat tuottavat proteiinia tai proteiineja, joka/jotka aiheuttavat saastutuksen jälkeen tupakalla hypersensitiivisen reaktion (HR). Yksi

tällainen proteiini on jo puhdistettu ja olemme parhaillaan eristämässä sitä koodaavaa geeniä. Useilla gram-negatiivisilla kasvipatogeneilla on HR-indusoreja (harpiineja), joita koodataan *hrp*-geeniryhmissä (*hypersensitive response and pathogenicity*-lokus). *hrp*-geenien tuotteet muodostavat

nk. III-tyypin erityskoneiston, joka esiintyy sekä eläin- että kasvipatogeneissa ja erittää virulenssitekijät suoraan isäntäsolun sisälle. Koska tuloksemme osoittavat, että *Cms* sekä tuottaa että erittää HR:ta indusoivaa proteiinia, on mahdollista, että myös se sisältää *hrp*-geeniryhmän.

Avainsanat: peruna, Solanum tuberosum, kasvitaudit, bakteeritaudit, rengasmätä, Clavibacter, III-tyypin erityskoneisto, ekspansiini, hrp-geeniryhmä, hypersensitiivinen reaktio, virulenssitekijät, sellulaasi

Molecular investigations of infection mechanisms in Gram-positive plant pathogenic bacteria: virulence factors for *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus*

Abstract

Clavibacter michiganensis subsp. *sepedonicus* (*Cms*), a Gram-positive bacterium related to *Mycobacterium* and *Streptomyces*, is the causal agent of potato ring rot disease. Despite eradication programmes throughout Europe, the disease continues to cause significant economic losses. The main task of our project is to understand, at the molecular level, the virulence factors produced by *Cms*.

Cms produces a secreted cellulase, which we call CelA. We have cloned and sequenced the gene for this protein. Strains and mutants of the bacteria that do not produce cellulase are only weakly virulent. However, virulence can be partially restored by transferring the cellulase gene to a non-cellulase producing strain or mutant, thereby restoring cellulase expression. This indicates that cellulase is an important virulence factor. On the basis of the deduced amino acid sequence, we have found that the enzyme has an unusual structure. Cellulases are very often multi-domain proteins containing both a catalytic domain and a cellulose-binding domain. However, we have found that CelA contains a third domain unlike any domain previously shown to be associated with a cellulase. The pep-

tide sequence of this domain shows significant similarity to plant proteins called expansins. Expansins are plant cell wall proteins that allow cell walls to expand during growth, presumably by acting as a molecular grease that permits cellulose microfibrils to slip past each other during cell expansion. It is possible, then, that domain 3 of CelA is involved in opening up cellulose fibres in the cell walls of infected plants.

In addition to our work on cellulase, we have found that *Cms* produces proteins that cause a hypersensitive reaction (HR) when inoculated into tobacco. We have purified one of these proteins and are in the process of isolating and cloning the gene that encodes it. In many Gram-negative plant pathogens, an HR inducer protein (called harpin) is encoded on the *hrp* locus (*hypersensitive response and pathogenicity locus*). The *hrp* locus encodes the type III secretion system found in both plant and animal pathogens. The type III secretion system is believed to inject virulence factors directly into the host cell. Because our results show that *Cms* produces and secretes HR-inducing protein, it too may contain an *hrp* locus.

Key words: potato, Solanum tuberosum, plant diseases, Clavibacter, cellulase, expansin, hrp genes, hypersensitive reaction, virulence factor, potato ring rot, type III secretion system

Virusgeenien käyttö perunan Y-viruskestävyyden lähteenä siirtogeenisissä kasveissa

Tuula Mäki-Valkama

*Helsingin yliopisto, Kasvibiologian laitos, PL 28, 00014 Helsingin yliopisto,
tuula.maki-valkama@helsinki.fi*

Perunan Y-virus (PVY) on Suomessa yksi tärkeimmistä perunan taudinaiheuttajista. Kasvustot voidaan suojata tehokkaasti PVY-tartunnalta vain kestäviä lajikkeita käyttämällä, sillä PVY:n leviämisen estäminen sitä levittävien kirvojen torjumisella on tehotonta. Kasviviruksen geenejä voidaan käyttää kestävyuden lähteenä siirtogeenisissä kasveissa. Myös PVY:ta kestäviä perunalajikkeita on tuotettu tällä tavoin käyttämällä PVY:n kuoriproteiinia, replikaasia, proteinaasia ja P1-proteiinia tuottavia geenejä. Useimmissa tapauksissa kestävyys perustuu siirtogeenin lähetti-RNA:han tarkoin kohdistuvasta hajotusmekanismista, nk. transkription jälkeisestä geeninhiljentämisestä (*post-transcriptional gene silencing*). Tämä mekanismi tunnistaa ja hajottaa myös viruksen, koska sen RNA:sta muo-

dostuvasta genomissa on siirtogeeniä vastaava geenialue. Geeninhiljentäminen liittyy myös kasvien luonnolliseen viruskestävyyteen. Toisaalta viruksilla on havaittu olevan kyky estää geeninhiljentämiseen perustuvan kestävyysmekanismin toiminta. Vaihtokuorisuus, siirtogeenin lähetti-RNA:n osien siirtyminen viruksen perintöaineeseen (rekombinaatio), sekä siirtogeenin tuottaman virusproteiinin kyky lisätä kasvia tartuttavan viruksen leviämistä kasvilla tai oireiden ankaruutta (synergia), ovat mahdollisia riskejä, jotka liittyvät virusgeenien käyttöön siirtogeenisissä kasveissa. Näitä riskejä voidaan vähentää käyttämällä siirtogeeniä, jotka eivät tuota proteiinia tai joista on poistettu proteiinin toiminnan kannalta tärkeät osat.

Avainsanat: peruna, Solanum tuberosum, kasvitaudit, virustaudit, geenit, resistenssi, geeninhiljentäminen, patogeenivälitteinen resistenssi, potyvirus

Viral genes as a source of resistance to PVY in transgenic plants

Abstract

Potato virus Y (PVY) is one of the most significant pathogens affecting potato in Finland. PVY is transmitted by aphid vectors in a non-persistent manner and, therefore, effects to control PVY by killing the aphids with chemical sprays are not effective. The most efficient way to control PVY is by breeding resistant cultivars. Since the concept of pathogen-derived resistance (PDR) was proposed in 1985, genetic transformation of plants to express virus-derived sequences has been used to engineer resistance to many viruses, including PVY. Most of the examples of PDR to PVY are based on specific degradation of the trans-

genic mRNA, namely post-transcriptional gene silencing (PTGS). PTGS is also part of the natural protection of plants against virus infections, but viruses have evolved ways of suppressing the PTGS. Specific risks associated with transgenic plants carrying viral gene sequences are heterologous encapsidation, recombination, and synergism with viruses that infect the resistant transgenic plant. These risks can be avoided by using viral gene sequences that do not encode proteins, and by removing functional motifs from the viral sequence used as a transgene.

Key words: potato, Solanum tuberosum, plant diseases, plant viruses, genes, resistance, genetic transformation, potyvirus, transgenic plant, virus resistance

Perunan Y-virus ja sen merkitys taudinaiheuttajana

Perunan Y-virus (PVY) (Potyvirus) aiheuttaa merkittäviä satotappioita Solanaceae-heimon kasveissa, kuten perunassa, tomaatissa, tupakassa ja paprikassa. Taudin ankaruuteen kasvissa vaikuttavat mm. PVY:n rotu, kasvin kestävyysominaisuudet, infektoitumisaika sekä ympäristöolosuhteet. Perunalla PVY aiheuttaa 20–80 %:n satotappioita. Perunan Y-virus jaetaan neljään eri rotuun niiden perunaan aiheuttamien oireiden perusteella sekä niiden eri perunalajikkeisiin aikaansaamien roturyhmäspesifisten yliherkkyysovasteiden ilmenevän perusteella. PVY^O-, PVY^C- ja PVY^Z-roturyhmät aiheuttavat tupakassa mosaiikkioireet ja PVY^N nekroosioireet. PVY^N jaetaan lisäksi alaryhmään PVY^{NTN}, johon kuuluvat ne isoalatit, jotka aiheuttavat perunan mukuloissa nekroosioireet (Shukla 1994, Valkonen et al. 1996). Suomessa PVY^N on yleisempi kuin PVY^O, mutta muualla Euroopassa PVY^O on yleisempi (Kurppa 1983, De Bokx & Want 1987).

Koska PVY leviää kirvojen välityksellä pysymättömällä tavalla, on sen leviämisen estäminen kirvoja torjumalla kemiallisin ruiskutuksin tehontonta. Myös mineraaliöljyriskutukset kirvojen torjumiseksi ovat estäneet vain osittain PVY:n leviämistä (Tiilikkala 1987). Suomessa PVY on yksi merkittävimmistä perunan taudinaiheuttajista (Kurppa 1983, Tapio et al. 1997). Suurin osa Suomessa viljeltävistä perunalajikkeista on alttiita PVY:lle tai kestävyys on vain tietyille PVY:n roturyhmälle (Valkonen & Mäkäraäinen 1993, Valkonen & Palohuhta 1996). Siten PVY-kestävyyden kehittämisellä eri perunalajikkeisiin on taloudellista merkitystä.

Luonnonvaraisissa ja viljellyissä perunalajeissa olevia PVY:n kestävyysgeenejä käytetään perunanjalostusohjelmissa (Rokka 1998). Lisäksi PVY:n kestävyysgeenien

paikantamisella voidaan edelleen tarkentaa jalostustyötä esimerkiksi käyttämällä kestävyysgeenien kanssa segregoivia DNA-palasia markkereina (Sorri et al. 1999). Tulevaisuudessa luonnollisten PVY:n kestävyysgeenien eristäminen tehostaa PVY-kestävyyden jalostusta, sillä näitä geenejä voidaan siirtää eri perunalajikkeisiin ja myös tupakkaan, tomaattiin sekä paprikaan PVY-kestävyyden tuottamiseksi.

Geenitekniikan avulla kasveihin voidaan siirtää myös muita kuin kasvien omia kestävyysgeenejä PVY-kestävyyden tuottamiseksi. Virusten omia geenejä on siirretty kasveihin viruskestävyyden tuottamiseksi jo hieman yli kymmenen vuoden ajan. Menetelmä perustuu Sanford & Johnstonin vuonna 1985 esittämään teoriaan ”parasiitivälitteinen resistenssi” (engl. *parasite-derived resistance*), joka myöhemmin vakiintui nimitykseksi ”patogeenivälitteinen resistenssi”. Teorian mukaan parasiitin omien geenien ilmentäminen kasvissa tuottaa kestävyden kyseessä olevaa parasiittia vastaan. Useita viruksia vastaan on jo tuotettu kestävyys käyttämällä viruksen geenejä kestävyden lähteenä (Lindbo et al. 1993, Mäki-Valkama & Valkonen 1999). Kestävyys saattaa ilmetä täydellisenä kestävytenä virusinfektiota vastaan, vähäisenä viruspitoisuutena ja oireettomuutena tai oireiden hitaampana kehittymisenä ja lievempinä oireina. Koska jo hyvin monia erilaisia virusten geenejä tai geenien osia käyttämällä on saatu kestävyyttä virustauteja vastaan, on hyvin todennäköistä, että minkä tahansa virussekvenssin siirtämisellä kasviin voidaan saada aikaan ainakin jonkinasteinen kestävyys virukselle.

Patogeenivälitteinen resistenssi perunan Y-virukselle

Myös perunan Y-virusta kestäviä kasveja, lähinnä tupakkaa ja perunaa, on tuotettu ilmentämällä PVY:n kuoriproteiinia

(Lawson et al. 1990, Kaniewski et al. 1990), replikaasia (Audy et al. 1994), proteinaasia (Vardi et al. 1993) ja P1-proteiinia (Pehu et al. 1995) tuottavia geenejä siirtogeenisissä kasveissa. Kestävyyttä on myös saatu muokkaamalla edellä mainittuja geenejä siten, että ne eivät pysty tuottamaan siirtogeeniproteiinia (engl. *untranslatable*) (Vlugt et al. 1992) tai koko geeni on käännetty väärin päin (engl. *antisense*) (Mäki-Valkama et al. 1999). Lisäksi on ilmennetty viruksen geeniä sekä oikein- (engl. *sense*) että väärinpäin samanaikaisesti siirtogeenisessä kasvis-
sa (Waterhouse et al. 1998).

PVY:n kuoriproteiinia (CP) on käytetty kestävyyden lähteenä sekä perunassa että tupakassa. Kuoriproteiinin avulla on tuotettu PVY-kestävyys mm. perunalajikkeissa Russet Burbank, Russet Norkotah, Bintje, Folva, Shepody ja Norchip. PVY:n ei-rakenneproteiineista replikaasia ja proteinaasia on käytetty PVY-kestävyyden tuottamiseksi tupakassa ja P1-proteiinia suomalaisessa Pito-perunalajikkeessa (Mäki-Valkama & Valkonen 1999).

Sekä kuoriproteiinin että ei-rakenneproteiinien käyttö on aina tuottanut kestävyyden vain PVY:ta vastaan. Joskus kestävyys on toiminut vain sen PVY-roturyhmän isolaatteja vastaan, josta siirtogeeni oli peräisin, mutta useissa tapauksissa kuoriproteiinin käytöllä on saatu kestävyttä myös useampaa PVY:n rotua vastaan. Ei-rakenneproteiinien käyttö on yleensä tuottanut rotuspesifisen kestävyyden, esimerkiksi PVY^O:n P1-geenillä transformoitu Pito-peruna on kestävä vain PVY^O-roturyhmälle (Pehu et al. 1995, Mäki-Valkama et al. 1999).

Viruskestävien siirtogeenisten perunoiden kenttäkokeiden tuloksista, kuten satoja viruskestävyydestä on raportoitu hyvin vähän. Muutamassa kenttäkokeessa viruskestävyyden on kuitenkin havaittu pysyvän myös kenttäolosuhteissa (Kaniewski et al. 1990, Malnoë et al. 1994, Mäki-Valkama et al., julkaisematon tieto).

Kestävyttä PVY:lle on tuotettu myös käyttämällä joko toisen potyvirusen tai kokonaan toiseen virussukuun kuuluvan vi-

ruksen geenejä. Esimerkiksi, kun soijapavun mosaiikkiviruksen (Potyvirus) kuoriproteiinia ilmennettiin, tupakassa saatiin kestävyys PVY:lle. Kestävyys näkyi oireiden hitaampana ilmenemisenä ja oireiden lieventymisenä. Kestävyys kuitenkin murtui, kun kasvit infektoitiin suuremmalla viruspitoisuudella. Perunan kierreltisyysviruksen (Polerovirus) toimimattoman liikeproteiinigeenin siirtäminen Linda-perunalajikkeeseen tuotti kestäväyden myös PVY^O:lle (Mäki-Valkama & Valkonen 1999).

Siirtogeenisen viruskestävyyden mekanismi

Siirtogeenisen viruskestävyyden mekanismi jaetaan kahteen ryhmään: proteiinivälitteeseen ja RNA-välitteeseen. Proteiinivälitteellä kestävyysmekanismilla tarkoitetaan, että kestävyteen vaaditaan siirtogeenin ilmentyminen proteiinina ja RNA-välitteellä kestävyysmekanismilla vastaavasti, että kestävyteen riittää siirtogeenin ilmeneminen lähetti-RNA:na.

Kuoriproteiinin käyttö viruskestävyyden lähteenä siirtogeenisissä kasveissa voi perustua joko proteiini- tai RNA-välitteeseen kestävyysmekanismiin. Proteiini-välitteiselle kestävyysmekanismille on tyypillistä, että viruskestävyys korreloi siirtogeeniproteiinin tuoton kanssa. Lisäksi kuoriproteiinivälitteiselle kestävyydelle on tyypillistä, että se murtuu, kun kasvit infektoidaan suuremmalla viruspitoisuudella. Kuoriproteiinivälitteisen kestäväyden mekanismi liittyy viruksen nukleinihapon vapautumisen estymiseen suojaavasta proteiini-kuoristaan (Mäki-Valkama & Valkonen 1999).

Toimimattomien liikeproteiinien käyttö kestäväyden lähteenä perustuu siihen, että virusten liikkuminen kasvissa on kaikille viruksille tyypillistä ja hyvin samankaltaista. Virukset liikkuvat kasvissa solusta soluun

plasmodesmien kautta sekä kasvinosasta toiseen johtojänteitä pitkin. Useat viruksen proteiinit, esimerkiksi liikeproteiini, osallistuvat viruksen liikkumiseen kasvilla. Liikeproteiinin muokkaamisen toimimattomaksi ja kasviin siirtämisen ajatellaan häiritsevän viruksen liikkumista kasvilla, koska nämä toimimattomat liikeproteiinit häiritsevät ja kilpailevat samoista isäntäkasvin tekijöistä, joita virus tarvitsee liikkumiseen (Mäki-Valkama & Valkonen 1999).

Suurin osa virusgeenien käytöstä kestävyiden lähteenä perustuu kuitenkin RNA-välitteiseen mekanismiin. RNA-välitteiselle resistenssille on tyypillistä, että kasvit ovat äärimmäisen kestäviä virukselle ja kestävyys on virus- tai virusrotuspesifistä. Lisäksi kestävyys korreloi alhaisen siirtogeenin lähetti-RNA:n tuoton kanssa. RNA-välitteinen kestävyysmekanismi perustuu siirtogeenin lähetti-RNA:han tarkoin kohdistuvasta hajotusmekanismista, nk. transkription jälkeisestä geenihiljentymisestä. Tämä hajotusmekanismi on nukleiinihappospesifistä eli vain siirtogeenin lähetti-RNA:n kanssa samanlaiset RNA:t voivat joutua kyseisen hajotuksen kohteeksi. Koska infektoiva virus sisältää RNA:sta koostuvassa genomissaan siirtogeeniä vastaavan geenialueen, se joutuu myös vastaavan hajotuksen kohteeksi (Dougherty & Parks 1995).

Geenihiljentyminen on ilmiö, joka ei pelkästään rajoitu siirtogeenisiin kasveihin, vaan se on tapa, jolla kasvit säätelevät geenien ilmentymistä sekä poistavat viallisia lähetti-RNA-molekyylejä. Lisäksi geenihiljentyminen liittyy kasvien luonnolliseen virustautien kestävyYTEEN. Kasvien taudinkestävyysgeenit, jotka tunnistavat viruksia, aiheuttavat saman geenihiljentymisilmiön käynnistymisen kasvilla, mikä johtaa kasvin toipumiseen virustartunnasta. Uusien tutkimustulosten mukaan kasvivirusilla on todettu olevan kyky estää geenihiljentymiseen perustuvaa kestävyysmekanismia (Mäki-Valkama & Valkonen 1999).

Patogeenivälitteisen resistenssin riskit siirtogeenisessä perunassa

Virusgeenien käytön riskit siirtogeenisessä perunassa voidaan jakaa kahteen osaan: riskeihin, jotka liittyvät perunan käyttöön siirtogeenisenä kasvina ja riskeihin, jotka liittyvät siirrettyyn ominaisuuteen.

Peruna on suhteellisen turvallinen kasvilaji siirtogeenisenä kasvina. Sen ei ole todettu kenttäolosuhteissa risteytyvän läheisten sukulaiskasviensa kanssa (Dale 1992) eikä viljelyn perunan ole todettu villiintyvän luontoon. Lisäksi monissa perunalajikkeissa on erilaisia risteytymisestä, kuten ennaikaista kukkien surkastumista, kykenemättömyyttä siitepölyn tuottoon, hedelmättömyyttä tai itsepölytteisyyttä, jotka vähentävät siirtogeenisen perunan risteytymistä tavallisen perunalajikkeen kanssa kentällä. Perunan siitepölyn kulkeutumismatka kentällä on hyvin lyhyt, useimmiten alle 10 metriä (Conner & Dale 1996), minkä huomioimisella siirtogeenisiä ja tavallisia perunalajikkeita viljeltäessä voidaan edelleen pienentää ristiin pölyttymisen mahdollisuutta.

Riskit, jotka liittyvät virusgeenien käyttöön siirtogeenisissä kasveissa ovat vaihtokuorisuus, siirtogeenin lähetti-RNA:n osien siirtyminen infektoivan viruksen perintöaineeseen (rekombinaatio), sekä siirtogeenin tuottaman virusproteiinin kyky lisätä kasvia tartuttavan viruksen leviämistä kasvilla tai oireiden ankaruutta (synergia) (Tepher 1993, Mäki-Valkama & Valkonen 1999). Todennäköisyys, että jokin edellä mainituista riskeistä tapahtuisi, riippuu viruksista, viljeltävästä lajikkeesta ja virusgeenistä, joka kasviin siirretään sekä viljely-ympäristössä esiintyvistä viruksista ja niitä levittävästä vektoreista.

Vaihtokuorisuudella tarkoitetaan, että toisen viruksen genomi pakkautuu osaksi tai kokonaan toisen viruksen tai virusisolain tuottamiin kuoriproteiineihin. Siirto-geenisen kasvin kohdalla sillä tarkoitetaan, että kasvin infektoinut virus käyttää siirto-geeninä tuotettuja kuoriproteiiniyksiköitä osaksi tai kokonaan genominsa pakkaamiseen. Vaihtokuorisuus voidaan estää käyttämällä sellaisia kuoriproteiineja, jotka eivät pysty tuottamaan kuoriproteiinia. On huomattava, että vaihtokuorisuus ei ole geneettinen muutos, koska viruksen genomissa ei tapahdu mitään muutosta (Tepher 1993).

Synergia eli toisen viruksen suurempi konsentraatio tai sen aiheuttamien oireiden voimistuminen on sekainfektioissa tapahtuva ilmiö. Esimerkiksi perunan X-viruksen konsentraatio on suurempi, jos kasvi on samanaikaisesti saastunut PVY:lla (Vance et al. 1995). Siirtogeenisissä kasveissa synergivaikutusta voidaan estää käyttämällä siirtogeeninä sellaisia virusgeenejä, jotka eivät liity synergian muodostumiseen.

Rekombinaatiota tapahtuu luonnossa koko ajan, sillä se on eräs tapa, jolla syntyy uusia viruksia tai virusrotuja. Monissa virus-suvuissa on todettu luonnossa rekombi-

nantteja, myös PVY:lla (Revers et al. 1996). Rekombinaatio on viruksen genomissa tapahtuva muutos ja rekombinanttiviruksen yleistymisen riippuu syntyneistä ominaisuuksista. Rekombinaatio voi tapahtua myös siirtogeenisessä kasvilla, jolloin sillä tarkoitetaan siirtogeeninä tuotetun lähetti-RNA:n rekombinoitumista infektoivan viruksen kanssa. Siirtogeenin ja infektoivan viruksen rekombinaation on todettu tapahtuvan laboratorio-olosuhteissa (Aaziz & Tepher 1999). Siirtogeenisten kasvien rekombinaatiota voidaan estää käyttämällä geenihiljentymiseen perustuvaa mekanismia kestävyuden lähteenä. Koska geenihiljentymisen on nukleiinihappospesifistä, voidaan ajatella, että rekombinantti-virus, joka on vastaanottanut siirtogeenin lähetti-RNA:n genomiinsa, joutuu vastaavan RNA-hajotuksen kohteeksi.

Kiitokset

Kiitän Suomen Akatemiaa (hankkeet 27112 ja 40859) ja August Johannes ja Aino Tiuran Maatalouden Tutkimuksen Säätiötä väitöskirjatyöni "*Potato virus Y P1 gene mediated resistance in potato*" rahoituksesta.

Kirjallisuus

Aaziz, R. & Tepher, M. 1999. Recombination in RNA viruses and in virus-resistant transgenic plants. *Journal of General Virology* 80: 1339–1346.

Audy, P., Palukaitis, P., Slack, S.A. & Zaitlin, M. 1994. Replicase-mediated resistance to potato virus Y in transgenic tobacco plants. *Molecular Plant-Microbe Interactions* 7: 15–22.

Conner, A.J. & Dale, P.J. 1996. Reconsideration of pollen dispersal data from field trials of transgenic potatoes. *Theoretical and Applied Genetics* 92: 505–508.

Dale, P.J. 1992. Spread of engineered genes to wild relatives. *Plant Physiology* 100: 13–15.

De Bokx, J.A. & Want, J.P.H. van der 1987. Viruses of potatoes and seed-potato production. PUDOC, Wageningen. 259 p.

Dougherty, W.G. & Parks, T.D. 1995. Transgenes and gene suppression: telling us something new? *Current Opinion in Cell Biology* 7: 399–405.

Kaniewski, W., Lawson, C., Sammons, B., Haley, L., Hart, J., Dealnay, X. & Tumer N.E. 1990. Field resistance of transgenic Russet Burbank potato to

effects of infection by potato virus X and potato virus Y. *Biotechnology* 8: 750–754.

Kurppa, A. 1983. Potato viruses in Finland and their identification. *Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland* 55: 183–300.

Lawson, C., Kaniewski, W., Haley, L., Rozman, R., Newell, C., Sanders, P. & Tumer, N.E. 1990. Engineering resistance to mixed virus infection in a commercial potato cultivar: Resistance to potato virus X and potato virus Y in transgenic Russet Burbank. *Biotechnology* 8: 127–134.

Lindbo, J.A., Silva-Rosales, L. & Dougherty, W.G. 1993. Pathogen derived resistance to potyviruses: working, but why? *Seminars in Virology* 4: 369–379.

Malnoë, P., Farinelli, L., Collet, G.F. & Reust, W. 1994. Small-scale field tests with transgenic potato, cv. Bintje, to test resistance to primary and secondary infections with potato virus Y. *Plant Molecular Biology* 25: 963–975.

Mäki-Valkama, T., Pehu, T., Santala, A., Valkonen, J.P.T., Koivu, K., Lehto, K. & Pehu, E. 1999. High level of resistance to potato virus Y by expressing P1 sequence in antisense orientation in transgenic potato. *Molecular Breeding* (in press).

– & **Valkonen, J.P.T.** 1999. Pathogen derived resistance to potato virus Y: mechanisms and risks. *Agricultural and Food Science in Finland* (in press).

Pehu, T.M., Mäki-Valkama, T.K., Valkonen, J.P.T., Koivu, K.T., Lehto, K.M. & Pehu, E.P. 1995. Potato plants transformed with a potato virus Y P1 gene sequence are resistant to PVY^O. *American Potato Journal* 72: 523–532.

Revers, F., Le Gall, O., Candresse, T., Le Romancer, M. & Dunez, J. 1996. Frequent occurrence of recombinant potyvirus isolates. *Journal of General Virology* 77: 1953–1965.

Rokka, V.-M. 1998. Androgenic haploidization and interspecific and intraspecific somatic hybridization in potato germplasm development. Department of Plant Production, University of Helsinki. 62 p. Academic dissertation.

Sanford, J.C. & Johnston, S.A. 1985. The concept of parasite-derived resistance: deriving resistance genes from parasite's own genome. *Journal of Theoretical Biology* 113: 395–405.

Shukla, D.D., Colin, W.W. & Brunt, A.A. 1994. *The Potyviridae*. University Press, Cambridge, United Kingdom, 516 p.

Sorri, V.A., Watanabe, K.N. & Valkonen, J.P.T. 1999. Predicted kinase 3a motif of a resistance gene analogue as a unique marker for potyvirus resistance. *Theoretical and Applied Genetics* 99: 164–170.

Tapio, E., Bremer, K. & Valkonen, J.P.T. 1997. Viruses and their significance on agricultural and horticultural crops in Finland. *Agricultural and Food Science in Finland* 6: 323–336.

Tepher, M. 1993. Viral genes and transgenic plants. *Biotechnology* 11: 1125–1132.

Tiilikkala, K. 1987. Perunan Y-viroosin torjunta mineraaliöljyllä. Kasvipatologian laitos, Helsingin yliopisto. 22 p. Pro gradu –työ.

Valkonen, J.P.T., Jones, R.A.C., Slack, S.A. & Watanabe, K.N. 1996. Resistance specificities to viruses in potato: standardization of nomenclature. *Plant Breeding* 115: 433–438.

– & **Mäkäräinen, E.** 1993. Symptom expression and accumulation of potato virus Y (PVY-O) and potato leaf roll virus in thirteen potato cultivars. *Agricultural Science in Finland* 2: 33–40.

– & **Palohuhta, J.P.** 1996. Resistance to potato virus A and potato virus Y in potato cultivars grown in Finland. *Agricultural and Food Science in Finland* 5: 57–62.

Vance, V.B., Berger, P.H., Carrington, J.C., Hunt, A.G. & Shi, X.M. 1995. 5' proximal potyviral sequences mediate potato virus X/potyviral synergistic disease in transgenic tobacco. *Virology* 206: 583–590.

Vardi, E., Sela, I., Edelbaum, O., Livneh, O., Kuznetsova, L. & Stram, Y. 1993. Plants transformed with a cistron of a potato virus Y protease (N1a) are resistant to virus infection. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 90: 7513–7517.

Vlugt, R. van der, Ruiter, R.K. & Goldbach, R. 1992. Evidence for sense RNA-mediated protection to PVY^N in tobacco plants transformed with the viral coat protein cistron. *Plant Molecular Biology* 20: 631–639.

Waterhouse, P.M., Graham, M.W. & Wang, M.-B. 1998. Virus resistance and gene silencing in plants can be induced by simultaneous expression of sense and antisense RNA. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 95: 13959–13964.

Mustaherukan suonenkatotaudin aiheuttajan löytyminen ja määrittäminen PCR-tekniikalla

Anne Lemmetty¹⁾ Satu Latvala-Kilby²⁾, Petri Susi²⁾,
Tuomo Tuovinen¹⁾ & Kirsi Lehto²⁾

¹⁾ Maatalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, Kasvinsuojelu, 31600 Jokioinen,
anne.lemmetty@mtt.fi, tuomo.tuovinen@mtt.fi

²⁾ Turun yliopisto, Biologian laitos, Kasvifysiologian ja molekyylibiologian laboratorio, 20014
Turun yliopisto, satu.latvala@utu.fi, petri.susi@utu.fi, kirsi.lehto@utu.fi

Suonenkatotauti (reversion disease of blackcurrant) on mustaherukan merkittävin virustauti kaikkialla, missä mustaherukkaa viljellään. Tauti leviää herukan äkämäpunkin (*Cecidophyopsis ribis*) ja sairaan lisäysaineiston välityksellä. Tauti tunnettiin oireiden perusteella jo 1900-luvun alussa Hollannissa, mutta tutkimuksista huolimatta taudinaiheuttaja pysyi tuntemattomana, ja taudin tunnistaminen sairaista kasveista oli ongelmallista. Suonenkatotautisesta mustaherukasta eristettiin vuonna 1990 virus, ja molekyyllitasoisen karakterisoinnin perusteella virus osoittautui uudeksi, nepo-ryhmään kuuluvaksi virukseksi. Määritetyn virusseksenssin perusteella vi-

rukselle kehitettiin PCR-menetelmään perustuva määrittämenetelmä, ja tämän menetelmän avulla havaittiin viruksen säännönmukaisesti liittyvän suonenkatotautiin. Takaisin-inokulaatio -kokeen avulla lopulta osoitettiin, että virus on suonenkatotaudin aiheuttaja, ja virus nimettiin mustaherukan suonenkatovirukseksi (Blackcurrant reversion virus, BRV). PCR-määrittämenetelmällä tehtyjen testausten perusteella on havaittu, että virus esiintyy yli puolessa satunnaisesti valituista kotipuutarhan mustaherukkanäytteistä; sen sijaan ammattiviljelmiltä satunnaisesti kerätyistä näytteistä virus havaittiin noin 5 %:ssa testattuja näytteitä.

Avainsanat: mustaherukka, Ribes nigrum, kasvitaudit, virustaudit, IC-RT-PCR, nepovirus, suonenkatotauti, äkämäpunkki

A PCR technique for detecting the causal agent of blackcurrant reversion disease

Abstract

Reversion is the most serious virus-like disease infecting blackcurrant crops worldwide. In nature the causal agent of the disease is transmitted by the blackcurrant gall mite (*Cecidophyopsis ribis*) and reverted planting material. The causal agent of reversion disease has remained uncharacterised until now and the only available method to diagnose the disease has been graft inoculation.

This paper reviews the isolation of a new nepo-type virus from reverted blackcurrant, the successful back-inoculation of the purified virus to healthy blackcurrant and the development of a sensitive detection method for blackcurrant reversion virus from *Ribes* tissue.

Key words: blackcurrant, Ribes nigrum, plant diseases, plant viruses, eriophyid mites, IC-RT-PCR, nepovirus, reversion

Johdanto

Suonenkatotautia esiintyy kaikkialla, missä mustaherukkaa viljellään. Oireiden perusteella tauti on pitkään luokiteltu viruksenkaltaisiin tauteihin, vaikka taudinaiheuttajaa ei ole tunnettu (Adams & Thresh 1987). Tunnistettavan taudinaiheuttajan puuttessa suonenkatotaudille ei ole ollut käytävissä spesifisiä tunnistusmenetelmiä ja taudin havaitseminen oireiden perusteella on varsin vaikeaa. Meillä aiemmin tehtyjen havaintojen perusteella tautia kuitenkin esiintyi lähes kaikilla tarkastetuilla herukkaviljelmillä (Bremer & Heikinheimo 1980). Suonenkatotaudin tekee haitalliseksi sen erittäin tehokas leviäminen äkämäpunkkien välityksellä ja sen voimakkaasti satoa alentava vaikutus.

Suonenkatotaudista tunnetaan ainakin kaksi muotoa: lievä ja ankara. Taudin nimi viittaa lehtioireisiin. Mustaherukan suonenkatotautiset lehdet ovat normaalia kapeammat, niiden pääsuonten lukumäärä on vähentynyt, laitahammastus on karkeampaa ja lehden kanta on suora. Ankaran rodun selvin tuntomerkki on kukkaoireet. Sairaiskasveissa on kukkia, joissa on 10–12 terälehteä normaalin viiden sijasta ja heteet puuttuvat. Lievän rodun tartuttamissa penssaissa kukkaoireet eivät ole yhtä selviä, mutta keväällä nuppuvaiheessa näkyy, että nuput ovat kaljuja ja kirkkaanvärisiä (Adams & Thresh 1987, Jones 1995). Suonenkatotaudille herkissä mustaherukkalahikkeissa taudin ensioire on mutkittleva, keltainen juova, joka tavallisesti esiintyy seuraavana vuonna tartunnasta (Thresh 1963, Bremer & Heikinheimo 1980, Bremer 1983). Viivaoire esiintyy vain joissakin lehdissä, jotka helposti peittyvät muiden lehtien alle (Thresh 1963). Suonenkatotauti vähentää mustaherukan satoa ja sadonalennukset riippuvat mm. taudin lievästä tai ankarasta muodosta (Cropley et al. 1964, Thresh 1966, Krczal 1976).

1950-luvulla Massee (1952) osoitti, että tauti leviää äkämäpunkin (*Cecidophyopsis ribis* Westv.) välityksellä. Nykyään *Cecidophy-*

opsis-lajeja on tunnistettu maailmalla ainakin viisi ja jokainen näyttäisi olevan erikoistunut johonkin *Ribes*-lajiin (Amrine et al. 1994). Koska suonenkatotaudin muilla isäntäkasveilla, taikinamarjalla ja pohjanpunaherukalla (Bremer & Heikinheimo 1980), on myös omat punkkilajinsa, on mahdollista, että suonenkatotauti leviää myös muiden punkkien kuin mustaherukkaan erikoistuneen *C. ribis*-lajin välityksellä. Kokeellisesti suonenkatotauti leviää ympäällä sairaa oksaa terveeseen kasviin.

Taudinaiheuttajan tuntemattomuus on ollut esteenä nopean testausmenetelmän kehittymiselle. Taudin ainoa kansainvälinen testautapa on tutkittavan kasvin oksan ympäys herkkään testilajikkeeseen, joita ovat Baldwin ja Öjebyn. Näissäkin testikasveissa oireiden esilletulo voi kuitenkin viedä jopa kaksi vuotta (Adams & Thresh 1987).

Suonenkatotaudin aiheuttajan eristäminen ja karakterisointi

Kesällä 1990 juurrutettiin Maatalouden tutkimuskeskuksessa (MTT) Jokioisilla ruohomaisia pistokkaita skotlantilaisesta mustaherukkajalosteesta P9/5/1, jossa esiintyi suonenkatotaudin ankaran rodun kukkaoireet. Juurrutuksen yhteydessä oireettomiin lehtiin kehittyivät erittäin selkeät viivakuviot ja rengasmaiset laikut. Kyseisistä kasveista tehtiin lukuisia mehusiirroksia ruohovartiseen testikasviin, savikkaan (*Cbenopodium quinoa* Willd.) ja yksi siirrostus onnistui. Tuntematon virus lisättiin savikkaan ja puhdistettiin käyttäen Frisonin ja Stace-Smithin (1992) menetelmää pienin muunnoksien. Virus karakterisoitiin ja se osoittautui ominaisuuksiltaan uudeksi, nepotyypiseksi virukseksi (Lemmetty et al. 1997).

Viruspartikkelit ovat muodoltaan isometrisiä ja halkaisijaltaan 27 nm. Kuoripro-

teiniin koko on 57,5 kDa (Latvala et al. 1998). Viruksen genomi koostuu kahdesta yksinauhaisesta, poly-A-häntäisestä RNA:sta, joiden koot ovat 7700 nt ja 6400 nt (Lemmetty et al. 1997, Latvala-Kilby & Lehto 1999). Virukseen liittyy myös satelliitti-RNA (Latvala-Kilby et al. 1999).

Löydetyn viruksen osoittamiseksi suonenkatotaudin aiheuttajaksi tuli toteuttaa Kochin postulaatit, eli inokuloida virus takaisin terveisiin kasveihin ja aiheuttaa niissä kyseinen tauti. Eristetyn viruksen mekaaninen inokulointi puuvartiseen kasviin on varsin ongelmallista, eikä lehtien suora inokulointi lukuisista yrityksistä huolimatta onnistunut. Inokulointi onnistui lopulta viiltomenetelmää käyttäen solukkolisätyihin mustaherukan taimiin syksyllä 1996. Maaliskuussa 1997 nähtiin ensimmäiset kirjallisuudessa kuvatut suonenkatotaudin ensioireet eli keltainen mutkittileva juova inokuloiduissa kasveissa. PCR-testaus vahvisti kyseessä olleen saman inokuloidun viruksen. Positiivinen takaisin-inokulointi-koee vahvisti, että kyseessä on suonenkatotaudin aiheuttaja ja tämän perusteella virus nimettiin mustaherukan suonenkatovirukseksi (Blackcurrant reversion virus, BRV) (Lemmetty & Lehto 1999).

Viruksen diagnostiikan kehittämisessä on sovellettu immuno-capture reverse transcription PCR (IC-RT-PCR) -menetelmää,

joka perustuu Nolascon et al. (1993) menetelmään pienin muunnoksin. Virusspesifiset alukkeet sijaitsevat RNA:n 3'päähän eikoodaavalla alueella. Spesifisen vasta-aineen avulla virus konsentroidaan kasvimehunäytteestä. Testin avulla virus on tunnistettu lukuisista lievän ja ankaran muodon positiivisista näytteistä eri puolilta maailmaa (Lemmetty et al. 1997, Lemmetty et al. 1998). Virus on myös tunnistettu herukan äkämäsilmusta eristetyistä äkämäpunkeista ja viruksen luonnonvaraisista isäntäkasveista (Latvala et al. 1997). Satunnaisesti valituista 55 mustaherukanäytteestä eri kotipuutarhoista noin 60 % on todettu suonenkatoviruksen tartuttamaksi, kun taas noin 300:sta ammattiviljelmiltä satunnaisesti kerätyistä näytteistä virus löydettiin PCR-menetelmällä 5 %:ssa näytteistä.

Eräs virustutkimukseen liittyvä keskeinen kysymys on selvittää virusisolaattien välistä vaihtelua ja erityisesti sitä, mitkä tekijät vaikuttavat erilaisiin virusoireisiin. Tämän selvittämiseksi on vertailtu eri virusisolaattien sekvenssejä; vertailu on toistaiseksi rajoittunut virusgenomin 3' -päähän alueelle. Tällä alueella isolaattien välillä esiintyy satunnaisia eroavaisuuksia sekvenssissä, mutta niiden sekvenssihomologia on kuitenkin ilmeinen (Lemmetty et al. julkaisematon tieto).

Kirjallisuus

Adams, A.N. & Thresh, J.M. 1987. Reversion of blackcurrant. In: Converse, R.H. (ed.). Virus diseases of small fruits. Agriculture Handbook number 631. Corvallis, Oregon, USA: United States Department of Agriculture. p.133–136.

Amrine, J.W., Duncan, G.H., Jones, A.T., Gordon, S.C. & Roberts, I.M. 1994. *Cecidophyopsis* mites (Acari: Eriophyidae) on *Ribes* spp. (Grossulariaceae). International Journal of Acarologia 20(3): 139–168.

Bremer, K. 1983. Viral diseases occurring on *Ribes* species in Finland. Annales Agriculturae Fenniae 22: 104–109.

Bremer, K. & Heikinheimo, O. 1980. Problems of the reversion disease of *Ribes* in Finland. Acta Horticulturae 95: 87–91.

Cropley, R., Posnette, A.F. & Thresh, J.M. 1964. The effects of black-currant yellows virus and a strain of reversion virus on yield. Annals of Applied Biology 54: 177–182.

- Frison, E.A. & Stace-Smith, R.** 1992. Cross-reacting and heterospecific monoclonal antibodies produced against arabis mosaic virus. *Journal of General Virology* 73: 2525–2530.
- Jones, A.T.** 1995. Black currant reversion and its eriophyid mite vector. In: *Proceedings of the International Symposium, Rose Rosette and Other Mite-transmitted Disease agents of Uncertain Etiology*. Iowa State University, Ames, USA, 19-21 May 1994. p. 33–37.
- Krczal, H.** 1976. Investigations on the effects of reversion disease on crop and growth of black currant. *Acta Horticulturae* 66: 91–97.
- Latvala, S., Susi, P., Kalkkinen, N. & Lehto, K.** 1998. Characterization of the coat protein gene of mite-transmitted blackcurrant reversion associated nepovirus. *Virus Research* 53: 1–11.
- , **Susi, P., Lemmetty, A., Cox, S. Jones, A.T. & Lehto, K.** 1997. *Ribes* host range and erratic distribution within plants of black currant reversion associated virus provide further evidence for its role as the causal agent of reversion disease. *Annals of Applied Biology* 131: 283–295.
- Latvala-Kilby, S. & Lehto, K.** 1999. The complete nucleotide sequence of RNA2 of blackcurrant reversion nepovirus. *Virus Research*. In press.
- , **Lemmetty, A. & Lehto, K.** 1999. Molecular characterization of a satellite RNA associated with blackcurrant reversion nepovirus. *Archives of Virology* 144: 1–11.
- Lemmetty, A., Latvala, S., Jones, A.T., Susi, P., McGavin, W.J. & Lehto, K.** 1997. Purification and properties of a new virus from black currant, its affinities with nepoviruses and its close association with black currant reversion disease. *Phytopathology* 87: 404–413.
- & **Lehto, K.** 1999. Successful back-inoculation confirms the role of black currant reversion associated virus as the causal agent of reversion disease. *European Journal of Plant Pathology* 105: 297–301.
- , **Susi, P., Latvala, S. & Lehto, K.** 1998. Detection of the putative causal agent of black currant reversion disease. *Acta Horticulturae* 471: 93–98.
- Massee, A.M.** 1952. Transmission of reversion in black currants. *East Malling Research Station Report for 1951*. p. 162.
- Nolasco, G., de Blas, C., Torres, V. & Ponz, F.** 1993. A method combining immunocapture and PCR amplification in a microtitre plate for detection of plant viruses and subviral pathogens. *Journal of Virological Methods* 45: 201–218.
- Thresh, J.M.** 1963. A vein pattern of black currant leaves associated with reversion disease. *East Malling Research Station Report for 1962*. p. 97–98.
- 1966. *Virus diseases of black currant*. *East Malling Research Station Report for 1965*. p. 158–163.

Öllykasvien resistenssigeenien paikantaminen ja merkkiavusteinen valinta

Pirjo Tanhuanpää

Maatalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, Peltokasvit ja maaperä, Myllytie 10, 31600 Jokioinen, pirjo.tanhuanpaa@mtt.fi

Taudinkestävyyssjalostuksessa voidaan soveltaa merkkiavusteista valintaa. Tällöin kasveja ei tarvitse saastuttaa taudinaiheuttajalla, vaan kestävät yksilöt tunnistetaan geenimerkin perusteella. Tutkimuksen tarkoituksena oli paikantaa rypsin kalkkihomeen (aiheuttaja *Albugo candida*) kestävyysgeenin vaikuttava geeni käyttäen BSA-menetelmää (Bulked Segregant Analysis) sekä soveltamalla kestävyysgeenien samankaltaisuutta, resistenssigeenianalogiaa. Lopullisena päämääränä on kehittää geenimerkki kalkkihomekestävyydelle. Aineistona käytettiin F_2 -populaatiota, jonka vanhempina olivat kestävä kevätrypsi ja altis kevätrypsi. F_2 -yksilöiden taudinkestävyys arvioitiin niiden itsepölytysjälkeläisten perusteella. Kestävien kasvien osuus 20 yksilön itsepölytysjälkeläistöissä oli 0–67 %. BSA-menetel-

mää varten tehtiin kestävä ”yhdistelmänäyte” (9 mahdollisimman kestävää kasvia) ja altis ”yhdistelmänäyte” (9 altista kasvia). RAPD-geenimerkkien olemassaoloa tutkittiin näissä kahdessa näytteessä 400 alukkeiden avulla, mutta yhtään mahdollisesti kalkkihomeen kestävyysgeeniin liittyvää merkkiä ei löytynyt. Useita muita taudinkestävyysgeenejä on aikaisemmin eristetty ja sekvensoitu. Niistä on löydetty samankaltaisia alueita, vaikka geenit olisivat peräisin eri lajeilta tai kestävyys kohdistuisi erilaisiin tauteihin. Tätä taudinkestävyysgeenien samankaltaisuutta soveltaen rypsilta löydettiin kuusi erilaista mahdollista taudinkestävyysgeeniä, joissa kaikissa on kestävyysgeeneille tyypillisiä säilyneitä alueita. Nyt tutkitaan geenejä ja niiden liittymistä kalkkihomekestävyyteen.

Avainsanat: rypsi, kasvitaudit, taudinkestävyys, geenit, merkki geenit, kalkkihome, merkkiavusteinen valinta, RAPD, resistenssigeenianalogia

Finding the resistance genes of spring turnip rape and their marked-assisted selection

Abstract

When marker-assisted selection is used in resistance breeding there is no need to infect plants with pathogens because resistant individuals are identified on the basis of the existence of a marker. The objective of our work was to design molecular markers for white rust (caused by *Albugo candida*) resistance in spring turnip rape. Bulked segregant analysis (BSA) was used to find RAPD markers linked to the resistance gene and, the sequence information from other resistance genes was used to clone the gene. An F mapping population was raised from the cross between one resistant and one susceptible individual from the breeding material of Boreal Plant Breeding. The white rust reaction was scored in 20 seedlings from the self-pollination of each F individual. The

proportion of resistant plants among these self-pollination progenies ranged from 0% to 67%. Two bulks were constructed from the F progeny: a susceptible bulk (nine individuals with 0% resistant offspring) and a resistant bulk (nine individuals with the highest number of resistant offspring). So far, over 400 RAPD primers have been tested for polymorphism between the bulks but none of them have produced suitable markers. An alternative strategy based on the existence of conserved structures among several resistance genes (resistance gene analogy) has produced six different putative resistance genes. It remains to be seen whether the resistance gene for white rust exists among them.

Key words: spring turnip rape, plant diseases, disease resistance, genes, genetic markers bulked segregant analysis, marker-assisted selection, RAPD, resistance gene analogy, white rust

Johdanto

Merkkiavusteinen valinta on biotekniikkaan perustuva menetelmä, jota voidaan käyttää jalostuksen apuvälineenä. Kun haluttuun jalostettavaan ominaisuuteen vaikuttavan geenin sijainti tiedetään, valinnassa voidaan käyttää geeniä lähellä olevaa geenimerkkiä eikä kyseistä ominaisuutta. Tästä on hyötyä silloin, kun yksilöiden valinta on vaikeaa esim. ominaisuuden ilmetessä myöhään, ajoittain tai vain tietyissä olosuhteissa tai ympäristön vaikuttaessa ominaisuuden ilmenemiseen. Geenimerkki määritetään kasvin DNA:sta, joka voidaan eristää pienestä lehdenpalasta hyvin aikaisessa kasvin kehitysvaiheessa. Ympäristötekijät eivät vaikuta merkin esiintymiseen. Merkkiavusteinen valinta on sitä tehokkaampaa mitä lähempänä geeniä merkki sijaitsee. Taudinkestävyysjalostuksessa kestävät yksilöt voitaisiin tunnistaa geenimerkin avulla ilman saastutusta taudinaiheuttajalla. Merkkiavusteisen valinnan avulla yhteen yksilöön saadaan myös valittua useampia kestävyysgeenejä samaa tai eri tautia vastaan. Perinteisellä jalostuksella tämä on lähes mahdotonta. Lisäksi tieto kestävyysgeenien paikasta ja määrästä on tärkeää kestävyuden periytymisen ja isäntä-taudinaiheuttaja -vuorovaikutuksen ymmärtämisessä.

Merkkiavusteisen valinnan edellytyksenä on, että taudinkestävyysgeeni on paikannettu. Paikantamiseen voidaan käyttää geenikartoitusta tai vähemmän työlästä ja nopeampaa BSA-menetelmää (Bulked Segregant Analysis) (Michelmore et al. 1991). BSA-menetelmässä yhdistetään useiden kestävien ja alttiiden kasvien DNA:ta. Tämän jälkeen tutkitaan geenimerkkien vaihtelua näissä yhdistelmänäytteissä. Sellainen geenimerkki, joka esiintyy vain toisessa näytteessä, sijaitsee mahdollisesti lähellä kestävyysgeeniä. Myös eri taudinkestävyysgeenien samankaltaisuutta, resistenssigeenianalogiaa, voidaan soveltaa uusien kestävyysgeenien etsinnässä. Useita taudinkestäviä

geenejä on jo eristetty ja sekvensoitu (esim. Bent et al. 1994, Lawrence et al. 1996, Whitham et al. 1994). Geeneistä on löytenyt samankaltaisia alueita, vaikka geenit olisivat peräisin eri lajeilta tai kestävyyskohdistuisi eri taudinaiheuttajia vastaan (sieni, bakteeri, virus).

Rypsin (*Brassica rapa* ssp. *oleifera*) merkittävimmät taudit Suomessa ovat möhöjuuri (aiheuttaja *Plasmodiophora brassicae*) ja pahkahome (aiheuttaja *Sclerotinia sclerotiorum*). Valitettavasti rypsin ja rapsin kestävyysgeenejä näihin tauteihin ei ole paikannettu. Kiinankaalin kestävyysgeeni möhöjuurta vastaan on kuitenkin paikannettu (Kuginuki et al. 1997). Sen sijaan kalkkihomeen (aiheuttaja *Albugo candida*), joka on Suomessa alkanut vioittaa rypsiä tällä vuosikymmenellä, kestävyysgeenejä on jo löydetty. Rapsilla (Ferreira et al. 1995) ja rypsilä (Kole et al. 1996) geeni on saatu paikannettua geenikarttaan. Kalkkihome on ristikkukaisiin kasveihin tarttuva taloudellisesti merkittävä tauti, jonka oireina ovat lehdissä, varsissa ja kukinnoissa esiintyvät valkoiset itiöpesäkkeet. Kukinnan aikaan versojen kärjet paisuvat ja vääntyvät epämuotoisiksi. Useimmat lidut jäävät tällöin siemenettömiksi. Joissakin maissa saa viljellä vain kalkkihometta kestäviä öljykasvilajeita. Taudinaiheuttajasienestä esiintyy 10 eri rotua, joiden jako perustuu niiden esiintymiseen eri ristikkukaislajeilla (Pound & Williams 1963, Hill et al. 1988).

Maatalouden tutkimuskeskuksessa etsitään kotimaisista rypsilinjoista kalkkihomeen kestävyysgeenejä soveltaen BSA-menetelmää ja kestävyysgeenien samankaltaisuutta. Lopullisena päämääränä on geenimerkin kehittäminen kalkkihomekestävyydelle.

Aineisto ja menetelmät

Aineistona käytettiin 99 kasvin F₂-populaatiota, joka tuotettiin itsepollyttämällä yksi kalkkihometta kestävä F₁-yksilö risteytyksestä altis kevätrypsi x kestävä kevätrypsi.

F₂-yksilöiden kalkkihomekestävyys arvioitiin itsepölyttämällä kukin yksilö ja tutkimalla 20 tällaisen jälkeläisen taudinkestävyys. Kestävyys todettiin kestävien itsepölytysjälkeläisten prosentuaalisena määränä. Tautitestauksiin käytettiin kahta eri kalkkihomekantaa (7a ja 7v) ja saastutus tehtiin kasvien sirkkalehtiin. Taudinkestävyys arvioitiin 10–14 päivää saastutuksesta.

Kasvien DNA:t eristettiin Dellaportamenetelmällä (Dellaporta et al. 1983). Yhdistämällä DNA:ita tehtiin altis näyte (9 F₂-yksilöä, joilla ei ollut lainkaan kestäviä jälkeläisiä) ja kestävä näyte (9 F₂-yksilöä, joilla oli eniten kestäviä jälkeläisiä). Geenimerkkeinä käytettiin RAPD-geenimerkkejä (Random Amplified Polymorphic DNA) (Williams et al. 1990, Welsh & McClelland 1990), jotka perustuvat PCR-menetelmään (Polymerase Chain Reaction) (Saiki et al. 1985, Mullis & Faloona 1987).

Lisäksi rypsin kalkkihomekestävyysgeenien etsinnässä sovellettiin tietoa kahdesta sekvensoidusta taudinkestävyysgeenistä: tupakan tupakkamosaiikkiviruksen kestävyysgeenistä *N* (Whitham et al. 1994) ja *Arabidopsis thalianan* *Plasmodium syringae*-bakteerin kestävyysgeenistä *RPS2* (Bent et al. 1994). Näiden geenien koodaamat aminohapposekvenssit ovat 50 %:sti samankaltaisia lukuun ottamatta kahta lyhyttä aluetta, joilla aminohapposekvenssit ovat täsmälleen samat. Näiden alueiden perusteella suunniteltiin PCR-alukkeet. Alukkeiden välinen etäisyys on noin 500 emäsparia. Alukkeiden avulla monistettiin kestävästä rypsinvanhemmasta DNA-fragmentti, joka kloonattiin ja 64 kloonია sekvensoitiin.

Tulokset ja niiden tarkastelu

F₂-populaation 99 kasvista 23 oli alttiita kalkkihomeelle. Loppujen 76:n kestävyys vaihteli 5–67 %:iin. Yhtään täysin kestävää kasvia eli sellaista, jonka kaikki 20 itsepölytysjälkeläistä olisivat olleet kestäviä, ei löytynyt. Kasveilla oli runsaasti vaihtelua itiöiden tuoton voimakkuudessa. Tämä osoittaa, että pääasiassa yksi geeni vaikuttaa kestävyYTEEN, mutta on olemassa muita genejä, jotka vaikuttavat itiöiden tuottokyvyn säätelyyn.

Tähän mennessä ei ole löytynyt yhtään kalkkihomekestävyYTEEN kytkeytynyttä RAPD-geenimerkkiä, vaikka yli 400 RAPD- aluketta on jo testattu. Geenimerkkien etsimistä jatketaan edelleen.

Resistenssigeenianalogian avulla on eristetty uusia taudinkestävyysgeenejä esim. perunalta (Leister et al. 1996), soijalta (Kanazin et al. 1996), *A.thalianalta* (Aarts et al. 1998), riisiltä ja ohralta (Leister et al. 1999). Nämä uudet kestävyysgeenit ovat geenikartoissa myös kytkeytyneet tunnettujen taudinkestävyysgeenien läheisyyteen. Rypsistä saatiin taudinkestävyysgeeneihin suunniteltujen alukkeiden avulla monistettua oikean kokoinen DNA-fragmentti, joka kloonattiin. 64 sekvensoitua kloonია jakautui kuuteen erilaiseen tyyppiin. Näissä kaikissa on kestävyysgeeneille tyypillisiä alueita, mutta yksi geeneistä ei ole toimiva, koska se ei pysty koodaamaan yhtenäistä aminohapposekvenssiä. Jokin löydetystä mahdollisista kestävyysgeeneistä saattaa liittyä kalkkihomeeseen, mutta tämä on varmistettava kartoittamalla kukin tyyppi F₂-populaatiossa. Mikäli geeni ja/tai siihen liittyvä geenimerkki löytyy, merkkiavusteista valintaa voidaan tulevaisuudessa käyttää apuna kalkkihomeen kestävyysjalostuksessa. Paitsi kalkkihomeen kestävyysgeeni, löydettyjen mahdollisten taudinkestävyysgeenien joukossa saattaa olla myös muita käyttökelpoisia kestävyysgeenejä.

- Aarts, M.G.M., Hekkert, B.L., Holub, E.B., Beynon, J.L., Stiekema, W.J. & Pereira, A.** 1998. Identification of R-gene homologous DNA fragments genetically linked to disease resistance loci in *Arabidopsis thaliana*. *Molecular Plant-Microbe Interactions* 11: 251–258.
- Bent, A., Kunkel, B., Dahlbeck, D., Brown, K., Schmid, R., Giraudat, J., Leung, J. & Staskawicz, B.** 1994. *RPS2* of *Arabidopsis thaliana*: a leucine-rich repeat class of plant disease resistance genes. *Science* 265: 1856–1860.
- Dellaporta, S.L., Wood, J. & Hicks, J.B.** 1983. A plant DNA miniprep: version II. *Plant Molecular Biology Reporter* 1: 19–21.
- Ferreira, M.E., Williams, P.H. & Osborn, T.C.** 1995. Mapping of a locus controlling resistance to *Albugo candida* in *Brassica napus* using molecular markers. *Phytopathology* 85: 218–220.
- Hill, C.B., Crute, I.R., Sherriff, C. & Williams, P.H.** 1988. Specificity of *Albugo candida* and *Peronospora parasitica* pathotypes toward rapid-cycling crucifers. *Cruciferae Newsletter* 13: 112–113.
- Kanazin, V., Marek, L.F. & Shoemaker, R.C.** 1996. Resistance gene analogs are conserved and clustered in soybean. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 93: 11746–11750.
- Kole, C., Teutonico, R., Williams, P.H. & Osborn, T.C.** 1996. Molecular mapping of a locus controlling resistance to *Albugo candida* in *Brassica rapa*. *Phytopathology* 86: 367–369.
- Kuginuki Y., Ajisaka, H., Yui, M., Yoshikawa, H., Hida, K. & Hirai, M.** 1997. RAPD markers linked to a clubroot-resistance locus in *Brassica rapa* L. *Euphytica* 98: 149–154.
- Lawrence, G.J., Finnegan, E.J., Aycliffe, M.A. & Ellis, J.G.** 1996. The *L6* gene for flax rust resistance is related to the *Arabidopsis* bacterial resistance gene *Rps2* and the tobacco viral resistance gene. *The Plant Cell* 7: 1195–1206.
- Leister, D., Ballvora, A., Salamini, F. & Gebhardt, C.** 1996. A PCR-based approach for isolating pathogen resistance genes from potato with potential for wide application in plants. *Nature Genetics* 14: 421–429.
- , **Kurth, J., Laurie, D.A., Yano, M., Sasaki, T., Graner, A. & Schulze-Lefert, P.** 1999. RFLP- and physical mapping of resistance gene homologues in rice (*O.sativa*) and barley (*H.vulgare*). *Theoretical and Applied Genetics* 98: 509–520.
- Michelmore, R.W., Paran, I. & Kesseli, R.V.** 1991. Identification of markers linked to disease-resistance genes by bulked segregant analysis: a rapid method to detect markers in specific genomic regions by using segregating populations. *Genetics* 88: 9828–9832.
- Mullis, K.B. & Faloona, F.A.** 1987. Specific synthesis of DNA *in vitro* via a polymerase-catalyzed chain reaction. *Methods in Enzymology* 155: 335–350.
- Pound, G.S. & Williams, P.H.** 1963. Biological races of *Albugo candida*. *Phytopathology* 53: 1146–1149.
- Saiki, R.K., Scharf, S., Faloona, F., Mullis, K.B., Horn, G.T., Erlich, H.A. & Arnheim, N.** 1985. Enzymatic amplification of β -globin genomic sequences and restriction site analysis for diagnosis of sickle cell anemia. *Science* 230: 1350–1354.
- Welsh, J. & McClelland, M.** 1990. Fingerprinting genomes using PCR with arbitrary primers. *Nucleic Acids Research* 18: 7213–7218.
- Whitham, S. Dinesh-Kumar, S.P., Choi, D., Hehl, R., Corr, C. & Baker, B.** 1994. The product of the tobacco mosaic virus resistance gene *N*: similarity to toll and the interleukin-1 receptor. *Cell* 78: 1101–1115.
- Williams, J.G.K., Kubelik, A.R., Livak, K.J., Rafalski, J.A. & Tingey, S.V.** 1990. DNA polymorphisms amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. *Nucleic Acids Research* 18: 6531–6535.

Kasvunsäätien kevätiljojen kasvua manipuloimaan

Ari Rajala¹⁾, Michael Jackson²⁾, Marko Onnela¹⁾ & Pirjo Peltonen-Sainio¹⁾

¹⁾ Helsingin yliopisto, Kasvintuotantotieteen laitos, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto, ari.rajala@helsinki.fi, marko.onnela@helsinki.fi, pirjo.peltonen-sainio@helsinki.fi

²⁾ IACR – Long Ashton Research Station, Department of Agricultural Sciences, University of Bristol, BS41 9AF, UK, michael.jackson@bbsrc.ac.uk

Kasvunsäädekäsittelyiden vaikutuksia viljojen juurten kasvuun ei ole kovin laajasti tutkittu. Long Ashtonin tutkimusasemalla Englannissa tehdyissä kokeissa tutkittiin aikaisten kasvunsäädekäsittelyiden (CCC, Cerone, Moddus) vaikutuksia kevätiljojen juuren ja verson etyleenituotantoon (käsittely 2–3 kasvulehtivaiheessa) ja päivittäiseen juurten kasvunopeuteen (käsittely 1–2 kasvulehtivaiheessa). Kokeissa oli mukana

kustakin kevätiljalajista lyhyt- ja pitkäkorkainen lajike. Aikaisessa kasvuvaiheessa normaaleilla ruiskutusväkevyyksillä tehdyt kasvunsäädekäsittelyt vaikuttivat vähän tai ei lainkaan tutkittujen lajikkeiden juurten ja verson etyleenituotantoon sekä siemenjuurten kasvunopeuteen. Ainoana poikkeuksena olivat ohralajikkeet, jotka näyttivät olevan herkkiä suhteellisen vähäisillekin etyleenipitoisuuksien nousuille.

Avainsanat: kevätiljat, kasvunsäätet, kasvu, juuri, etefoni, etyleeni, klormekvattikloridi, trineksapakki-etyyli

Manipulating the growth of spring cereals with growth regulators

Abstract

Plant growth regulators (PGRs, mainly CCC) applied during early growth phases have been claimed to increase root growth or root-shoot ratio in spring cereals. This could be beneficial, especially under drought-stressed growing conditions. In this study our interest was to monitor the effect of PGR applications (CCC, Cerone, Moddus) on daily seminal root growth and on root and shoot ethylene production in barley, oat, and wheat cultivars.

Antigibberellins seemed to have rela-

tively little, or no, effect on root growth and root and shoot ethylene production in the cultivars studied. Ethylene releasing ethephon had a more prominent effect on root and shoot ethylene production and on root growth. Especially barley cultivars seemed to be sensitive to increased root ethylene concentrations, whereas wheat cultivars seemed to tolerate high levels of root ethylene without much effect on root growth.

Key words: spring cereals, growth regulators, growth, root, chlormequat chloride, ethephon, ethylene, trinexapac-ethyl

Johdanto

Korrenvahvistajia alettiin käyttää viljanviljelyssä 1960-luvulla. Klormekvattikloridi (CCC) tuli ensimmäisenä markkinoille, myöhemmin käyttöön otettiin mepikvattikloridi, etefoni (esim. Cerone) ja trineksapakki-etyyli (esim. Moddus). Kolme ensiksi mainittua kasvunsäädettä muodostavat edelleen suurimman osan myydyistä kasvunsäätteistä niin Suomessa kuin muuallakin maailmassa (Rademacher 1993, Hynninen & Blomqvist 1999).

Kasvunsäätteiden osuus kaikista myydyistä kasvinsuojeluaineista on vain noin 4% (Rademacher 1993, Hynninen & Blomqvist 1999). Tällä hetkellä ei ole viitteitä käytön lisääntymisestä viljan viljelyssä (Rajala & Peltonen-Sainio 2000). Erityisesti ympäristönäkökohdat aiheuttavat paineita vähentää typpilannoitusta, mikä pienentää lakoutumisriskiä ja tarvetta korrenvahvistajien käytölle. Uudet lyhytkortiset lajikkeet tarvitsevat myös vähemmän kemiallista laontorjuntaa. Kuluttajat toivovat lisäksi mahdollisimman pienin kemiallisin panoksin tuotettuja elintarvikkeita.

Korren lyhentäminen ensisijainen käyttökohte

Kasvunsäätteiden kortta lyhentävä vaikutus perustuu antigibberelliini-ominaisuuteen (esim. klormekvattikloridi, trineksapakki-etyyli) tai etyleenin vapautumiseen (esim. etefoni). Eri antigibberelliiniyhdisteet vaikuttavat gibberelliinisynteesin eri vaiheisiin aiheuttaen gibberelliinihappojen määrän vähenemisen ja korren pituuskasvun hidastumisen (Graebe et al. 1992, Rademacher et al. 1992).

Etyleeninä vapauttavat yhdisteet ovat happamissa oloissa (pH 4) stabiileja, mutta hajoavat kasvisolun neutraalimmissa oloissa kloridiksi, fosfaatiksi ja solun pituuskasvu hidastavaksi etyleeniksi (Luckwill 1981).

Kasvunsäätteiden laonkestävyyttä lisäävä vaikutus johtunee pelkästään korren lyhentymisestä (Gendy & Höfner 1989). Kasvunsäätteiden ei ole havaittu vaikuttavan korren rakenteelliseen lujuuteen, esim. ligniinin tai selluloosan määrään (Clark & Fedak 1977, Knapp et al. 1987). Korren lyhentymisen ja laon vähenemisen vaikuttavat edullisesti satopotentialin muodostumiseen, jyvien täyttymiseen ja korjattavan sadon laatuun sekä helpottavat sadonkorjuuta (Pinthus 1973).

Kasvunsäätteiden vaikutukset kasvuston rakenteeseen

Juurten kasvu

Suomessa on markkinoitu muutaman vuoden ajan kasvunsäätteitä mainostamalla niiden edullisia vaikutuksia viljojen juurten kasvuun. Sitä ei ole kuitenkaan kovin laajasti tutkittu. Klormekvattikloridi-käsittelyjen on havaittu joissakin tapauksissa voimistavan juurten kasvua ja/tai lisäävän juuri/verso –suhdetta (Humbries et al. 1965, De et al. 1982, Bragg et al. 1984, Naylor et al. 1986, 1989, Emam & Cartwright 1990). Toisessa tutkimuksessa käsittely ei vaikuttanut selvästi juurten kasvuun (Steen & Wünsche 1990). Varhaisessa kehitysvaiheessa tehty etefoni-käsittely jopa hidasti juurten kasvua (Woodward & Marshall 1987, 1988, Banowetz 1993).

Kasvunsäädekäsittelyiden mahdollinen juurten kasvua stimuloiva vaikutus voi perustua kasvin eri osien kilpailuun yhteyttämistuotteista. Kasvunsäädekäsittelyn jälkeen pääversion kasvu hidastuu, jolloin yhteyttämistuotteita ohjautuu kasvin muihin osiin, kuten esimerkiksi juuriin, sivuverson silmuihin, jo olemassa oleviin sivuversoisiin tai kehittyvään kukintoon (Hutley-Bull & Schwabe 1982, Naylor et al. 1986, 1989, Woodward & Marshall 1987, 1988, Ma &

Smith 1991). Kirjallisuudessa ei ole kovin selvästi osoitettu, vaikuttaako juurten kasvun voimistuminen tai heikkeneminen merkittävästi viljojen veden- ja ravinteidenottookykyyn ja sitä kautta satoon ja viljelyvarmuuteen. Viitteitä on siitä, että klorimekvattikloridi-käsittely parantaa ohran ja vehnän vedenkäytön tehokkuutta kuivissa kasvuoloissa ja sitä kautta mahdollisesti lisää kuivuuden sietokykyä ja viljelyvarmuutta (De et al. 1982, Emam & Cartwright 1990).

Versominen

Aikaistetut ja tavanomaiseen aikaan tehdyt kasvunsäädekäsittelyt voivat lisätä versomista ja usein myös tähkällisten sivuversojen lukumäärä kasvaa. Kohonnut satopotentiaali ei kuitenkaan aina lisää satoa (Tolbert 1960, Waddington & Cartwright 1986, Woodward & Marshall 1987, Moes & Stobbe 1991, Peltonen & Peltonen-Sainio 1997). Versoutumisen lisääntyminen voi selittyä jo edellä mainitulla yhteyttämistuotteiden muuttuneella kohdentumisella. Etyleenä vapauttavilla kasvunsääteillä voi olla myös ”suora” hormonaalinen versoutumista edistävä vaikutus (Harrison & Kaufman 1982). Etyleenin on havaittu estävän sivuversojen kasvua inhiboivan auksiinin biosynteesiä ja kulkeutumista versossa (Evans 1984).

Jyväluku

Muutokset yhteyttämistuotteiden kohdentumisessa saattavat selittää joissakin tapauksissa myös klorimekvattikloridi-käsittelyiden jyvälukua lisäävän vaikutuksen (Naylor 1989, Börner & Meinel 1993, Ma & Smith 1992). Kun yhteyttämistuotteita tarvitaan vähemmän pääversion pituuskasvuun, on myös kukka-aiheille tarjolla runsaasti yhteyttämistuotteita ja abortoituvien kukkien osuus pienenee tai muodostuvien kukka-aiheiden määrä kasvaa. Toisaalta etefoni-käsittelyillä on ilmennyt myös päin-

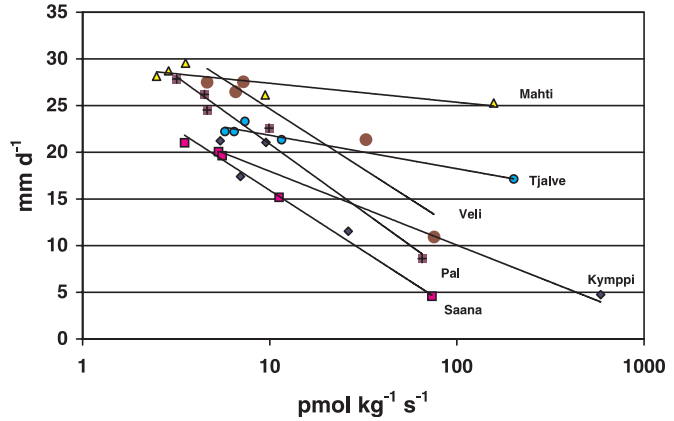
vastaisia vaikutuksia ohran jyvälukuun (Simmons et al. 1988, Moes & Stobbe 1991, Taylor et al. 1991, Stobbe et al. 1992, Foster & Taylor 1993). Tämä saattaa olla seurausta käsittelyn aikoihin tai pian sen jälkeen sattuneesta ulkoisesta stressistä.

Tutkimuksen tavoitteet ja menetelmät

Tämä tutkimus on osa laajempaa tutkimushanketta, jossa tutkittiin mahdollisuuksia muokata viljelykasvien kasvustorakennetta ja sadon muodostusta erilaisin kasvunsääteillä. Tutkimuksessa on kokeita Helsingin yliopiston Viikin koetilalla, Minnesotan yliopistossa sekä Long Ashtonin tutkimusasemalla Englannissa. Tässä keskitytään tarkastelemaan Long Ashtonissa järjestettyjä kasvihuone- ja kasvatuskammiokokeita.

Long Ashtonin tutkimusasemalla tehdyissä kokeissa tutkittiin aikaisten kasvunsäädekäsittelyiden vaikutuksia kevätiljojen juuren ja verson etyleenituotantoon (käsittely 2–3 -kasvulehtivaiheessa) ja päivittäiseen juurten kasvunopeuteen (käsittely 1–2 -kasvulehtivaiheessa). Kokeissa oli mukana kustakin kevätiljalajista lyhyt- ja pitkäkortinen lajike: kaurasta Veli sekä kääpiölajike Pal, ohrasta Saana ja Kymppi sekä vehnästä Mahti ja Tjalve. Tutkitut kasvunsäademäärät olivat: klorimekvattikloridi (CCC) 0,5 %, etefoni (Cerone) 0,25 % ja trineksapakki-etyyli (Moddus) 0,15 % sekä lisäksi näiden kerrannaiset (0,1, 1, 10, ja 50 kertaa). Vesimäärä oli kaikissa käsittelyissä 200 l/ha. Etyleenimäärityksessä käytetyt kasvit kasvatettiin ilmastetussa ravinneliuoksessa. Etyleenimääritykset tehtiin PYE UNICAM (series 204) -kaasugromatografiilla kaksi päivää käsittelyn jälkeen. Juurten kasvun seuraamista varten kasvit kasvatettiin kahden paperiarkin välissä, joista toinen oli tavallista imupaperia (Whatmann No 1, 46 × 57 cm) ja toinen toiselta puoleltaan muovitettua paperia. Muovitetun paperin tarkoitus oli mahdollistaa rullien päivittäi-

Kuva 1. Juurista mitatut etyleenipitoisuudet ($\text{pmol kg}^{-1} \text{s}^{-1}$) ja siemenjuurten kasvunopeudet (mm d^{-1}) kaksi päivää Cerone-käsittelyiden (0, 0.1, 1, 10, 50) jälkeen.



nen avaaminen ja juurten kärkien merkitsemisen.

Tulokset ja niiden tarkastelu

Antigibberelliinit vaikuttivat vähän tai ei ollenkaan viljojen juurten ja verson tuottamiin etyleenipitoisuuksiin, lukuun ottamatta suurinta trineksapakki-etyyli-väkevyyttä (50-kertainen), joka selvästi lisäsi versojen etyleenituotantoa. Etyleeniä vapauttavalla etefonilla sen sijaan oli selvä etyleenipitoisuutta lisäävä vaikutus kaikilla kokeissa mukana olleilla lajikkeilla.

Siemenjuurten kasvunopeuteen klorimekvattikloridilla ei ollut selvää vaikutusta. Ainoastaan suurin käsittelyväkevyys alensi juurten kasvunopeutta joissakin tapauksissa – lähinnä ohralla ja kauralla. Sen sijaan trineksapakki-etyyli hidasti selvästi juurten kasvua kaikilla lajikkeilla suurimmissa käsittelyväkevyyksissä. Etefoni-käsittelyillä oli voimakas vaikutus juurten kasvuun. 50-kertainen käsittelyväkevyys hidasti voimakkaasti juurten kasvua kaikilla lajikkeilla. Ohralajikkeiden juurten kasvu pysähtyi lähes kokonaan, kun taas vehnälaajikkeilla kasvun hidastuminen oli vähäisintä. Kaura- ja ohralajikkeet reagoivat huomattavasti vehnälaajikkeita herkemmin etefoni-käsittelyyn, mikä näkyi etyleenipitoisuuden nousuna. Vehnälaajikkeilla vasta

10–15 -kertainen etyleenipitoisuuden nousu kontrolliin verrattuna aiheutti selvää juurten kasvun hidastumista (Kuva 1).

Klorimekvattikloridi-käsittely ei näyttänyt stressaavan viljakasveja, kun sitä mitattiin kasvien tuottamana stressihormoni etyleeniä. Väkevin trineksapakki-etyyli-käsittely aiheutti sen sijaan versoissa vaurioita, mikä ilmeni myös verson tuottamisessa etyleenipitoisuuksissa. Stressi ilmeni kohonneena etyleenituotantona kuitenkin vain silminnähden vaurioituneissa versoissa. Vaikka myös juurten kasvu hidastui selvästi suurimmissa trineksapakki-etyyli-käsittelyväkevyyksissä, sillä ei ollut selvää yhteyttä juurten etyleenituotantoon. Molemmat kokeissa olleet antigibberelliinit näyttävät vaikuttavan siis vain vähän viljojen etyleenituotantoon.

Lajikkeet erosivat etyleenituotannoltaan 50-kertaisen etefoni-käsittelyn jälkeen (Kuva 1). Tämä saattaa johtua lajikkeiden erilaisista kyvyistä absorboida suuria etefonimääriä tai eroista sen kulkeutumisen ja/tai hajoamisnopeudessa. Erot juurten tuottamisessa etyleenimäärissä eivät selitä eroja juurten kasvunopeuksissa, vaan lajit eroavat herkkyydessään etyleenille (Kuva 1).

Käytettäessä normaaleita kasvunsäätien käsittelymääriä kevätiljojen etyleenituotanto ja siemenjuurten kasvunopeus ei muutu. Tulostemme perusteella aikaiset kasvunsäädekäsittelyt eivät todennäköisesti lisää viljojen kuivuudensieto- tai vedenotto-kykyä.

- Banowitz, G.** 1993. The effect of ethephon seed treatment on leaf development and head initiation of wheat. *Field Crops Research* 34: 113–120.
- Börner, A. & Meinel, A.** 1993. The effects of the growth retardant chlormequat (CCC) on plant height and yield in GA insensitive wheats. *Plant Breeding* 110: 255–258.
- Bragg, P., Rubino, P., Henderson, F., Fielding, W. & Cannel, R.** 1984. A comparison of the root and shoot growth of winter barley and winter wheat, and the effect of an early application of chlormequat. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 103: 257–264.
- Clark, R. & Fedak, G.** 1977. Effects of chlormequat on plant height, disease development and chemical constituents of cultivars of barley, oats and wheat. *Canadian Journal of Plant Science* 57: 31–36.
- De, R., Giri, G., Saran, G., Singh, R. & Chaturvedi, G.** 1982. Modification of water balance of dryland wheat through the use of chlormequat chloride. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 98: 593–597.
- Emam, Y. & Cartwright, P.** 1990. Effects of drying soil and CCC on root:shoot growth and water use in barley plants. In: Davies, W. & Jeffcoat, B. (eds). Importance of root to shoot communication in the responses to environmental stress. BSPGR Monographs No. 21. Oxford: Parchments Press Ltd. p. 389–392.
- Evans, M.** 1984. Functions of hormones at the cellular level of organization. In: Scott, T. (ed). *Hormonal Regulation of Development: II. The Function of Hormones from the Level of the Cell to the Whole Plant*. Encyclopedia of Plant Physiology, New Series 10. Berlin: Springer-Verlag. p. 23–79.
- Foster, K. & Taylor, J.** 1993. Response of barley to ethephon: effects of rate, nitrogen, and irrigation. *Crop Science* 33: 123–131.
- Gendy, A. & Höfner, W.** 1989. Stalk shortening of oat (*Avena sativa* L.) by combined application of CCC, DCiB and ethephon. *Angew Botanik* 63: 103–110.
- Graebe, J., Böse, G., Grosselindemann, E., Hedden, P., Aach, H., Schweimer, A. & Lange, T.** 1992. The biosynthesis of *ent*-kaurene in germinating seeds and the function of 2-oxoglutarate in gibberellin biosynthesis. In: Karssen, C., Van Loon, L. & Vreugdenhill, D. (eds). *Progress in Plant Growth Regulation*. Proceedings of the 14th International Conference on Plant Growth Substances, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. p. 545–554.
- Harrison, M. & Kaufman, P.** 1982. Does ethylene play a role in the release of lateral buds (tillers) from apical dominance in oats. *Plant Physiology* 70: 811–814.
- Humbries, E., Welbank, P. & Witts, K.** 1965. Effect of CCC (chlorocholine choride) on growth and yield of spring wheat in the field. *Annals of Applied Biology* 56: 351–361.
- Hutley-Bull, P. & Schwabe, W.** 1982. Some effects of low-concentration gibberellic acid and retardant application during early growth on morphogenesis in wheat. In: McLaren, J. (ed). *Chemical Manipulation of Crop Growth and Development*. London: Butterworth Scientific. p. 329–342.
- Hynninen, E. & Blomqvist, H.** 1999. Pesticide sales in Finland in 1998. *Kemia-Kemi* 26: 498–500.
- Knapp, J., Harms, C. & Volenec, J.** 1987. Growth regulator effects on wheat culm nonstructural and structural carbohydrates and lignin. *Crop Science* 27: 1201–1205.
- Luckwill, L.** 1981. *Growth Regulators in Crop Production*. Studies in Biology No. 129. Southampton: The Camelot press Ltd., 59 p.
- Ma, B. & Smith, D.** 1991. Apical development of spring barley in relation to chlormequat and ethephon. *Agronomy Journal* 83: 270–274.
- & **Smith, D.** 1992. Chlormequat and ethephon timing and grain production of spring barley. *Agronomy Journal* 84: 934–939.
- Moes, J. & Stobbe, E.** 1991. Barley treated with ethephon: I. Yield components and net grain yield. *Agronomy Journal* 83: 86–90.
- Naylor, R.** 1989. Effects of the plant growth regulator chlormequat on plant form and yield in triticale. *Annals of Applied Biology* 114: 533–544.
- , **Brereton, P. & Munro, L.** 1989. Modification of seedling growth of triticale and barley by seed-applied chlormequat. *Plant Growth Regulation* 8: 117–125.
- , **Saleh, M. & Farquharson, J.** 1986. The response to chlormequat of winter barley growing at different temperatures. *Crop Research* 26: 17–31.

- Peltonen, J. & Peltonen-Sainio, P.** 1997. Breaking unicum growth habit of spring cereals at high latitudes by crop management. I. Leaf area index and biomass accumulation. *Journal of Agronomy and Crop Science* 178: 79–86.
- Pinthus, M.** 1973. Lodging in wheat, barley, and oats: the phenomenon, its causes, and preventive measures. *Advances in Agronomy* 25: 209–256.
- Rademacher, W., Temple-Smith, K., Griggs, D., Hedden, P.** 1992. The mode of action of acyclohexanediones - a new type of growth retardant. In: Karssen, C., Van Loon, L. & Vreugdenhill, D. (eds). *Progress in Plant Growth Regulation. Proceedings of the 14th International Conference on Plant Growth Substances*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. p. 571–577.
- 1993. PGRs - present situation and outlook. *Acta Horticulturae* 329: 296–308.
- Rajala, A. & Peltonen-Sainio, P.** 2000. Manipulating Yield Potential in Cereals by Plant Growth Regulators. In: Basra, A. (ed). *Growth Regulators in Crop Production*. In press.
- Simmons, S., Oelke, E., Wiersma, J., Lueschen, W. & Warnes, D.** 1988. Spring wheat and barley responses to ethephon. *Agronomy Journal* 80: 829–834.
- Steen, E. & Wünsche, U.** 1990. Root growth dynamics of barley and wheat in field trials after CCC application. *Swedish Journal of Agricultural Research* 20: 57–62.
- Stobbe, E., Moes, J., Bahry, R., Visser, R. & Iversen, A.** 1992. Environment, cultivar, and ethephon rate interactions in barley. *Agronomy Journal* 84: 789–794.
- Taylor, J., Foster, K. & Caldwell, C.** 1991. Ethephon effects on barley in central Alberta. *Canadian Journal of Plant Science* 71: 983–995.
- Tolbert, N.** 1960. (2-chloroethyl)trimethylammonium chloride and related compounds as plant growth substances. II. Effect on growth of wheat. *Plant Physiology* 35: 380–385.
- Waddington, S. & Cartwright, P.** 1986. Modification of yield components and stem length in spring barley by the application of growth retardants prior to main shoot stem elongation. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 107: 367–375.
- Woodward, E. & Marshall, C.** 1987. Effects of seed treatment with plant growth regulator on growth and tillering in spring barley (*Hordeum distichum*) cv. Triumph. *Annals of Applied Biology* 110: 629–638.
- & Marshall, C. 1988. Effect of plant growth regulators and nutrient supply on the tiller bud outgrowth in barley (*Hordeum distichum* L.). *Annals of Botany* 61: 347–354.

Torjunta-aineiden vaikutus peltoekosysteemissä

Erja Huusela-Veistola

Maatalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, Kasvinsuojelu, 31600 Jokioinen, erja.huusela-veistola@mtt.fi

Torjunta-aineiden kohteena ovat kasvintuhoojat (tuhoeläimet, rikkakasvit, ja kasvi-taudit), mutta torjunta-aineet vaikuttavat myös muihin pellolla eläviin eliöihin joko suoraan tai välillisesti. Torjunta-aineiden vaikutusmekanismit vaihtelevat aineesta ja kohde-eliöstä riippuen. Vaikutuksen voimakkuus riippuu altistuksen voimakkuudesta, lajikohtaisista ominaisuuksista ja ympäristötekijöistä.

Torjunta-aineiden kokonaisvaikutuksia peltoekosysteemissä tutkittiin Jokioisissa vuosina 1992–1994. Laajamittaisessa peltokokeessa tutkittiin kahden viljelytekniikan (tavanomainen, kevennetty) ja kahden torjunta-aineen käyttötavan (rutiininomainen, tarpeenmukainen) vaikutuksia maan mikrobeihin, maaperäeläimiin, kasvuston niveljalkaisiin ja maaselkärankaisiin viljapellolla.

Selvimmän torjunta-aineiden käyttö (insektisidit) vaikutti kasvuston niveljalkaisiin (hyönteisiin ja hämähäkkeihin). Vaikutuksen voimakkuus ja kesto vaihteli eri niveljalkaisryhmien välillä. Herkin ryhmä oli kasvustossa elävät riippuhämähäkit. Torjunta-ainekäsittelyjen vaikutukset maanpinnalla liikkuviin petoniveljalkaisiin (hämähäkit, maakiitäjäiset ja lyhytsiipiset) olivat pidempiaikaisia (3–4 viikkoa) kuin kasvustossa lentäviin hyönteisiin (muutamia päiviä), mikä johtunee erilaisesta palautumisnopeudesta. Kaiken kaikkiaan insektisidien suorat vaikutukset niveljalkaisten määriin ja herbisidien aiheuttamat kasvillisuuden muutokset ovat keskeisimmät torjunta-aineiden vaikutukset peltoekosysteemissä. Torjunta-aineiden kokonaisvaikutuksia peltoekosysteemissä on vaikea selvittää lajien ja niiden välisten vuorovaikutusten suuren määrän vuoksi.

Avainsanat: pellot, eliöyhteisöt, ekosysteemit, integroitu torjunta, niveljalkaiset, Arthropoda, torjunta-aineet

Effect of pesticides in agroecosystem

Abstract

Although targeted at plant pests (pest animals, weeds, plant diseases), pesticides may affect non-target species directly or indirectly in agricultural ecosystems. The effects of pesticides vary, depending on the type of pesticide and on the non-target species. The level and duration of pesticide impact depends on the duration of exposure, the susceptibility of the species, and environmental conditions.

Ecological effects of the application of plant protection chemicals and the intensity of farming were studied in a cereal field at Jokioinen in 1992–1994. In the large-scale field study, two pesticide regimes (conventional, reduced) were contrasted with two types of cultivation systems (customary, integrated). The study objects were soil microbes, soil animals, arthropods and vertebrates.

Pesticide use (insecticides) had the clearest effect on non-target arthropods (insects and spiders). Vegetation-dwelling Linyphiidae spiders were the most susceptible group. Effects on polyphagous predators (spiders, carabids, staphylinids) were longer-lasting (3–4 weeks) than were effects on vegetation-living insects (a few days) due to the difference in recovery rate. Overall, the greatest impacts the pesticides had on the agroecosystem were the direct effects of insecticides on non-target arthropods and changes in vegetation caused by herbicides. The total effects of pesticides in the agroecosystem are difficult to detect because of the large number of species and their interactions.

Key words: fields, agroecosystems, arthropods, Arthropoda, integrated control, pesticides

Johdanto

Torjunta-aineiden käytöllä pyritään parantamaan sadon määrää ja laatua sekä helpottamaan sadonkorjuuta ja varastointia. Suomessa torjunta-aineiden käyttö oli huipussaan 1980-luvun alussa. Viime vuosina käyttömäärät ovat vähentyneet tarkennetun torjunnan ja pienannos-torjunta-aineiden käytön yleistyessä. Vuonna 1998 torjunta-aineita myytiin Suomessa 1191 tehoainetonna (Hynninen & Blomqvist 1999). Vaikka keskimääräinen torjunta-aineiden käyttömäärä Suomessa on alhainen, käyttömäärät vaihtelevat paljon ilmasto-olosuhteista, tuotantosuunnasta ja viljelytekniikkaeroista johtuen Suomen eri osissa (Seppälä 1999). Vuonna 1998 myydyistä torjunta-aineista yli 70 % oli rikkakasvien torjunta-aineita eli herbisidejä. Kasvitautilien torjunta-aineiden eli fungisidien osuus oli n. 18 % ja hyönteisten torjunta-aineiden eli insektisidien osuus n. 4 % (Hynninen & Blomqvist 1999). Vuoden 1999 alussa torjunta-ainerekisterissä oli 350 torjunta-ainevalmistetta, jotka sisälsivät 171 erilaista tehoainetta (KTTK 1999).

Torjunta-aineiden biologinen tehokkuus eli tehokkuus varsinaiseen torjunta-kohteeseen tutkitaan Maatalouden tutkimuskeskuksessa (MTT) ennen myyntiluvan myöntämistä. Myös torjunta-aineiden vaikutukset ihmisen terveyteen ja ympäristöön selvitetään. Ympäristövaikutukset arvioidaan Suomen ympäristökeskuksessa ja arviointi perustuu pääosin tietyillä indikaattorilajeilla (mehiläinen, vesikirppu) tehtyjen laboratoriotutkimusten tuloksiin. Torjunta-aineiden vaikutuksia peltoekosysteemissä on tutkittu lähinnä vain yksittäisiin viljelyn kannalta merkityksellisiin eliölajeihin, kuten tuhoeläinten luontaisiin vihollisiin.

Torjunta-aineiden vaikutus

Kohteet

Torjunta-aineiden torjuntakohteena ovat kasvintuhoajat (tuhoeläimet, rikkakasvit ja kasvitaudit), mutta torjunta-aineet vaikuttavat myös muihin pellolla eläviin eliöihin. Vaikutus voi olla joko suora tai välillinen. Tuhohyönteisten torjuntaan käytetyt insektisidit vaikuttavat usein suoraan myös muihin pellolla eläviin hyönteisiin ja muihin niveljalkaisiin. Myös joillakin herbisideillä ja fungisideillä voi olla suoria toksisia vaikutuksia pellon niveljalkaisiin. Torjunta-aineet voivat vaikuttaa myös epäsuorasti: herbisidien käytöstä aiheutunut piennarkasvustojen yksipuolistuminen vaikuttaa muiden eliöiden ravinnon määrään ja elinympäristöön, kuten esimerkiksi suoja- ja talvehtimispaikkoihin.

Vaikutustavat

Torjunta-aineet voivat olla vaikutustavaltaan kosketusvaikutteisia (ei-systeemisiä) tai sisävaikutteisia (systeemisiä), jolloin ne voivat levitä kasvin sisällä laajemmalle alueelle. Torjunta-aineiden vaikutusmekanismit vaihtelevat aineesta ja kohde-eliöstä riippuen. Tärkeimpiä vaikutuksia ovat hermotoiminnan häiriöt, rakenneauriot solukalvoissa, energian saannin väheneminen sekä kasvun ja lisääntymisen häiriöt (Turunen 1985). Vaikka torjunta-aineannos ei olisikaan tappava, se voi vaikuttaa esim. yksilön elinikään, kehitysnopeuteen, lisääntymiskykyyn tai käyttäytymiseen ja sitä kautta aiheuttaa merkittäviä muutoksia populaation koossa ja rakenteessa (Elzen 1989, Croft 1990).

Torjunta-aineiden vaikutus riippuu altistumisen voimakkuudesta, johon käsitteilyajankohdan ja torjunta-aineen käyttömäärän lisäksi vaikuttavat tutkittavan eliön jakauma ja aktiivisuus kasvustossa (Jepson

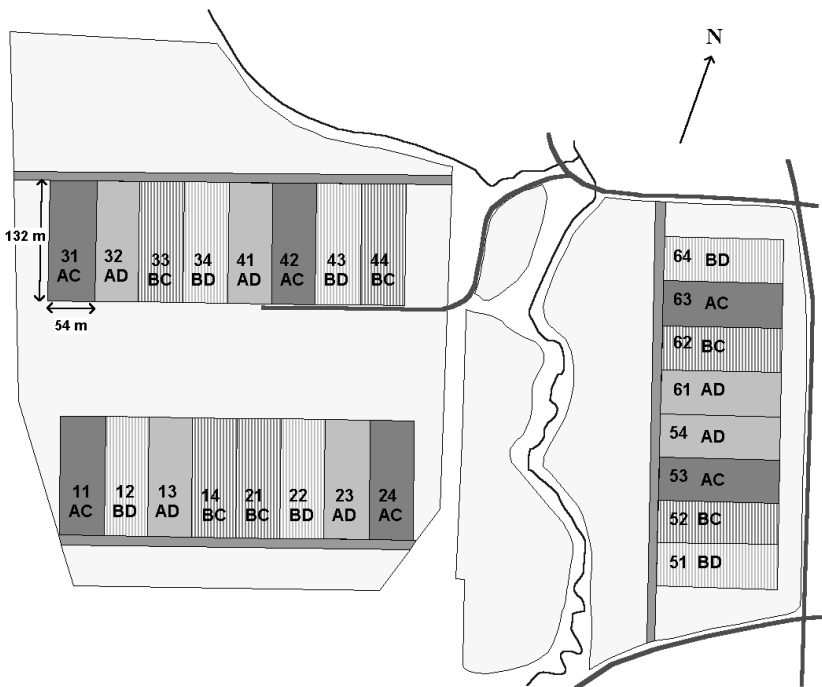
1989). Eri torjunta-aineiden toksiset ominaisuudet ja säilyvyys vaihtelevat. Eliön herkkyyteen puolestaan vaikuttavat lajikohtaiset ominaisuudet, biologiset tekijät (ikä, sukupuoli, fysiologinen tila) ja ulkoiset olosuhteet (Critchley 1972).

Vaikutuksen voimakkuus ja kesto riippuu monista tekijöistä kuten käsittelyn laajuudesta, viljelytekniikasta, kohdelajin ja siitä riippuvien muiden lajien reaktioista sekä ympäristötekijöistä. Käsittelyalueen koko ja lähiympäristö vaikuttavat ennen kaikkea populaatioiden palautumisnopeuteen käsittelyn jälkeen (Jepson 1989). Itsetään selvää on, että mitä laajemmassa mitakaavassa torjunta-aineita käytetään, sitä suurempia vaikutuksia käytöllä on peltoekosysteemiin. Torjunta-aineiden käyttö on aina osa koko viljelytekniikkaa ja sen yksittäisiä vaikutuksia on monesti vaikea erottaa muiden viljelytoimenpiteiden vaikutuksista.

Torjunta-aineiden vaikutukset eivät rajoitu pelkästään pellolle, vaan ne voivat ulottua lähiympäristöön ja kauemmaksikin esimerkiksi vesistöihin. Käsittelytavasta ja käsittelyolosuhteista riippuen torjunta-ainetta voi kulkeutua jopa kymmenien metrien päähän pellon ulkopuolelle vielä sellaisia määriä, että ne voivat aiheuttaa siellä mm. lajistomuutoksia (Marrs et al. 1993).

Torjunta-ainevaikutukset suomalaisella viljapellolla

MTT:ssa vuosina 1992–1994 toteutetun Nummela-projektin tavoitteena oli hankkia käytännön olosuhteisiin perustuvaa tutkimustietoa peltokasvien kasvinsuojelun ympäristövaikutuksista ja torjunta-aineiden mahdollisista sivuvaikutuksista.



Kuva 1. Nummelan tutkimuskenttä. Kirjaimet ilmaisevat viljelytekniikan (A = tavanomainen, B = kevennetty) ja torjunta-aineohjelman (C = rutiinomainen, D = tarpeenmukainen). Ensimmäinen numero on lohkon numero.

Taulukko 1. Torjunta-ainekäsittelyohjelmat ja niissä käytetyt torjunta-aineiden tehoaineet Nummela-projektissa vuosina 1992-1994. F = fungisidi, H = herbisidi, I = insektidi, K = kasvunsääde ja ^{*)} = alennettu käyttömäärä.

	Rutiininomainen	Tarpeenmukainen
1992 (ohra)		
Siemenen peittäminen	Karboksiini + imatsaliili (F)	-
I ruiskutus	Klorsulfuroni tai MCPA + bentatsoni (H) Dimettoaatti (I)	- Dimettoaatti (I)
II ruiskutus	Propikonatsoli (F) Etefoni (K)	- -
1993 (ohra)	Kuten 1992	-
1994 (vehnä)		
Siemenen peittäminen	Karboksiini + imatsaliili (F)	-
I ruiskutus	MCPA + mekopropi-P tai MCPA + bentatsoni (H) Dimettoaatti (I)	MCPA + mekopropi-P ^{*)} tai MCPA + bentatsoni (H) ^{*)} -
II ruiskutus	Propikonatsoli (F) Etefoni (K) Deltametriini (I)	- - -

Tutkimusprojektin esittely

Tutkimus toteutettiin Jokioisissa Nummelan tilalla, joka edusti mm. maalajien puolesta hyvin vilja-Suomen olosuhteita. Koe perustettiin kolmelle peltolohkolle (kukin n. 15 ha) ns. satunnaistettujen lohkojen koekena ja koeruudut olivat mittakaavaltaan mahdollisimman suuria (0,7 ha). Koeruuduilla tutkittiin tavanomaisen (kyntö + äestys) ja kevennetyn viljelytekniikan (kevytmuokkaus + aluskasvit), ja kahden torjunta-aineiden käytötavan (rutiininomainen, tarpeenmukainen) vaikutusta viljapellolla (Kuva 1). Torjuntaohjelmissa käytetyt torjunta-aineet edustivat käytännön viljelyksillä yleisesti käytettyjä teho-aineita (Taulukko 1). Rutiininomaisessa torjunta-ainehjelmassa tehtiin ”varman päälle” -torjunta-ainekäsittelyt niin, että pyrittiin varmistamaan paras mahdollinen sato kaikissa olosuhteissa ja ruudut käsiteltiin herbisidillä, fungisidillä, insektisidillä ja kasvunsäätellä vuosittain. Tarpeenmukainen torjun-

ta-ainehjelma perustui torjunta-kynnysten määrittämiseen ja torjunta-ainevalintaan ja siinä toteutettiin vain kaksi käsitteilyä: kirvaruiskutus vuonna 1992 ja rikkakasviruiskutus vuonna 1994 (Taulukko 1). Tutkimuskohteena olivat torjunta-ainehjelmien ekologiset vaikutukset maan mikrobeihin, maaperäeläimiin, kasvuston niveljalkaisiin ja maaselkärankaisiin.

Tutkimustulokset

Kasvuston niveljalkaiset

Nummelan kenttäkokeessa havaitut torjunta-aineiden, lähinnä insektisidien, vaikutukset kasvustossa eläviin hyönteisiin (kaskaat, luteet, ripsiäiset) olivat yleensä selviä, mutta lyhytaikaisia (Taulukko 2, Huusela-Veistola & Kurppa 1996). Populaatioiden nopea palautuminen johtui todennäköisesti lentävien hyönteisten no-

Taulukko 2. Insektisidikäsitteilyn jälkeen havaitut erot niveljalkaismäärissä eri torjunta-aineohjelmien välillä Nummela-projektissa vuosina 1992–1994.

Niveljalkaisryhmä	1992	1993	1994	Vaikutuksen kesto
Kasvuston hyönteiset				
Kaksisiipiset			*	2 vrk
Pistiäiset			*	2-10 vrk
Kaskaat	*	*	*	2 vrk
Luteet	*	*		2 vrk
Ripsiäiset	*	*	*	2-10 vrk
Maanpinnan petoniveljalkaiset				
Maakiitäjäiset				
Lyhytsiipiset	*	*	*	2-4 viikkoa
Hämähäkit		*	*	3-4 viikkoa
- Riippuhämähäkit	*		*	3-4 viikkoa ¹⁾
- Juoksuhamähäkit	*	*	*	3-4 viikkoa ¹⁾
			*	2 viikkoa

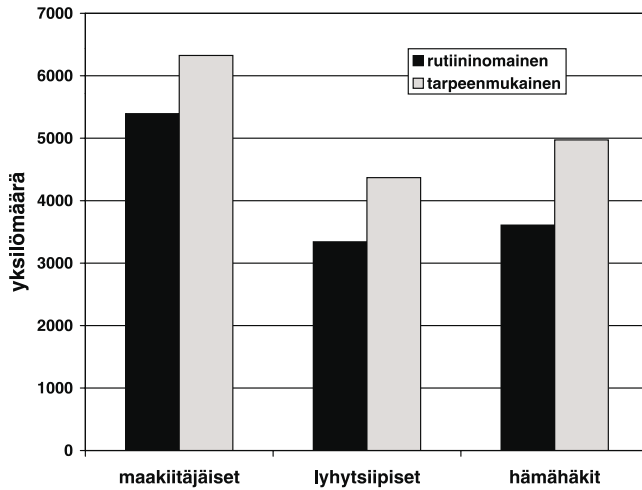
¹⁾ vuonna 1994 vaikutus mahdollisesti pidempi (ero torjunta-aineohjelmien välillä havaittavissa viimeisellä näytteenotokerralla)

peasta levittäytymisestä käsittelemättömil-tä alueilta. Torjunta-ainekäsittelyjen vaikutukset maanpinnalla eläviin petoniveljalkaisiin (hämähäkit ja kovakuoriaisiin kuuluvat maakiitäjäiset ja lyhytsiipiset) olivat pidempiaikaisia ja kestivät 3–4 viikkoa (Taulukko 2, Huusela-Veistola 1996, 1998). Havaittujen vaikutusten voimakkuus vaihteli eri vuosien ja lajien välillä. Herkin ryhmä oli riippuhämähäkit (Linyphiidae) (Huusela-Veistola 1998). Myös insektisidikäsitteilyn aikaan runsaina esiintyvien pienikokoisten maakiitäjäisten (*Bembidion guttula*, *Trechus secalis*) runsaus väheni selvästi insektisidikäsitteilyn jälkeen (Huusela-Veistola 1996). Dimetotaatin, joka on Suomessa eniten käytetty insektisidi (Hynninen & Blomqvist 1999), haittavaikutukset moniin hyönteis- ja hämähäkkiryhmiin olivat selviä. Myös delta-metriinikäsitteily vähensi selvästi kasvustossa elävien hyönteisten ja hämähäkkien määrää (Huusela-Veistola & Kurppa 1996, Huusela-Veistola 1998). Sen sijaan pirimikarbikäsitteilyn vaikutukset pellon niveljalkaisrunsauteen olivat vähäisemmät (Huusela-Veistola 1996, 1998).

Kuoppapyydyksissä, joissa palautumista (tulomuuttoa) ei rajoitettu, petoniveljalkaisten kokonaismäärä jäi kaiken kaikkiaan

15–25 % pienemmäksi rutiininomaisessa kuin tarpeenmukaisessa torjunnassa (Kuva 2). Sen sijaan rajatuissa aikuistumisansoissa vuonna 1994 esimerkiksi leppäkertun toukkien ja riippuhämähäkkien määrä tarpeenmukaisen torjunnan ruuduissa oli yli kolminkertainen rutiininomaisiin ruutuihin verrattuna. Ero torjunta-ainekäsittelyiden välillä neljän viikon aikana oli leppäkertun toukilla 192,5 kpl/m² (1 925 000 kpl/ha) ja riippuhämähäkeillä keskimäärin 49,2 kpl/m² (492 000 kpl/ha). Tällaisella erolla on varmasti merkitystä muidenkin eliöiden kannalta.

Vaikka torjunta-aineiden vaikutukset maanpinnalla esiintyviin niveljalkaisiin olivat ohimeneviä ja lyhytaikaisia, ei niiden merkitystä voi vähätellä. Hyönteisten määrän muutosten vaikutukset muuhun peltoekosysteemiin voivat olla merkittäviä, koska esimerkiksi lintujen pesintävaihe ajoittuu juuri torjunta-aineiden käyttöajan kohtaan. Myös tuhohyönteisten määrät voivat uudelleen lisääntyä torjunta-ainekäsittelyn jälkeen, koska torjunta-aineiden vaikutukset niiden luontaisiin vihollisiin ovat yleensä pidempiaikaisia kuin itse tuho-laisiin (Burn 1989).



Kuva 2. Maanpinnalla liikkuvien petoniveljalkaisten kokonaismäärät kuoppapyydyksissä eri torjunta-aineohjelmissä Nummelan kenttäkokeessa vuosina 1992–1994.

Muut eliöt

Käytetyillä mikrobiaktiivisuuden mittareilla (ATP, maahengitys, nitrifikaatiokyky) mitattuna ei torjunta-aineohjelmien voitu osoittaa vaikuttavan maan mikrobistoon (Ahtiainen 1995). Kuitenkin koelohkojen väliset erot mikrobiaktiivisuudessa olivat huomattavan suuret. Myös maaperäeläinten määrät eri koelohkojen välillä vaihtelivat niin paljon, ettei torjunta-aineohjelmien vaikutusta maaperäeläimiin voitu kenttäkokeessa testata. Laboratorio- ja mikrokosmoskokeissa on havaittu dimetooatilla selviä haittavaikutuksia mm. punkeille ja hyp-pyhäntäisille (Martikainen 1998).

Viiriäisillä tehtyjen altistuskokeiden perusteella insektisidiruiskutusten linnuille aiheuttamat haittavaikutukset olivat vähäisiä ja melko lyhytaikaisia (Myllymäki 1995). Sen sijaan isofenfosilla peitatut rypsin siemenet viiriäisen ravinnossa aikaansaiivat dramaattisia vaikutuksia: koe-eläimet kuolivat, kun ravintona käytetystä rypsin siemenistä oli peitattuja 12,5–25 %. Myös pienemmät annossuhteet aiheuttivat ravinnonkulutuksen ja ruumiinpainon laskua (Myllymäki 1995). Täten kasvinsuojeluaineet voivat vaikuttaa suoraan myös selkärankaisten elossaäilyvyyteen. Kuitenkin peltoekosysteemissä vaikutukset ovat yleensä välillisiä, esimerkiksi insektisidit

voivat vähentää hyönteissyöjälintujen ravinnon määrää suuresti.

Johtopäätökset ja tulevaisuuden näkymät

Torjunta-aineiden kokonaisvaikutuksia peltoekosysteemissä on hankala selvittää lajien ja niiden välisten vuorovaikutusten suuren määrän vuoksi. Ryhmäkohtaiset vertailut eivät kerro koko totuutta, koska ryhmän sisällä lajit voivat reagoida hyvin eri tavoin. Kokonaisvaikutuksia ilmentävien indikaattorilajien löytäminen on myös usein vaikeaa.

Insektisidien vaikutukset pellolla elävien muiden niveljalkaisten määriin ja herbisidien aiheuttamat kasvillisuuden muutokset ovat keskeisimmät torjunta-aineiden vaikutukset peltoekosysteemissä. Mainitut muutokset vaikuttavat myös välillisesti muiden eliöiden elinolosuhteisiin. Torjunta-aineiden vaikutukset ovat esitellyissä tutkimuksissa olleet melko lyhytaikaisia. Koska vaikutuksen kesto riippuu populaation palautumisnopeudesta, johon puolestaan vaikuttaa käsitellyn alueen koko, vaikutukset ovat pidempiaikaisia, kun käsitellyt alueet ovat kokonaisia peltolohkoja tai -aukeita. Myös kasvukaudesta toiseen samalla tavoin käsitellyillä lohkoilla mahdollisesti

ilmenevät kerrannaisvaikutukset ja torjunta-aineiden kertyminen maahan on otettava huomioon. Myös pohjoisten ympäristöolosuhteiden (alhainen lämpötila, lyhyt kasvukausi, maaperän happamuus ja orgaanisen aineksen suuri määrä) vaikutus torjunta-aineiden käyttäytymiseen tulisi huomioida torjunta-aineiden ympäristövaikutusten arvioinnissa.

Torjunta-aineiden haittavaikutusten vähentäminen onnistuu vain torjunta-aineiden käyttöä tarkentamalla. Vaikka torjunta-aineiden käyttöä ei voida kokonaan korvata muilla keinoilla, on jatkuva paine torjunta-aineiden käyttömäärien vähentä-

miseen Suomessakin olemassa. Tarkennetun torjunta-aineiden käytön tulisi perustua luotettavaan torjuntatarpeen arviointiin (tarkkailu, kynnsarvot, ennusteet) ja oikeaan ajoitukseen. Monipuolinen kasvinsuojelu ei tarkoita monipuolista torjunta-ainevalikoimaa, vaan monia keinoja, joiden avulla voidaan vähentää kasvinsuojeluongelmia ja torjunta-aineiden käyttöä. Tasapainoisessa kasvinsuojelussa pyritään ennen kaikkea kasvinsuojeluongelmien ennaltaehkäisemiseen viljelyteknisesti ja luontaisien mekanismien avulla, mikä edellyttää tutkimustietoa ja ympäristövaikutusten arviointia.

Kirjallisuus

Ahtiainen, J. 1995. Nykypäivän torjunta-aineilla vähän mitattavia vaikutuksia maan mikrobiotoimintaan. Koetointi ja käytäntö 52: 46.

Burn, A.J. 1989. Long-term effects of pesticides on natural enemies of cereal crop pests. In: Jepson, P.C. (ed.). Pesticides and non-target arthropods. Newcastle: Intercept. p. 177–193. ISBN 0-946707-17-0.

Critchley, B.R. 1972. A laboratory study of the effects of some soil-applied organophosphorus pesticides on Carabidae (Col.). Bulletin of Entomological Research 62: 229–242.

Croft, B.A. 1990. Arthropod biological control agents and pesticides. New York: John Wiley & Sons. 723 p. ISBN 0-471-81975-1.

Elzen, G.W. 1989. Sublethal effects of pesticides on beneficial parasitoids. In: Jepson, P.C.(ed.). Pesticides and non-target arthropods. Newcastle: Intercept. p. 129–150. ISBN 0-946707-17-0.

Huusela-Veistola, E. 1996. Effects of pesticide use and cultivation techniques on ground beetles (Col., Carabidae) in cereal fields. Annales Zoologici Fennici 33: 197–205.

– 1998. Effects of perennial grass strips on spiders (Araneae) in cereal fields and impact on pesticide side-effects. Journal of Applied Entomology 122: 575–583.

– & **Kurppa, S.** 1996. Effects of pesticides and use of perennial strips on the vegetation-living insects in cereal field. IOBC/WPRS Bulletin 19: 90–100.

Hynninen, E.-L. & Blomqvist, H. 1999. Pesticide sales in Finland in 1998. Kemia-Kemi 26(6): 498–500.

Jepson, P.C. 1989. The temporal and spatial dynamics of pesticide side-effects on non-target invertebrates. In: Jepson, P.C.(ed.). Pesticides and non-target arthropods. Newcastle: Intercept. p. 95–127. ISBN 0-946707-17-0.

KTTK 1999. Torjunta-aineet 1999. Luettelo rekisterissä olevista torjunta-aineista ja niiden käyttöä koskevista ehdoista. Helsinki: Kasvintuotannon tarkastuskeskus. 109 p. ISSN 0784-1043.

Marrs, R.H., Frost, A.J., Plant, R.A. & Lunnis, P. 1993. Determination of buffer zones to protect seedling of non-target plants from the effects of glyphosate spray drift. Agriculture, Ecosystems and Environment 45: 283–293.

Martikainen, E. 1998. Environmental factors influencing effects of chemicals on soil animals. Biological Research Reports from University of Jyväskylä. Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto. 44 p.

Myllymäki, A. 1995. Peltokasvien torjunta-ainekäsittelyt harvoin vaaraksi linnuille. Koetointi ja käytäntö 52: 46.

Seppälä, T. 1999. Torjunta-aineiden käyttö maatalouden ympäristötukitiloilla. Suomen ympäristökeskuksen moniste 149. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. 30 p.

Turunen, S. 1985. Torjunta-aineiden vaikutustavat kasveissa ja eläimissä. Kasvinsuojeluseuran julkaisu N:o 75. Helsinki: Kasvinsuojeluseura ry. 175 p.

Muuttuvan ilmaston ja otsonin vaikutus perunan satoon ja laatuun

Katinka Ojanperä¹⁾, Virpi Vorne¹⁾, Juha-Matti Pihlava²⁾
& Mervi Tuhkanen¹⁾

¹⁾ Maatalouden tutkimuskeskus, Luonnonvarojen tutkimus, Luonnonvarat, 31600 Jokioinen,
katinka.ojanpera@mtt.fi, virpi.vorne@mtt.fi,

²⁾ Maatalouden tutkimuskeskus, Elintarvikkeiden tutkimus, Kemian laboratorio, 31600 Jokioinen,
juba-matti.pihlava@mtt.fi

Johdanto

Kasvihuonekaasujen ja troposfäärisen otsonin pitoisuuksien rajoittaminen ovat kaksi suurinta haastetta tulevaisuuden ilmansuojelulle. Tämän hetkisen tietämyksen perusteella kasvihuoneilmiota ei voida pysäyttää nykyisillä torjuntastrategioilla, vaan kasvihuonekaasujen pitoisuudet tulevat lisääntymään vielä vuosikymmeniä. Tämä tulee aiheuttamaan muutostarpeita sekä kasvinjalostukselle että viljelytekniikalle.

EU:n rahoittama projekti *Changing Climate and Potential Impact on Potato yield and quality* (CHIP) on jatkoa kahdelle aikaisemmalle, ilmansaasteiden maatalousvaikutuksia selvittäneelle EU-projektille; *European Open Top Chamber Programme* ja ESPACE-ohjelmalle, joka tutki kasvihuoneilmion ja ilmansaasteiden yhteisvaikutusta. Suomessa MTT on osallistunut kumpaankin tutkimusohjelmaan ja ollut mukana otsonin kriittisiä kuormia selvittävässä *Critical Levels for Ozone in Europe* -projektissa. Jokioisten koekentät ovat olleet puhtaampia, missä ilmansaastetutkimusta on tehty viljelykasveilla ja kokeissa saatu tieto on ollut arvokasta kynnysarvoja selvitetessä (Pleijel et al. 1997).

CHIP-projekti oli seitsemän koekentän verkosto, joka kattoi Euroopan tärkeimmät

ilmastotyyppit Välimereltä Jokioisille. Jokioisten lisäksi kammiokokeita tehtiin Belgiassa, Saksassa, Englannissa, Irlannissa ja Ruotsissa. Saksassa ja Italiassa tehtiin FACE-kokeita (hiilidioksidialtistuskokeita avokentällä). Mallinnustyö tehtiin Englannissa ja Hollannissa.

Ilman hiilidioksidi- ja otsonipitoisuuden tiedetään vaikuttavan ratkaisevasti kasvien hiilihdraattimetaboliaan. Vehnällä saatu- jen tulosten perusteella, lisääntyneen hiilidioksidipitoisuuden aiheuttama sadon lisääntyminen alentaa jyvien proteiinipitoisuutta ja lisää tyyppilannoituksen tarvetta (Pleijel et al. 1998). Sekä otsoni että hiilidioksidi nopeuttavat vehnän tuleentumista ja aiheuttavat kasveissa ennen aikaista vanhenemista (Ojanperä et al. 1992). Vaikutusmekanismien selvittäminen antaa huomattavasti laajemmin sovellettavaa tietoa kuin pelkästään kasvun ja sadon mittaaminen. Uusi tieto ilman epäpuhtauksien ja ilmastomuutoksen vaikutuksesta satofysiologiaan mahdollistaa sovellutuksia ilmansuojelun lisäksi esimerkiksi kasvinjalostuksessa ja viljelytekniikassa.

Peruna varastoi runsaasti tärkkelystä mukuloihinsa ja kuljettaa fotosynteesituotteet sakkaroosina versoista mukuloihin. Hiilihdraattimetabolian muutoksilla on

suora taloudellinen vaikutus, koska sokereiden ja tärkkelyksen suhde on tärkeä laatuominaisuus etenkin elintarviketeollisuudessa käytettävässä perunassa.

Perunan tärkkelyksen koostumukseen vaikuttavat suuresti lajike, kypsyyssaste sekä vuosittaiset sään vaihtelut. Perunan kypsyydessä kasvaa tärkkelysjyväsien koko ja amylopektiinin haaroittuminen lisääntyy. Amyloosi- ja fosfaattipitoisuuden on havaittu olevan lähinnä lajikekohtainen ominaisuus. Ulkoiset tekijät (kuten hiilidioksidi ja otsoni) voivat häiritä tärkkelyksen varastoitumista mukulaan. Perunan tärkkelyksestä on 20–25 % amyloosia ja 75–80 % amylopektiiniä (Southgate 1991). Amyloosi/amylopektiini -suhteella on merkitystä perunajauhoa valmistettaessa.

Perunan tärkeimmät pelkistävät sokerit ovat glukoosi, fruktoosi ja sakkaroosi. Teollisuudelle ongelmia aiheuttaa perunan prosessoinnissa solukon ei-entsyymattinen rusketuminen, joka tapahtuu paistettaessa ja/tai kuumennettaessa, kun perunan pelkistävien sokereiden määrä on korkea. Tällöin tapahtuu ns. Maillardin reaktio, jossa pelkistävät sokerit reagoivat aminohappojen α -amino -ryhmien kanssa, mikä näkyy syntyvänä tummana värinä. Pelkistävien sokereiden määrän tulisi olla noin 0,1 %:ia tuorepainosta (korkeintaan 0,33 %). Pelkistävien sokereiden suurempi määrä aiheuttaa perunaan kitkerän maun. Kasvin fysiologinen stressi voi aiheuttaa tärkkelyksen hajoamista sokereiksi. Vapaiden sokereiden määrä on alhainen juuri nostetussa perunassa, mutta lisääntyy varastoinnin aikana.

Orgaanisten happojen määrä vaihtelee tuoreessa perunassa välillä 0,4–1,0 % tuorepainosta. Eniten on sitruunahappoa (70–600 mg/100 g tuorepainoa), sitten omenahappoa (20–150 mg/100 g tuorepainoa), oksaali-, fumaari ja meripihkahappoa. Perunan mukuloiden orgaanisten happojen pitoisuuteen voidaan vaikuttaa viljelytekniisin toimenpitein, kuten lannoituksella ja torjunta-aineiden käytöllä. Orgaaniset hapot vaikuttavat suoraan perunan makuun kirpeytensä sekä väriin estämällä keittotumm

umista ja ei-entsyymattista rusketumista (Lisinska 1990).

Glykoalkaloidit ovat perunassa luonnollisesti esiintyviä myrkyllisiä yhdisteitä. Perunan glykoalkaloideista pääosa (95 %) koostuu α -solaniinista (40 %) ja α -kakoninista (60 %). Stressitekijät vaikuttavat glykoalkaloidien muodostumiseen. Tämä näkyy glykoalkaloidipitoisuuden kasvuna sekä uusien glykoalkaloidien muodostumisena. Lisäksi perunan glykoalkaloidien määrään vaikuttavat lajike (perinnöllinen ominaisuus), kasvupaikka ja ilmasto, lannoitus, tuleentuminen, varastointi, valo, mekaaninen vioittuminen ja prosessointi.

Glykoalkaloidit aiheuttavat perunaan karvaan (> 14 mg/100 g tuorepainoa) ja polttavan maun (> 22 mg /100 g tuorepainoa). Ihmisravinnoksi sopimattomana pitoisuutena pidetään yli 20 mg/100 g tuorepainoa (raa'an kuorimattoman perunan glykoalkaloidien raja-arvo, Kauppa- ja teollisuusministeriö 1993). Suurimmat glykoalkaloidipitoisuudet ovat aktiivisen metabolian ja kasvun vyöhykkeissä. Mukulassa glykoalkaloideja on eniten kuorella ja heti kuoren alla olevassa solukossa, joten perunan kuorimisella voidaan vähentää glykoalkaloidien määrää jopa 73 %. Varhaisperunassa kokonaisglykoalkaloidipitoisuus nousee helposti korkealle ja jopa ylittää raja-arvot. Täten glykoalkaloidien määrä onkin laadullisesti merkittävä tekijä sekä mahdollinen fysiologinen stressimittari (Slanina 1990).

Nitraatti on terveydelle haitallinen yhdiste. Sen kertymiseen kasviin vaikuttavat perintötekijät, valo ja typpilannoitus (runsaas typpilannoitus + kuivuus lisää selvästi). Muita vaikuttavia tekijöitä ovat lämpötila, kosteusolosuhteet, hiilidioksidi, herbisidit, ja kasvukausi. Sadon hyvä tuleentuminen ja oikein mitoitettu lannoitus pitävät nitraattipitoisuudet turvallisen alhaalla. Perunan suuren kulutuksen vuoksi suomalaisten kasvisperäisen nitraatin saannista (75 % kokonaissaannista, 55 mg/vrk/henkilö) noin 20 % tulee perunasta. Suomessa on nitraattia mitattu varasto- ja varhaisperunanäyt-

teistä. Saadut pitoisuudet olivat varastope-runalla 15–80 mg/kg ja varhaisperunalla 70–170 mg/kg. Kotimaisessa perunassa oli selvästi vähemmän nitraattia kuin ulkomaisessa, keskimäärin noin 60/160 mg/kg (Kotimaiset Kasvikset ry 1993).

Materiaalit ja menetelmät

Jokioisilla tehtiin vuonna 1998 kenttäkoe, jossa selvitettiin otsonin vaikutusta perunaan. Perunalajiketta Bintje altistettiin avokattoisissa kammioissa seuraaville käsittelyille:

- suodattamaton ilma
- suodattamaton ilma + 50 % otsoni-lisäys
- suodattamaton ilma + 100 % otsoni-lisäys.

Kasvifysiologiset mittaukset

Versoston kehitystä eri käsittelyissä seurattiin mittaamalla viikoittain jokaisesta kammioista lehtipinta-ala Licor-LAI -mittarilla (LI-190SB Quantum Sensor, Li-cor, inc. USA), versojen lehtivihreän määrä SPAD-502 -klorofyllimittarilla (Minolta Corp., Ramsey, N.J.) ja määrittämällä kasvien fenologinen kehitysaste (Hack et al. 1993) kaavion mukaan.

Mukuloiden laatuanalyysit

Näytteen esikäsittely

Perunat pestiin harjalla, huuhdeltiin juoksevan veden alla ja annettiin kuivua huoneilmassa n. 10 min. Perunat pilkottiin kuutioiksi (1 cm³), pakastettiin ja pakastekuivatettiin (Christ Gamma 1–20). Pakastekuivatut näytteet jauhettiin yleiskoneella hienoksi.

Kuiva-aine

Kuiva-aine määritettiin jokaisesta näyteerästä. Pestyt perunat survottiin ja homogenoitua survosta punnittiin taarattuun alumiiniastiaan n. 2 g. Näytteet kuivatettiin 85 °C:ssa 24 h, jonka jälkeen ne jäädytettiin eksikaattorissa (n. 2 h) ja punnittiin.

Liukoiset sokerit

Liukoiset sokerit uutettiin 80 % etanoliin. Etanoli haihdutettiin ja jäännös liuotettiin pyridiiniin. Sokerit derivoitiin silyloimalla heksametyylidisilatsaanilla, johon oli lisätty trifluorietikkahappoa. Sokeriderivaatat detektoitiin liekki-ionisaatiodetektorilla (Li & Schuhmann 1980). Orgaaniset hapot analysoitiin samoin kuin sokerit Haikan 1992 mukaan.

Tärkkelys

Hiilihydraatit uutettiin Na-asetaatipuskuriin ja erottuvasta sakasta määritettiin tärkkelyksen määrä. Tärkkelys liuotettiin ja hydrolysoitiin (100 °C, 1 h) stabiililla amylaasilla (Termamyyli E.C. 3.2.1.1.), jolloin tärkkelys hajoaa glukoosiksi, maltoosiksi, maltotriooseiksi ja maltodekstriineiksi. Syntyneiden polysakkaridien α -1,4- ja α -1,6-glukaanisidokset hydrolysoitiin amyloglukosidaasilla. Pilkkoutuneen glukoosin määrä mitattiin spektrofotometrisesti glukoosioksidaasireagenssin avulla (Knudsen et al. 1987).

Glykoalkaloidit

Glykoalkaloidit uutettiin perunasta vesimetanoli -seoksella. Seos konsentroidtiin ja puhdistettiin kertakäyttöisellä SPE-kolonilla. Solaniini ja kakoniini eroteltiin aminomuotoisella HPLC-kolonilla, jossa retentio perustuu sokeriryhmiin. Detektointi suoritettiin UV-alueella 202 nm (Saito et al. 1990).

Nitraatti

Nitraatti määritettiin nestekromatografisesti tuoreesta näytteestä. Nitraatti uutettiin kasvimateriaalista veteen. Suodatuksen ja laimennuksen jälkeen nitraatti analysoitiin HPLC:lla diodirividetektorilla (Lyons et al. 1991).

Tulokset

Taulukossa 1 on esitetty käsittelyjen otsonipitoisuudet.

Versoston kehitys

Otsonikäsittelyillä ei ollut vaikutusta kasvien fenologiseen kehitykseen määritettynä Hack et al. (1993) kaavion mukaan. Näkyvät otsonivauriot havaittiin perunan lehdisä ensimmäistä kertaa elokuussa kukinnan alettua. Myös lehtien lehtivihreäpitoisuus aleni nopeammin otsonikäsittelyssä kuin käsittelyssä, johon otsonia ei lisätty. Lehtivihreämittausten perusteella versoston tuleentuminen nopeutui hieman otsonikäsittelyn vaikutuksesta, tämäkin ero tuli näkyviin vasta kukinnan alettua.

Sato

Kesällä 1998 tehdyssä otsonialtistuskokeessa perunan kokonaissato laski otsonikäsittelyissä merkittävästi, varsinkin suuremmissa kokoluokissa. Suurimmassa otsonipitoisuudessa (n. 2-kertainen pitoisuus nyky-

seen verrattuna) ranskanperunan kokoisen perunan sato väheni yli 40 % verrattuna käsittelyyn, jossa otsonia ei lisätty. Pienemmissä kokoluokissa sadonalennus oli vain noin 10 %, ja alle 35 mm kokoisten perunoiden määrään otsonikäsittelyllä ei ollut vaikutusta.

Mukuloiden laatuanalyysit

Pelkistävien sokereiden kokonaispitoisuus oli otsonikäsittelyissä noin 15 % alhaisempi kuin käsittelyssä, johon otsonia ei oltu lisätty. Sokeripitoisuuden aleneminen parantaa mukuloiden laatua ja näyttäisi viittaavan mukuloiden parempaan kypsyyssasteeseen. Perunan tärkkelys- ja kuiva-ainepitoisuudet sen sijaan nousivat hieman (n. 6–7 %) otsonikäsittelyissä kasveissa. Ihmisille haitallisten aineiden, nitraatin ja glykoalkaloidien pitoisuudet laskivat otsonikäsittelyjen kasvien mukuloiden jonkin verran (nitraatti 25 % ja glykoalkaloidit 8 %).

Johtopäätökset

Ensimmäisen kesän tulosten perusteella lisätyllä otsonilla oli erittäin merkitsevä vaikutus perunan satoon. Myös mukuloiden laadussa näkyi otsonikäsittelyiden aiheuttamia muutoksia.

Versostosta mitatut kasvifysiologiset tulokset viittaavat kasvien nopeutuneeseen tuleentumiseen lisätyn otsonin vaikutuksesta. Vaikutuksista sekä näkyvät otsonivauriot että yleinen klorofyllin vähentymis-

Taulukko 1. Otsonipitoisuudet käsittelyissä 12.6.–29.9.1998.

	Kumulatiivinen otsonikertymä		Kahdeksan tunnin keskiarvo
	AOT(0)	AOT(40)	kaasutusajalta 11.00-19.00
AA	2126	263	2
NF	16036	42	6,7
NF+	23389	1416	23,9
NF++	30101	6132	36,1
			47,2

nen tulivat näkyviin elokuussa kasvien kukinnan alettua. Ilmiö on aikaisemmin havaittu vehnällä, jolla verrattain voimakkaan otsonialtistus ei näyttänyt vaikuttavan kasveihin ennen kukintaa (Ojanperä et al. 1998).

Versoston tuleentumisen nopeutuessa perunat jäivät otsonikäsitelyissä pienemmiksi kuin käsittelyssä, johon otsonia ei lisätty. Myös mukuloiden laadussa näkyi nopeutuneeseen tuleentumiseen viittaavia muutoksia. Pelkistävien sokereiden pitoisuuden aleneminen ja tärkkelys- ja kuivaainepitoisuuden kohoaminen ovat muutoksia, jotka tapahtuvat mukuloiden tuleentumessa. Glykoalkaloideja ja nitraattia on enemmän varhaisperunassa kuin tuleentu-

nessa perunassa, joten glykoalkaloidi- ja nitraattipitoisuuksien aleneminen otsonikäsitellyissä kasveissa viittaa myös kasvien nopeampaan kypsymiseen otsonikäsitelyissä.

Vaikka erot ovatkin verrattain pieniä, ne ovat kaikki samansuuntaisia ja tukevat siten toisiaan. Ne ovat myös muutoksia, jotka parantavat mukuloiden laatua. Ensimmäisen vuoden koetulosten perusteella Jokioisilla voidaan siis vetää johtopäätös, että lisääntyneen otsonin vaikutuksesta perunan sato varsinkin suuremmissa kokoluokissa pienenee, mutta viljelijöiden lohdutukseksi mukuloiden laatu samalla jonkin verran paranee.

Kirjallisuus

Hack, V.H., Gall, H., Klemke, Th., Klose, R., Meier, U., Stauss, R. & Witzemberger, A. 1993. Phänologische Entwicklungsstadien der Kartoffel (*Solanum tuberosum* L.). Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes. 45: 11–19.

Haila, K., Kumpulainen, J., Häkkinen, U. & Tahvonon, R. 1992. Sugar and organic acid contents of vegetables consumed in Finland during 1988–1989. Journal of Food composition and Analysis 5: 100–107.

Kauppa- ja teollisuusministeriö 1993. Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös eräistä elintarvikkeiden vieraista aineista annetun kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksen liitteiden muuttamisesta (169/93).

Knudsen, K.E.B., Åman, P. & Eggum, B.O. 1987. Nutritive value of Danish-grown barley varieties. I, carbohydrates and other major constituents. Journal of Cereal Science 6: 173–186.

Kotimaiset kasvikset ry. 1993. Perunaseminaari 1993. Kotimaiset Kasvikset ry:n julkaisusarja n:ro 12. ISBN 952-9771-12-6.

Li B.W. & Schuhmann, P.J. 1980. Gas-liquid chromatographic analysis of sugars in ready-to-eat breakfast cereals. Journal of Food Science 45: 138–141.

Lisinska, G. & Aniolowski, K. 1990. Organic acids in potato tubers: Part 1-The effects of storage temperatures and time on citric and malic acid contents of potato tubers. Food Chemistry 38: 255–261.

Lyons, D., McCallum, L., Osborne, W. & Nobbs, P. 1991. Analyst 116: 153–157.

Ojanperä, K., Sutinen, S., Selden, G. & Pleijel, H. 1992. Exposure of spring wheat, *Triticum aestivum* L. cv. Drabant, to different concentrations of ozone in open-top chambers: effects on the ultrastructure of flag leaf cells. The New Phytologist 120: 39–42.

–, **Pätsikkä, E. & Ylärinta, T.** 1998. Effects of low ozone exposure of spring wheat in open-top chambers on net CO₂-uptake, Rubisco, leaf senescence and grain filling. New Phytologist 138: 451–460.

Pleijel, H., Ojanperä, K., Danielsson, H., Sild, E., Gelang, J., Wallin, G., Skärby, L. & Sellén, G. 1997. Effects of ozone on leaf senescence in spring wheat - Possible consequences in an open-top chamber experiment in Finland. Phytol 37: 227–232.

–, **Mortensen, L., Fuhrer, J., Ojanperä, K. & Danielsson, H.** 1998. Grain protein accumulation in relation to grain yield of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) grown in open-top chambers with different concentrations of ozone, carbon dioxide and

water availability. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 72: 265–270.

Saito, K., Horie, M., Hoshino, Y. & Nose, N. 1990. High-performance liquid chromatographic determination of glycoalkaloids in potato products. *Journal of Chromatography* 508: 141–147.

Slanina, P. 1990. Assessment of health-risks related to glycoalkaloids ("Solanine") in potatoes: A Nordic view. *Vår föda* 43: 1–14.

Southgate, D.A.T. 1991. *Determination of food carbohydrates*. 2. ed. London, New York: Elsevier Applied Science 232 p. ISBN 1-85166-652-4.

Kestävätkö Suomen viljelykasvit tulevan ilmaston voimakasta UV-B -säteilyä sadon vaarantumatta?

Kaija Hakala

*Maatalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, Peltokasvit ja maaperä,
31600 Jokioinen, kaija.bakala@mtt.fi*

Otsonikerroksen oheneminen pohjoisnavan yllä johtaa lyhytaaltoisen ultraviolett-B (UV-B) -säteilyn lisääntymiseen Suomen alueella. Otsonikerroksen ohentuma on suurinta talvella ja keväällä, jolloin myös on odotettavissa suurimmat lisäykset UV-B -säteilyn voimakkuudessa. Pahimman skenaarion mukaan Suomen aluetta kohtaisi huhtikuussa vuonna 2040 60 % voimakkaampi UV-B -säteily kuin nyt, ja vielä toukokuussa UV-B -säteily olisi 30 % voimakkaampaa kuin nyt. Vaikka tällä hetkellä huhtikuun säteilyhuippu ei osukaan viljelykasvien kasvukauteen, tulevaisuuden lämpimämmässä ilmastossa kasvukausi aikaisuu ja kasvit altistuvat lisääntyneelle UV-B -säteilylle herkässä kasvun alkuvaiheessa. UV-B -säteily on haitallista kasveille mm., koska se vahingoittaa kasvien DNA:ta ja proteiineja sekä tuhoaa solun sisäisiä rakenteita. Kasvit pystyvät kuitenkin välttämään säteilyn vaaroja suojautumalla pigmenttiaineilla ja korjaamalla aiheutuneita vaurioita

näkyvässä valossa. Tämän vuoksi eri puolilla maailmaa tehdyissä tutkimuksissa ei ole aina havaittu kasvien kärsivän lisääntyneestä UV-B -säteilystä. Eri viljelykasvit ja niiden lajikkeet eroavat toisistaan siinä, miten hyvin ne kestävät UV-B -säteilyä sadon määrän ja laadun alentumatta. Suomen UV-B -säteilytasot ovat verraten pieniä esim. Keski-Eurooppaan verrattuna, koska auringon kulma on Suomen kohdalla vinompi kuin alemmilla leveysasteilla. Tästä johtuen on mahdollista, etteivät Suomen oloihin jalostetut kasvit sopeudu lisääntyneeseen UV-B -säteilyyn yhtä helposti kuin alemmilla leveysasteilla viljeltävät kasvit. Maatalouden tutkimuskeskuksessa Jokiosilla on tutkittu erilaisten suomalaisten viljelykasvien ja niiden eri lajikkeiden kykyä sopeutua lisääntyvään UV-B -säteilyyn. Kaikkien kokeissa vuonna 1999 olleiden vilja- ja nurmikasvien sato- ja satokomponenttitulokset esitetään nyt ensimmäistä kertaa.

Avainsanat: ilmasto, ilmastonmuutokset, viljelykasvit, kasvinviljely, ultraviolettisäteily, UV-B

Will Finnish crop plants tolerate future higher UV-B radiation intensities without yield losses?

Abstract

Loss of stratospheric ozone is gradually increasing the intensity of UV-B radiation in Finland. Ozone loss over the North Pole is most marked in winter and spring, and thus the most marked increase in UV-B radiation can be expected in this period. In the worst-case scenario, UV-B radiation intensity would be 60% higher in April 2040 and 30% higher in May than it is at present. The considerable increase in UV-B radiation in April does not currently coincide with the active growing season of cultivated plants in Finland. However, should the climate become warmer in the future, the growing season will start earlier. Cultivated plants may then be exposed to increased UV-B radiation at the beginning of growth, when they are most vulnerable to damage by UV-B. UV-B radiation is harmful to plants because it damages DNA and proteins and disrupts cell structures such as chloroplast thylakoids and other membranes. Plants are able to protect themselves against UV-B radiation by forming UV-B- absorbing pig-

ments (flavonoids, anthocyanins) and by repairing the damage caused by UV-B in visible light. Plants exposed to increased UV-B have not therefore always shown decreased productivity. Plant species and varieties within a species vary greatly in their vulnerability to increased UV-B radiation. The radiation intensities at the high latitudes of Finland are lower than in Continental Europe, for instance. It is therefore possible that plants growing in Finland are more vulnerable to increased UV-B radiation than are plants at lower latitudes. Investigation into the effects of UV-B on Finnish crop plants got under way at the Agricultural Research Centre of Finland in 1998. The exposure to UV-B takes place in an open-air solar tracking system, with a 30% increase in UV-B radiation relative to natural UV-B intensity. The results will be presented at the Symposium of the Scientific Agricultural Society of Finland 10–11 January 2000.

Key words: climate, climate changes, cultivated plants, cultivation, ultraviolet radiation, UV-B

Tulevaisuudessa otsonia vähemmän - UV-B -säteilyä enemmän

Yläilmakehän otsonikerros suojaa maapalloa lyhytaaltoiselta ja energiarikkaalta ultraviolettisäteilyltä. UV-C -säteily (aallonpituus 200–280 nm) pysähtyy kokonaan ylempiin ilmakerroksiin, UV-B -säteilystä (280–320 nm) pääsee maan pinnalle osa.

Otsonikerroksen ohenema yläilmakehässä, otsoniaukko, huomattiin ensimmäisen kerran etelämantereen yllä 1980-luvun puolivälissä. Aukon syntymiseen ovat ainakin osaksi syynä ilmakehään päästetyt CFC-yhdisteet ja halonit, joista irtoava kloori ja bromi tuhoavat katalyyttisesti otsonia stratosfäärin jääkidepilvissä, jos valo on riittävästi tarjolla reaktion käynnissä pitämiseen. Etelämantereen otsonikato on ollut hyvin voimakasta 1990-luvulla, niin että jopa 70 % otsonista on hävinnyt. CFC-päästöille on aikaansaatu rajoituksia, mutta nämä yhdisteet ovat pitkäikäisiä ehtien elinaikanaan hajottaa suuren määrän otsonimolekyylejä. Päästörajoituksetkin koskevat toistaiseksi vain kehittyneitä maita, kun taas kehitysmaat saavat käyttää CFC-yhdisteitä aina vuoteen 2010.

Otsonikerros on ohentunut myös pohjoisnavan ja siis Suomenkin yllä. Suomen Ilmatieteen laitoksen Sodankylän observatorion mittaukset osoittavat, että otsonikerros on ohentunut 3–8 % vuosikymmenessä vuosien 1979–1994 aikana (Taalas et al. 1996). Eniten ohentumaa ($8 \pm 3,4$ %) on havaittu joului- ja maaliskuun välillä, vähemmän touko-elokuussa ($3,2 \pm 1,5$ %) ja syys-marraskuussa ($4,1 \pm 1,2$ %). Lisääntyvät hiilidioksidin ja muiden kasvihuonekaasujen päästöt voivat osaltaan pienentää otsonin määrää arktisilla alueilla senkin jälkeen, kun otsonia tuhoavien kemikaalien päästöt ilmakehään ovat loppuneet kokonaan (Shindell et al. 1998). Kasvihuonekaasujen lisääntyminen vähentää lämmön pää-

syä pois troposfääristä, jolloin stratosfääri jäähtyy ja otsonin tuhoamispaikkana olevien jääkidepilvien määrä lisääntyy. Stratosfäärin jäähtymisen takia otsonikadon on ennustettu olevan suurimmillaan arktisilla alueilla vuosien 2010 ja 2019 välillä, kymmenen vuotta CFC-kaasujen pitoisuuksien huipun jälkeen (Shindell et al. 1998). Toisen skenaarion mukaan otsonikato pahenee aina vuoteen 2040 saakka (Holopainen et al. 1996).

Kun otsonin määrä stratosfäärissä vähenee, UV-B -säteilyä pääsee enemmän maan pinnalle. Talvella ja keväällä, jolloin otsonikato on voimakkaimmillaan, myös UV-B -säteilyn lisäys on suurinta. Pahimman skenaarion mukaan vuonna 2040 UV-B -säteilyn voimakkuus olisi huhtikuussa jopa n. 60 % suurempi nykyiseen verrattuna. Muina kevätkuukausina kasvu olisi alle 30 % (Taalas et al. 1996). Nykyisessä ilmastossa syysviljat ja nurmet ovat maaliskuussa usein vielä lumen alla eikä kevätilviljoja ole vielä kylvetty, joten keväällä lisääntyvän UV-B -säteilyn haitat jäävät pieniksi. Tulevaisuudessa ilmasto saattaa kuitenkin olla Suomessa kasvihuoneilmaston voimistuessa lämpimämpi, etenkin talvikuukausina (Holopainen et al. 1996, Carter 1998). Tällöin lumipeite jää ohuemmaksi, ja kasvukausi voi alkaa jo huhtikuun alkupuoliskolla (Tim Carter, suullinen tiedonanto). Näin ollen viljelykasvit saattavat olla tulevaisuuden ilmastossa juuri kasvunsa alussa ja herkimmillään UV-B -säteilylle, kun säteilyn lisääntyminen on suurinta.

UV-B -säteilyn vaikutukset viljelykasveihin

UV-B -säteily voi vaikuttaa haitallisesti kasveihin mm. tuhoamalla DNA:n rakennetta joko suoraan tai UV-B -valossa muodostuvien vapaiden radikaalien välityksellä. UV-B -säteily voi myös vaurioittaa kasvien solukalvojen ja kloroplastien tylakoidien rakennetta esim. tyydyttymättömien rasva-

happojen peroksidaation ja kalvojen lipidi-koostumuksen muutoksen kautta. UV-B -säteily voi muutenkin estää fotosynteesin toimintaa mm. vaurioittamalla fotosysteemi II:ta, hajottamalla klorofylliä ja tuhoamalla Calvin-kierron entsyymejä, kuten Rubiscoa (Rozema et al. 1997).

Kasvit kuitenkin suojautuvat monin tavoin UV-B -säteilyltä. Samoin kuin ihmisellä ihon pigmentit lisääntyvät UV-B -valolle altistuttaessa, kasveillakin lisääntyvät UV-B -säteilyltä suojaavat aineet, flavonoidit ja antosyaanit. Nämä pigmentit absorboivat UV-B -säteilyn ennen kuin se ehtii solun sisälle aiheuttamaan vaurioita. Lisäksi kasvi pystyy korjaamaan UV-B -valon aiheuttamia DNA:n rakenteen vaurioita näkyvässä valossa (400-700 nm) fotolyaasientsyymien avulla. UV-B -valon aiheuttamien vapaiden radikaalien lisääntymiseltä kasvit suojautuvat aineilla, jotka sieppaavat näitä radikaaleja (superoksididismutaasi, katalaasi). UV-B -valon absorptioitehtävän lisäksi flavonoidipigmentit ovat myös mukana neutraloimassa vapaita radikaaleja. Paitisi biokemiallisia mekanismeja, kasvi voi yrittää paeta haitallista UV-B -säteilyä myös kasvutavan muutoksilla: pienemmillä ja paksummilla lehmillä, lyhyemmällä varrella ja muuttuneella lehtiasennolla (Rozema et al. 1997).

Koska kasvi ottaa lisääntyvässä UV-B -valossa käyttöönsä monenlaisia suojamekanismeja ja pystyy korjaamaan UV-B -säteilyn aiheuttamia vahinkoja näkyvän valon avulla, kasvin fotosynteesi ja biomassan kertyminen ei aina muutu UV-B -säteilyn lisääntyessä. Sekundaariaineiden kuten tanniinien ja ligniinien lisääntyminen UV-B -säteilyn lisääntyessä voi kuitenkin vaikuttaa rehuna käytettävien kasvien makuun ja sulavuuteen. Myös kasvijätteiden hajoaminen maassa voi vaikeutua ligniinipitoisuuden kasvaessa, jolloin tyypeä vapautuu kasvijätteistä heikommin. Jos UV-B -säteily heikentää siitepölyn itämistä tai vähentää kukinnan määrää (Bornman & Teramura 1993), silloin sadon laadun lisäksi myös sadon määrä voi heikentyä viljakasveilla pienentyneen siemenluvun takia. Viljakasveil-

la tehdyissä kokeissa UV-B -säteily on joko heikentänyt tai lisännyt satoa tai sillä ei ole ollut mitään vaikutusta, riippuen kasvilajista ja kasvilajikkeesta (Bornman & Teramura 1993). Koska eri kasvit ja kasvilajikkeet ovat eri tavalla herkkiä lisääntyneelle UV -säteilylle, sadon menetyksiltä voidaan välttää lisääntyneessä UV-B -säteilyssä valitsemalla viljelyyn kasvilajeja ja lajikkeita, jotka eivät ole herkkiä UV-B -säteilylle. Viljelykasvien sadon ja laadun varmistamiseksi tulevaisuuden ilmastossa olisi satsattava sekä nykyisten UV-B -valoa kestävien viljelykasvien fysiologian tutkimiseen että uusien satoisten ja hyvälaatuisten UV-B -valoa kestävien lajikkeiden jalostukseen.

UV-B -säteilyn vaikutusten tutkimus Suomessa

Suomi sijaitsee korkeilla leveysasteilla eikä ole kesälläkään yhtä suorassa kulmassa auringon kuin päiväntasaajaa lähempänä olevat alueet. Tämän vuoksi sekä auringon säteily että UV-B -säteily ovat täällä pienemmät kuin alemmilla leveysasteilla. Ero UV-B -säteilyssä on havaittavissa jo Etelä- ja Pohjois-Suomenkin välillä, samoin Keski-Euroopan maat saavat enemmän UV-B -säteilyä kuin eteläinen Suomi (Taalas et al. 1996). UV-valon määrään vaikuttavat myös vuoden- ja vuorokaudenaika sekä pilvisuus. Koska Suomessa kasvavat kasvit ovat sopeutuneet pienempiin UV-B -säteilytasoihin kuin alempien leveysasteiden kasvit, ne voivat olla herkempiä UV-B -säteilyn lisääntymiselle. Tämän vuoksi UV-B -säteilyn vaikutuksia on tutkittava myös Suomessa. Tutkimusta onkin tehty jo muutamana vuoden ajan. Pisimpään on tutkittu luonnonkasveja, etenkin koivua, mm. Joensuu- ja Kuopion yliopistoissa. Oulun yliopistossa UV-B -säteilyn vaikutusten tutkiminen on keskittynyt havupuihin ja Lapin tunturialueen varpukasveihin. Suomessa tehtävät tutkimukset on viimeisten muutamana vuoden ajan suoritettu pääasiassa avoi-



Kuva 1. Viljelykasveja UV-B-
-altistuskäsittelyssä vuonna
1999 (kuva: Kaija Hakala).

men taivaan alla, luonnollisessa valossa, johon on lisätty tietty määrä UV-B- ja UV-A-valoa. Tällainen koesysteemi on ihanteellinen, sillä siinä kasvien saama näkyvä valo on riittävän korkea korjausmekanismien ylläpitämiseksi, ja näkyvän valon ja UV-B-säteilyn suhde on normaali. Aiemmin paljon käytetyissä kasvatuskaappikokeissa UV-B-säteilyn aiheuttamat vauriot olivat tavallisesti suuria sen vuoksi, että UV-B-säteilyn suhde näkyvään valoon oli epänormaalin suuri. Havupuilla ja varpukasveilla on tehty UV-B-valon lisäskokeiden rinnalla kokeita, joissa UV-B-säteily on poistettu normaalista säteilystä. Tämäntyyppisillä kokeilla voidaan selvittää, paljonko kasvit kärsivät jo nykyisistä UV-B-säteilytasoista.

UV-B-säteilyn vaikutuksia viljelykasveihin on tutkittu Maatalouden tutkimuskeskuksessa Jokioisilla vuosina 1998 ja 1999 (Kuva 1). Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, mitkä suomalaiset viljelykasvit tai niiden lajikkeet ovat herkkiä, mitkä kestäviä voimistuneelle UV-B-säteilylle. Tarkoituksena on valita jatkotutkimuksiin muutamia kasveja, joista osa on herkkiä ja osa kestäviä UV-B-säteilylle. Näiden kasvatapaa ja fysiologiaa tutkimalla voidaan selvittää avaintekijät, joiden avulla kasvi selviytyy kohonneesta UV-B-säteilystä sadon määrän ja laadun kärsimättä. Kokeisiin valittiin vuonna 1998 kolme lajiketta tavallisimmista suomalaisista viljelykasveista: vehnä, ohra, kaura, timotei, nurminata, apila ja herne. Lisäksi tutkimuksessa oli muka-

na erikoiskasvit pellava, tattari, sinappi ja tilli osana Marjo Keskitalon tutkimusta ”Kasvit biomolekyylien tuottajina”. Jatkotutkimuksiin vuonna 1999 valittiin samat vilja- ja nurmikasvit kuin vuonna 1998, erikoiskasvit ja herne jätettiin pois, ja uutena kasvina otettiin mukaan peruna. Osana Kuopion yliopiston ekologisen ympäristötieteen laitoksen tutkimuksia mukana oli myös tavallisimpia suomalaisia jäkäliä sekä mansikan eri lajikkeita (Holopainen et al. 1999).

Altistukset UV-B-säteilylle tehtiin yhteistyössä Kuopion yliopiston ekologisen ympäristötieteen laitoksen kanssa heidän kehittämällään laitteistolla. Altistuksissa UV-B-säteilyä lisättiin niin, että säteilyn määrä oli 30 % suurempi kuin luonnon UV-B-säteily. Systeemi vaati ajantasaisen seurantamenetelmän, joka toimi UV-B-sensorien ja tietokoneen ohjaamana siten, että UV-B-altistuksissa UV-B-säteilyä tuottavien lamppujen teho säätyi jatkuvasti niin, että UV-B-säteilyn määrä oli 30 % isompi altistuskäsittelyissä kuin kontrollikäsittelyissä. Kontrollikäsittelyjä oli kaksi. Toisessa kasvit saivat saman määrän UV-A-säteilyä kuin UV-B-altistuksessa olevat kasvit, kuitenkin ilman UV-B-valoa. Toinen kontrolli oli kokonaan lisä-UV-valoa ilman jäävä luonnon valossa kasvava kontrolli. Kaikki käsittelyt toistettiin kolmesti sekä vuonna 1998 että vuonna 1999. Altistussysteemin toiminta selvitetään tarkemmin valmisteilla olevassa julkaisussa.

Alustavat tulokset viljelykasvien altistuskokeista

UV-B -altistukset jäivät hyvin pieniksi vuonna 1998 erittäin sateisen ja pilvisen kesän vuoksi. Onneksi vuoden 1999 kasvu-kausi oli aurinkoinen, sillä se mahdollisti UV-B -säteilyn tuntuva lisäämisen UV-B -altistuskäsittelyihin.

Koska vuonna 1998 altistuksiin ei juuri päästy pilvisen sään takia, ei tuloksissakaan ollut havaittavissa suuria eroja UV-B- ja kontrollikäsittelyjen välillä. Vuonna 1999 kaikki ruudut saivat enemmän UV-B -säteilyä, koska luonnon UV-B -säteily oli huomattavasti runsaampaa kuin vuonna 1998. Kasvit näyttivät kuitenkin kasvavan huomattavasti paremmin sekä kontrolloitettuna altistuskäsittelyissä vuonna 1999 kuin vuonna 1998, luultavasti koska myös näkyvän valon intensiteetti oli paljon suurempi. Kasveissa ei ollut havaittavissa selviä vaurioita UV-B -altistuksissa vuonna 1999, vaikka UV-B -tasot olivat monina päivinä

hyvinkin korkeita. Kasvustonäytteiden tarkempi tutkiminen syksyllä 1999 saattaa kuitenkin paljastaa käsittelyjen välisiä eroja esim. viljojen siemenluvussa ja sekundaari-aineiden määrissä ja siten sadon muodotuksessa, sadon laadussa ja sulavuudessa. Alustavat tulokset ovat selvillä vuoden 1999 loppuun mennessä ja ne esitetään ensi kertaa Maataloustieteen päivillä 11. tammikuuta 2000.

Sään ja säteilytasojen vaihtelut ovat ongelmana peltokokeissa, jotka olisivat voitava toistaa muutaman vuoden ajan luotettavien tulosten saamiseksi. Pitkäaikaisten tekniikaltaan ja työvoimaltaan kalliiden UV-B -altistuskokeiden ylläpito ei kuitenkaan ole tulevaisuudessa mahdollista Maatalouden tutkimuskeskuksessa ilman ulkopuolista rahoitusta. Jos ulkopuolista rahoitusta ei saada, nyt esitellyt alustavat tulokset jäänevät ainoaksi tietolähteeksi suomalaisten viljelykasvien sopeutumisesta lisääntyvään UV-B -säteilyyn. Jo kahden altistusvuoden säätiloissa ilmenneet suuret erot viittaavat kuitenkin siihen, ettei lopullisia johtopäätöksiä UV-B -säteilyn vaikutuksista viljelykasveihin voida vielä tässä vaiheessa tehdä.

Kirjallisuus

Bornman, J.F. & Teramura, A.H. 1993. Effects of ultraviolet-B radiation on terrestrial plants. In: Young, A.R., Björn, L.O., Moan, J. & Nultsch, W. (eds.). *Environmental UV Photobiology*. New York: Plenum Press. p. 427–471. ISBN 0-306-44443-7.

Carter, T.R. 1998. Changes in the thermal growing season in Nordic countries during the past century and prospects for the future. *Agricultural and Food Science in Finland* 7: 161–179.

Holopainen, E., Heikinheimo, M. & Kulmala, M. 1996 (toim). Ilmakehä. In: Kuusisto, E., Kauppi, L. & Heikinheimo, P. (eds.). *Ilmastonmuutos ja Suomi*. Helsinki: Yliopistopaino. p. 11–69. ISBN 951-570-296-8.

Holopainen, J., Suoninen, T., Hakala, K., Tiilik-

kala, K. 1999. Effects of enhanced UV-B Radiation on susceptibility of strawberry to leaf beetles. In: *Delegate Manual: Food & Forestry: Global Change and Global Challenges, The GCTE Focus 3 Conference, The University of Reading, UK, Monday 20-Thursday 23 September 1999. Poster abstracts.* p. 30.

Rozema, J., van de Staaij, J., Björn, L.O. & Caldwell, M. 1997. UV-B as an environmental factor in plant life: stress and regulation. *Tree* 12: 22–28.

Shindell, D.T., Rind, D. & Lonergan, P. 1998. Increased polar stratospheric ozone losses and delayed eventual recovery owing to increasing greenhouse-gas concentrations. *Nature* 392: 589–592.

Taalas, P., Kyrö, E., Jokela, K., Koskela, T., Leszczynski, K., Rummukainen, M. Damski, J. & Supperi, A. 1996. Stratospheric ozone depletion and solar UV radiation in the Arctic and its potential impact on human health in Finland. *Geophysica* 32: 127–165.

Ilmastonmuutos ja sen vaikutus kevätiljojen viljelyyn Suomessa

Riitta Saarikko

Överbyntie 14 S, 02400 Kirkkonummi, Riitta.Saarikko@saunalabti.fi

Teollistumisen myötä ilmakehän koostumus on muuttunut ihmisen toimien kuten fossiilisten polttoaineiden käytön ja maankäytön muutosten seurauksena. Ilmakehään päätyy sekä ns. kasvihuonekaasuja: hiilidioksidia (CO₂), metaania (CH₄), halogenoituja hiilivetyjä eli CFC-kaasuja, dityppioksidia (N₂O) ja otsonia (O₃) että toisaalta aerosoleja, mm. rikkiyhdisteitä. Ilmakehän säteilytalous riippuu sen koostumuksesta. Nykyisen tietämyksen mukaan koostumuksen muutokset johtavat erilaisiin ilmastomuutoksiin riippuen sijainnista maapallolla. Ilmastomallien avulla on arvioitu, että vuoteen 2100 mennessä maapallon keskilämpötila olisi kohonnut 1–3,5 °C, sademäärässä olisi tapahtunut sekä alueellisia että vuodenaikojen välisiä muutoksia sekä merenpinta olisi kohonnut 15–95 cm nykyiseen nähden (Watson et al. 1998). Arvioitu muutos on suurempi kuin yksikään toinen viimeisten 10 000 vuoden aikana. Kasvihuoneilmaston voimistumisesta johtuvien ilmastomuutosten vaikutuksia maatalouteen on tutkittu vilkkaasti eri puolilla maailmaa ja myös Suomessa viimeisen vuosikymmenen aikana (mm. Carter et al. 1999).

Tässä tutkimuksessa selvitettiin, miten kevätiljojen alueellinen viljelypotentiaali

muuttuu vuoteen 2050 mennessä Suomessa. Viljelypotentiaalilla tarkoitetaan sekä lajin ilmastollista viljelykelpoisuutta että odotettavissa olevaa sadon määrää. Tutkimuksessa hyödynnettiin matemaattisia malleja, jotka simuloivat kasvin kehitystä ja kasvua. Mallilaskelmat tehtiin Suomea kattavasti 10 × 10 km:n hilaruuduille. Jokaisessa hilaruudussa oli lähtötietoina käytettävissä säätietoja perusjakson (1961–1990) ilmastosta, ilmastomuutosta kuvaavien skenaarioiden arvioita tulevista oloista, tietoa peltojen sijainnista ja maalajeista, paikakokohtaisia viljakoetuloksia sekä alueellista tilastotietoa maataloustuotannosta.

Tutkimuksen tulokset osoittavat, että esimerkiksi kevävehnän viljely laajeni 160–180 km pohjoisemmaksi jokaista 1 °C vuosikeskilämpötilan lisäystä kohden. Tämä merkitsee pohjoisrajan siirtymistä 10–80 km vuosikymmentä kohden, riippuen arvion pohjana olevasta ilmastoskenaariosta. Mallilaskelmien mukaan nykyisin viljelyssä olevan kevävehnälajikkeen sadon määrä lisääntyisi nykyisillä viljelyalueilla Etelä-Suomessa ja toisaalta viljelyvarmuus kasvaisi vuosittaisten satovaihteluiden pienentyessä.

Avainsanat: ilmasto, ilmastomuutokset, mallintaminen, kartoitus, kevävehnä, Triticum aestivum, CERES-Wheat, fenologinen malli, skenaario

Kirjallisuus:

Carter, T.R., Saarikko, R.A. & Joukainen, S.K.H. 1999. Modelling climate change impacts on wheat and potato in Finland. In: Downing, T.E. et al. eds.). Climate change, climatic variability and agriculture in Europe: An integrated assessment. Research report No. 21, Oxford, UK: Environmental Change Unit, University of Oxford. (In press)

Watson, R.T., Zinyowera, M.C., Moss, R.H. & Dokken, D.J. (eds.) 1988. IPCC. The regional impacts of climate change. An assessment of vulnerability. Cambridge: Cambridge University Press. 517 p.

Posteritiivistelmät

Vadelman ja mansikan talvenkestävyyden parantaminen lajikevalinnan ja viljelytekniikan keinoin

Leena Lindén¹⁾ & Pauliina Palonen¹⁾

¹⁾ *Helsingin yliopisto, Kasvintuotantotieteen laitos, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto, leena.linden@helsinki.fi*

Talvenkestävyys on suomalaisen marjanviljelyn keskeinen ongelma. Heikosta talvehetimitisestä seuraa satomäärien suuri vuotuinen vaihtelu, mikä haittaa tuotannon järjestyksellistä kehittämistä ja suunnittelua. Tämän kolmivuotisen (1998–2000) maa- ja metsätalousministeriön rahoittaman hankkeen tavoitteena on edistää suomalaista marjanviljelyä selvittämällä nykyisten ja uusien mansikka- ja vadalmalajikkeiden talvenkestävyyttä ja kehittämällä viljelytekniisiä keinoja kestävyiden lisäämiseksi. Samalla tutkitaan kylmänkestävyyteen vaikuttavia fysiologisia tekijöitä ja kehitetään monivuotisten puutarhakasvien talvenkestävyyden mittaamiseen sopivia menetelmiä.

Vadalmalla tutkittiin satoversojen poistoajankohdan vaikutusta versojen ja silmu-
jen hiilihydraattivarastoihin ja sitä kautta talvenkestävyyteen. Lisäksi selvitettiin gly-

siinibetaiinien käyttöä vadelman talvehetimit-
sen varmentamisessa sekä vadelman silmu-
jen karaistumiskykyä ja sen yhteyttä silmu-
jen kosteuspitoisuuden muutoksiin. Jatkos-
sa tutkitaan lepotilan vaikutusta vadelman
kylmänkestävyyden purkautumiseen ja ky-
kyyn uudelleen karaistua. Karaistumisen ai-
kaisia solutason anatomisia muutoksia ku-
vataan pyyhkäisyelektronimikroskopian
avulla.

Mansikalla tutkitaan taimityypin (valio-
taimi, varmennettu ja tavallinen taimi) vai-
kutusta talvenkestävyyteen, jota mitataan
sekä laboratoriossa tehtävin kylmätastein
että kenttähavainnoin. Mittausmenetelmiä
kehitetään vertaamalla kahden erityyppi-
sen, säädellyissä oloissa tehtävän mittaus-
sarjan tuloksia. Näissä kokeissa on mukana
muutamia uusia mansikkajalosteita ja toi-
saalta yleisesti viljeltyjä, jo kestävydeltään
tunnettuja lajikkeita.

***Solanum acaule* (+) *Solanum tuberosum* -fuusiot viljellyn perunan perimän monipuolistamisessa somaattisen hybridisaation avulla**

Jaana Laurila¹⁾, Juha Larkka¹⁾, Airi Tauriainen¹⁾ & Veli-Matti Rokka¹⁾

¹⁾ *Maatalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, Peltokasvit ja maaperä, Myllytie 10, 31600 Jokioinen, jaana.laurila@mtt.fi*

Solanum acaule on villi tetraploidi ($2n = 4x = 48$) perunalaji, jolla on resistenssiominaisuuksia useita kasvitautteja, kuten virustauteja (PVX, PVY ja PLRV), ja perunan tuhoalaisia vastaan. *S. acaule* sietää myös hallaa, kylmä- ja kuumajaksoja sekä kuivuutta viljeltyä perunaa (*S. tuberosum*) paremmin. Perunan vaalea rengasmätä on *Clavibacter michiganensis* ssp. *sepedonicus* (Cms) -bakteerin aiheuttama vaarallinen kasvintuhooja, joka huonontaa perunan laatua. *S. acaule* -lajin rengasmätäkkestävyyttä on tutkittu ja lajin genotyyppi #7–8 on havaittu immuuniksi Cms-bakteerin aiheuttamaa saastuntaa vastaan.

S. acaule- ja *S. tuberosum* -lajien suvullinen risteyttäminen on hankalaa, joten ominaisuuksien siirtämiseen käytettiin somaattista hybridisaatiota. Protoplastifusioissa vanhempaislinjoina olivat *S. acaule* - ja *S. tuberosum* -lajien dihaploidit ($2x$) ja tetraploidit ($4x$) linjat. Tämän jälkeen hybrideille tehtiin ponsiviljely somatohaploidien tuottamiseksi. Muodostuneiden linjojen ploidiatasot määritettiin virtaussytometrillä ja laskemalla kasvien kromosomiluvut. Lisäksi tutkimme rengasmätäkkestävyyttä tet-

raploidilla *S. acaule* -linjalla, sen dihaploideilla ja somaattisilla hybrideillä tautitesteuksin ja immunofluoresenssin menetelmää (IFAS) käyttäen.

Somaattisissa hybridisaatioissa tuotettiin perimältään useita hybridiyhdistelmiä, jotka olivat tetra- tai heksaploideja vanhemmista riippuen. Hybrideistä ponsiviljelyllä tuotetut somatohaploidit olivat suurimmaksi osaksi di- ja triploidisia. Somaattisten hybridien koirasfertiliteetti oli korkeahko (n. 60 %), mutta triploidit somatohaploidit olivat steriilejä.

Somaattiset hybridit ovat hyvin mielenkiintoisia *S. acaule*- ja *S. tuberosum* -lajien haluttujen ominaisuuksien yhdistämiseksi. Sytogeneettisten tutkimusten (mm. GISH-analyysit) avulla pyritään arvioimaan hybridien perimän pysyvyyttä, suvullista tekijäinvaihtoa ja ominaisuuksien kytkeytymistä tiettyihin genomien osiin. Dihaploideja linjoja analysoimalla voidaan tutkia *S. acaule* -lajin mahdollista rengasmätäimmuniteetin geneettistä taustaa ja somaattisten hybridien avulla selvittää, voiko immuniteetti ilmetä viljellyn perunan perimässä.

Agronomisiin ominaisuuksiin vaikuttavien kvantitatiivisten geenilokusten paikantaminen ohralla

Outi Manninen¹⁾ & Eero Nissilä²⁾

¹⁾ *Maatalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, Peltokasvit ja maaperä, Myllytie 10, 31600 Jokioinen, outi.manninen@mtt.fi*

²⁾ *Boreal Suomen Kasvinjalostus, Myllytie 10, 31600 Jokioinen*

Agronomisiin ominaisuuksiin vaikuttavien geenien lukumäärää ja vaikutusta tutkittiin monitahoisten ohralajikkeiden Rolfi x Botnia risteytyksestä ponsiviljelyllä tuotetuissa 200 kaksoishaploidissa (=DH) linjassa. Ominaisuudet mitattiin kolmivuotisissa kenttäkokeissa kolmella koepaikalla (Jokioinen, Ruukki, Laukaa). Ominaisuuksia oli yhdeksän: tähkälletuloon vaadittava lämpösumma (preH), tähkälletulosta tuleentumiseen kulunut lämpösumma (postH), korrenpituus (SL), sato, hehtolitraino (HLW), tuhannen jyvän paino (TGW), lajite (GR2.5), tähkän pituus ja jyvien lukumäärä per tähkö. Kerranteettomissa kokeissa käytettiin Rolfia ja/tai Botniaa toistuvana mittarina ja DH-linjojen arvoja korjattiin NNA-analyysillä. Samat DH-linjat tutkittiin DNA-tasolla ja DNA-merkeistä koottiin kytkentäkarta. Karttaan paikannettiin yhteensä 111 DNA-merkkiä (RAPD, RFLP ja SSR). Ominaisuuksiin vaikuttavat geenit (QTL) paikannettiin MQTL -ohjelmalla, regressioon perustuvia SIM (Simple Interval Mapping) ja sCIM (Simplified Com-

posite Interval Mapping) menetelmiä käytäen; 5 %:n merkitsevyysraja määritettiin tuhannen permutaation avulla.

Tutkimuksessa löydettiin yhteensä 34 ominaisuuksiin vaikuttavaa QTL:ää, jakautuen eri ominaisuuksille seuraavasti: preH 3 kpl, postH 3 kpl, SL 4 kpl, sato 3 kpl, HLW 5 kpl, TGW 7 kpl, GR2.5 6 kpl, jyvien lukumäärä per tähkö 1 kpl ja tähkän pituus 2 kpl. Kaikista kytkentäkartanromosomeista (1H puuttui) löytyi agronomisiin ominaisuuksiin vaikuttavia lokuksia. Monet löydetyistä alueista vaikuttivat useaan agronomiseen ominaisuuteen, erityisesti kromosomeissa 2H ja 7H. Kyseessä voi olla joko pleiotrooppisesti vaikuttava lokus tai usean eri geenin tiivis kytkentä. Ominaisuuksissa preH, postH, SL, TGW ja GR2.5 havaittiin sekä päävaikutuksia että QTL x ympäristö- yhdysvaikutuksia; yhdysvaikutukset johtuivat pääosin QTL:n vaikutuksen suuruuden eroista eri ympäristöissä. Epistaattisia interaktioita havaittiin TGW:hen ja GR2.5:hen vaikuttavissa QTL:ssä.

Kylmänkestävästä villiperunasta (*Solanum commersonii* Dun.) tuotettu hybridijälkeläistä (*S. commersonii* x *S. tuberosum* SPV11) perunan kylmänkestävyyshäiriöiden tutkimisessa

Mervi Seppänen¹⁾, Saija Perälä¹⁾, Susanne Somersalo¹⁾ & Eija Pehu¹⁾

¹⁾ Helsingin yliopisto, Kasvintuotantotieteen laitos, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto, mervi.seppanen@helsinki.fi

Pelto-oloissa perunan hallavauriot ovat usein seurausta useiden stressien yhteisvaikutuksesta. Mikäli yölämpötila on alle kasvun kylmänkestävyyden, voi jäätyminen yksin aiheuttaa hallavauriot. Tämän lisäksi voi kirkas auringonpaiste hallanyön jälkeisenä aamuna aiheuttaa ylimääräisen viritysen kertymistä. Tässä tutkimuksessa selvitettiin viljeltävän perunalajikkeiden (*Solanum tuberosum* L.) sekä villiperunahybridien (*S. commersonii* Dun. x *S. tuberosum* SPV11) yhteyttämiskyvyn palautumista simuloidun hallayön jälkeen fluoresenssimittauksen avulla. Samanaikaisesti tutkittiin kylmänkestävältä villiperunalajikkeiden (*S. commersonii*) eristettyjen kylmäohjailtujen geenien (*Scgst1*, *Schsc70*, *Scdbn*, *OSML13*) ilmenemistä hallayön aikana.

Viljeltävien perunalajikkeiden kylmänkestävyydeksi mitattiin $-2,5 - -3$ °C, eikä lajikkeiden välillä havaittu merkittäviä kestävyseroja. Villiperunahybridistä tuotetusta itsesiitosjälkeläisestä (S1) löydettiin kylmänkestävyydeltään molempia vanhempia muistuttavia yksilöitä (kylmänkes-

tävyys välillä $-4,5$ °C ja $-2,8$ °C). Kaikki S1-jälkeläiset olivat lisäksi perineet *S. commersonii*in kyvyn karaistua. Kun S1-jälkeläisten yhteyttämiskyvyn palautumista mitattiin hallayön jälkeen ja verrattiin viljeltäviin perunalajikkeisiin, havaittiin kaikkien S1-hybridien palautuvan nopeasti, kun taas viljeltävissä lajikkeissa vauriot olivat palautumattomia. S1-hybridit kykenivät palautumaan siitä huolimatta, että joissakin tapauksissa yölämpötila oli alle yksilön kylmänkestävyyden. Siten karaistumiskyvyn siirtäminen viljeltävään perunaan on mielekästä, vaikka itse kylmänkestävyys pysyisi muuttumattomana. Kylmäohjailtujen geenien, *Scgst1* ja *Scdbn*, ilmeneminen S1-hybrideissä korreloi fotosynteesikyvyssä tapahtuneiden muutosten kanssa. Viljellyssä perunassa, jossa fotosynteesikyvyssä tapahtuvat muutokset olivat palautumattomia, näiden geenien ilmenemistä ei havaittu. *Scgst1*- ja *Scdbn*-geenituotteet voivat olla eräs fotosynteesikyvyltään kestävämpien S1-hybridien mekanismi suojautua ylimääräisen viritysen aiheuttamilta vaurioilta.

Gerberalajikkeiden valinta alhaiseen valotasoon fotosynteesiominaisuuksien perusteella

Nina Sevelius¹⁾ & Susanne Somersalo¹⁾

¹⁾ *Helsingin yliopisto, Kasvintuotantotieteen laitos, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto, nina.sevelius@helsinki.fi*

Tutkimuksessa kuvaillaan alhaisen valon vaikutusta fotosynteesiin ja sadontuottoon kolmella gerberalajikkeella, jotka reagoivat valotasoon eri tavoin. Tarkoituksena on löytää menetelmä, jolla voidaan nopeasti ja taloudellisesti valita ne lajikkeet, jotka sopivat parhaiten tekovaloviljelyyn vähävaloisena talviaikana. Lajikevalinnan optimoiminen suomalaisiin viljelyoloihin nostaisi Suomen kilpailukykyä kasvihuonetuotannossa. Mikrolisätyjen gerberataimien Lamborghini, Lynx sekä Terra Regina fotosynteesiominaisuudet mitattiin 3–4 viikkoa juurrutuksen jälkeen. Taimet (15 kpl/lajike/valotasoo) kasvatettiin kasvatuskaapeissa kahdessa valotasossa, 80 ja 400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Muut kasvatusolot olivat samat: lämpötila 18 °C, päivänpituus 12 h, ilmankosteus 70 % ja hiilidioksidipitoisuus 600 ppm. Kastele tehtiin käsin ja taimet lannoitettiin Kekkilän vesiliukoisella Superex-4 -lannoitteella.

Taimista mitattiin seuraavat ominaisuudet: 1) hiilidioksiidin kulutus eri valotasooilla (0, 50, 100, 200, 500, 1000, 2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ja lajikkeiden valokompensaatiopiste, 2) hapentuotto eri valotasooilla (0, 40, 80, 120, 160, 400, 720 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), jolloin ilmarakojen osuus eliminoidaan ja saadaan esille yhteyttämisen biokemiallinen osuus, 3) lehtien klorofyllin fluoresenssi, joka kuvaa erilaisten fysiologisten stressien ilmenemistä sekä kokeen lopussa 4) taimien tuorepaino ja 5) lehtiala. Myös lehtien morfologiaa tutkittiin laskemalla ilmarakojen määrä pinta-alaa kohden, kloroplastien määrä solua kohden sekä pylvästylppykerrosten määrä lehdessä.

Tutkimus osoitti, että näillä menetelmillä saadaan esille joitakin eroja lajikkeiden välillä. Kasvatusvalon määrä vaikuttaa selvästi kaikkiin mitattuihin ominaisuuksiin, mutta eri tavalla eri lajikkeissa.

Pollen as an alternative food source for *Orius laevigatus* (Heteroptera: Anthocoridae): a behavioural study

Jan Hulshof¹⁾ & Olga Jurchenko²⁾

¹⁾ *Agricultural Research Centre, Plant Production Research, Plant Protection, FIN-31600 Jokioinen, Finland, jan.hulshof@mtt.fi*

²⁾ *St. Petersburg State Agricultural University, Department of Biological Control, Plant Protection Faculty, 189620 St-Petersburg-Pushkin, Russia*

The suitability of pollen as an alternative food source for the preventative introduction of the predator bug, *Orius laevigatus*, in the control of the Western Flower Thrips (WFT) on greenhouse cucumber was studied. Pollen location and the preferences of the bug were observed. The pollen were offered in a petri dish or on a leaf. The time the bug needed to find the pollen was unrelated to either the way in which the pollen were offered or the pollen species. The most preferred pollen, sweet pepper, were offered together with prey (WFT) to starved and unstarved bugs in two choice situations. The

bugs preferred the prey to the alternative food source. The results suggest that it is possible to introduce the bugs preventatively with pollen, since some pollen species support bug development. The bugs are able to find the pollen and do not switch to the alternative food source when insect prey is available. Our former studies showed, however, that pollen also enhances the population development of the thrips. Further studies will therefore concentrate on the thrips predation rate of the bugs in the presence of pollen.

Kalifornianripsiäisen biologinen ja integroitu torjunta leikkoruusulla

Irene Vänninen¹⁾, Marika Linnamäki¹⁾ & Sari Jaaksi¹⁾

¹⁾*Maatalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, Kasvinsuojelu, 31600, Jokioinen, irene.vanninen@mtt.fi, marika.linnamaki@mtt.fi*

Kalifornianripsiäisiä torjutaan ennakkoon, jos on odotettavissa, että niitä ilmaantuu viljelmälle. *Amblyseius cucumeris* -petopunkkeja levitetään kerran 150 kpl/m² ja seuraavat levitykset (100 kpl/m²) tehdään neljän viikon välein. Ennakkotorjunnan avulla ruusukasvusto pysyy puhtaana mahdollisimman pitkään suhteellisen alhaisin kustannuksin.

Kesän 1998 kokeessamme käytimme kasvualustaan levitettäviä *Hypoaspis aculeifer* -petopunkkeja, jotka saalistavat ripsiäisten koteloita. *Hypoaspiksista* ei ollut merkittävää apua kalifornianripsiäisten torjunnassa edes lisäämällä punkkeja toistuvasti. Tulos oli sama sekä avoturpeessa että kivivillasäkeissä viljellyillä leikkoruusuilla. *Amblyseius cucumeris* -petopunkit torjuivat ripsiäiset yksin myös niissä koehäkeissä, joissa käytettiin molempia petopunkkeja yhtäaikaaisesti. *Amblyseiusten* torjuntateho oli parempi kivivillassa kuin turpeessa kasvaneilla ruusuilla johtuen kalifornianripsiäisten huonommasta koteloitumismenestyksestä kivivillassa.

Lämpimänä kesäaikana pelkkä biologinen torjunta ei riitä pitämään ruusukasvustoa riittävän puhtaana. Kesän 1999 kokeessamme *Amblyseiuksia* levitettiin Escimoruusukasvustoon kahden viikon välein keskimäärin 1000 kpl/m², mutta torjuntatuloksen laadulla mitattuna ei ollut riittävä. Käyttämillämme *Amblyseius*-määrillä neljän kesäkuukauden biologisen torjunnan kustannus nousi 1000 m²:tä kohti 12 250 markkaan. Biologisen torjunnan todelliset kustannukset sijoittuvat ennakkotorjunnan kustannusten ja kesäajan korkeiden kustannusten välille.

Integroidulla torjunnalla kalifornianripsäiset pystytään pitämään hallinnassa molemmilla kasvualustoilla jopa kesällä. Kokeessamme *Amblyseiuksia* levitettiin sekä biologisen että integroidun torjunnan osastoihin. Integroidun torjunnan osastoissa tehtiin lisäksi kaksi peräkkäistä fiproniilikastelukäsittelyä viikon välein, kun ripsiäisten määrä alkoi selvästi nousta.

Perunan harmaahilseen torjunta *Gliocladium catenulatum* -biofungisidilla

Asko Hannukkala¹⁾ & Hanna Avikainen¹⁾

¹⁾ Maatalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, Kasvinsuojelu,
31600 Jokioinen, asko.hannukkala@mtt.fi

Harmaahilse, *Helminthosporium solani*, aiheuttaa perunalle vakavia laaturappioita varastoinnin aikana. Vuonna 1998 patentoidun *Gliocladium catenulatum* -sienen, rodun J1446 tehoa hilsettä vastaan tutkittiin viidessä laboratorio- ja kolmessa kenttäkokeessa vuosina 1995–1999. Tarkoituksena oli löytää vaihtoehto kemialliselle torjunnalle.

Luontaisesti saastuneet perunan mukulat (Asterix tai Matilda) upotettiin *G. catenulatum* -formulaatti- tai imatsaliili-liuokseen (0,15 %) tai veteen. Käsittelyjen vaikutusta harmaahilseen säilymiseen perunan kuoressa tutkittiin inkuboimalla mukuloista korkkiporalla leikattuja 10 mm:n läpimittaisia kiekkoja vesiagarilla. Neljän viikon inkuboinnin jälkeen mukulakiekkojen pinnat tarkastettiin stereomikroskoopilla ja harmaahilseen itiötuotanto arvioitiin asteikolla 0–3. Eri varastointilämpötilojen (5, 10 ja 20 °C) vaikutusta käsittelyjen tehoon selvitettiin kolmessa koesarjassa. Tehon säilymistä mukuloissa lokakuusta toukokuuhun tutkittiin yhdessä kokeessa ja erilaisia käsittelytapoja yhdessä kokeessa. Käsittelyjen

vaikutusta perunan kasvuun ja satoon tutkittiin lisäksi kenttäkokeissa.

G. catenulatum vähensi harmaahilseen itiötuotantoa yhtä tehokkaasti kuin imatsaliili. *G. catenulatum* tehosi harmaahilseeseen erinomaisesti, kun varaston lämpötila oli 4 ja 20 °C, mutta 10 °C:ssa varastossa teho oli heikko useissa kokeissa. Varastointilämpötilalla ei ollut vaikutusta imatsaliilin tehoon. *G. catenulatum* ja imatsaliili heikensivät harmaahilseen itiötuotantoa varastossa lokakuusta istutukseen saakka. Perunoiden upotuskäsittely vähensi itiöiden määrää tehokkaammin kuin mukuloiden sumutus. Lisäksi *G. catenulatum* esti perunaseitin (*Rhizoctonia solani*) kasvua perunan paloilla. Kenttäkokeissa kemiallinen tai *G. catenulatum* -peittäus eivät lisänneet merkittävästi mukulasatoa, mutta harmaahilseisiä mukuloita oli sadossa vain 10–15 %, kun käsittelemättömän koejäsenen sadosta 25 % oli hilseisiä.

G. catenulatum vähentää harmaahilsettä varastoinnin aikana yhtä tehokkaasti kuin kemiallinen torjunta.

Perunan maltokaariviruksen uusi diagnostiikka

Terhi Rantanen¹⁾, Ulla Lehtinen¹⁾ & Aarne Kurppa¹⁾

¹⁾ *Maatalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, Kasvinsuojelu,
31600 Jokioinen, terni.rantanen@mtt.fi*

Perunan maltokaarivirus (potato mop-top virus, PMTV) aiheuttaa perunassa laadullisia vahinkoja tyypillisinä oireinaan ruskeat renkaat ja kaaret perunan mallossa. Virus säilyy maaperässä useita vuosia, jopa vuosikymmeniä, isäntään käyttämän kuorirokkosienen (*Spongopora subterranea*) avulla ja siten se leviää edelleen mullan mukana jalkineissa ja työvälineissä. Virus leviää pääasiallisesti kuitenkin siemenmukuloissa, minkä vuoksi tarvitaan luotettava ja herkkä menetelmä siemenmukuloiden terveyden varmistamiseksi.

Nykyisin tavallisimmin käytetyn ELISA-testin rinnalle ollaan kehittämässä uusia PMTV:n perimän tunnistamiseen ja monistamiseen perustuvia menetelmiä. Viruksen genomi koostuu kolmesta eri RNA-molekyylistä, joiden sekvenssi tunnetaan. Viruksen tunnistamiseen kehittämässämme vasta-ainesieppaus-käänteistranskriptio-PCR-menetelmässä (IC-RT-PCR) käytetään hyväksi maltokaariviruksen vasta-ainetta, jota

on tuotettu käyttämällä puhdistettua suomalaista Fin2b-isolaattia, ja RNA3:n läpiluku-alueen (RT-alue) nukleiinihapposekvenssin perusteella suunniteltuja alukkeita (pr24 ja pr25), joiden avulla monistetaan osa RT-alueesta. Konservatiivisten RT-alueiden löytämiseksi sekvensoitiin useita suomalaisia virusisolaatteja, joita verrattiin myös ulkomaisiin julkaistuihin PMTV-sekvensseihin.

Vertailtaessa polyklonaaliseen vasta-aineeseen perustuvia ELISA- ja IC-RT-PCR-testejä toisiinsa IC-RT-PCR -menetelmä osoittautui yli sata kertaa herkemäksi. Lisäksi testitulokset saadaan huomattavasti nopeammassa ajassa vastaavalla työmäärällä kokonaiskustannusten ollessa samaa tasoa. Näiden tulosten perusteella IC-RT-PCR näyttää olevan erittäin sopiva menetelmä PMTV:n määrittämiseksi siemenperunoista, kun taas ELISA-testin herkkyys ei siihen aina välttämättä riitä.

Viiden herbisidin sitoutumisesta suomalaisiin maihin

Katri Siimes¹⁾, Pirkko Laitinen²⁾, Sari Rämö³⁾ & Liisa Eronen⁴⁾

¹⁾ Suomen ympäristökeskus, PL 140, 00251 Helsinki, katri.siimes@vyh.fi

²⁾ Maatalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, Kasvinsuojelu, 31600 Jokioinen, pirkko.laitinen@mtt.fi

³⁾ Maatalouden tutkimuskeskus, Elintarvikkeiden tutkimus, Kemian laboratorio, sari.ramo@mtt.fi

⁴⁾ Sokerijuurikkaan tutkimuskeskus, Korvenkyläntie 201, 25170 Kotalato, liisa.eronen@cultor.com

Maaperässä herbisidit voivat olla joko maa-vedessä tai erilaisilla sidoksilla maahiukkasiin kiinnittyneinä. Sitoutuminen vähentää herbisidin huuhtoutumisriskiä, heikentää fytotoksisuutta ja hidastaa hajoamista. Adsorptiokerroin (K_d) kuvaa aineen jakaantumista tasapainotilassa näiden kahden faasin, kiinteän ja nestemäisen, välille. Koska sitoutumiseen vaikuttavat sekä herbisidin että maan ominaisuudet, saman aineen adsorptiokerroin voi olla merkittävästi erilainen erilaisissa maaperissä. Posterissa esitetään kahden valikoimattoman herbisidin, glyfosaatin ja glufosinaatti-ammoniumin, sekä kolmen nykyisin sokerijuurikkaan viljelyssä käytettävän herbisidin, etofumesaatin, fenmedifaamin ja metamitronin, adsorptiokertoimet multavissa savi-, hiesu- ja hietamaissa. Lisäksi selvitetään maan ominaisuuksien yhteyksiä määritettyihin adsorptiokertoimiin. Yleisesti käytössä olevia hiileen suhteutettuja adsorptiokertoimia (K_{oc}) käytettiin herbisidien kulkeutuvuuk-sien luokittelussa. Työ on osa Suomen Akatemian rahoittamaa herbisidiresistenttien sokerijuurikkaiden viljelyn ympäristövai-kutuksia selvittävää projektia.

Etofumesaatti, fenmedifaami ja metamitroni sitoutuivat maan orgaaniseen hiileen. Glufosinaatti-ammoniumin sitoutumiseen vaikutti eniten saveksen määrä. Glyfosaatin sitoutumista ei pystytty yhdellä tekijällä selittämään. Glyfosaatti sitoutui aineista eniten. Se luokiteltiin useimmilla mailla heikosti kulkeutuvaksi ja muutamissa jankkomaissa jopa kulkeutumattomaksi aineeksi. Fenmedifaami luokiteltiin hieman tai heikosti kulkeutuvaksi aineeksi. Glufosinaatti-ammonium luokiteltiin savimaalla vain heikosti kulkeutuvaksi; hietamaalla se oli aineista kulkeutuvain (erittäin helposti kulkeutuva). Etofumesaatti luokiteltiin kohtalaisen kulkeutuvaksi aineeksi. Metamitroni sitoutui useimmilla mailla aineista vähiten ja se luokiteltiin helposti kulkeutuvaksi aineeksi.

Tuloksia voidaan hyödyntää lohkokoh-taisessa herbisidien huuhtoutumisriskin arvioinnissa. Adsorptiokertoimen lisäksi huuhtoutumisriskiin vaikuttavat hydrologiset tekijät sekä herbisidin vesiliukoisuus ja hajoamisnopeus.

Korjuu- ja kuivaustekniikalla kuorettoman kauran laatua varmistamaan

Anna-Maija Kirkkari¹⁾, Ari Rajala²⁾, Pirjo Peltonen-Sainio²⁾
& Hannu Mikkola³⁾

¹⁾ *Työtehoseura, PL 13, 05201 Rajamäki, anna-maija.kirkkari@tts.fi*

²⁾ *Helsingin yliopisto, Kasvintuotantotieteen laitos, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto*

³⁾ *Maatalouden tutkimuskeskus, Maatalousteknologian tutkimus, Maatalousteknologia, Vakolantie 55, 03400 Vihti, hannu.mikkola@mtt.fi*

Kuoreton kaura on viljelyominaisuuksiltaan tavanomaista kauraa muistuttava ravintorikas vilja, joka sopii erinomaisesti sekä elintarvike- että rehukäyttöön. Kuorettoman kauran helpeet irtoavat puinnissa, joten kauran jyvä on puinnin jälkeen paljas. Tosin kaikki kuoret eivät puinnissa irtoa, vaan sadossa on 3–10 % kuorta Suomen oloissa. Kuorettoman kauran paljas jyvä on muita kuorettomia viljoja, vehnää ja ruista, pehmeämpi ja alttiimpi vioituksille.

Tutkimuksessa testataan käytännön mittakaavassa ja maataloilla käytössä olevilla koneilla, miten kuorettoman kauran itävyys muuttuu puitaessa satoa eri kosteus- ja kypsyyssasteissa. Myös kuivauksen vaikutus itävyyteen testataan viljaa kierrättävässä lämminilmakuivurissa. Samalla seurataan, onko eri puintikosteuksilla tai kypsyyssasteilla vaikutusta sadossa esiintyvien kuoriutumatta jääneiden jyvien runsauteen. Kenttäkokeet suoritetaan vuosina 1998–2000

Työtehoseuran tilalla Rajamäellä, Viikin koetilalla Helsingissä ja Vakolan koetilalla Vihdissä.

Kosteana (25 %) puitujen kuorettomien kaurajyvien itävyys oli lähes 20 prosenttiyksikköä alempi kuin tavanomaisen, kuorellisen kauran. Puintikosteuden lisääntyessä kuorettoman kauran itävyys heikkeni suhteessa tavanomaista kauraa enemmän. Myös kuorettomien lajikkeiden välillä oli havaittavissa eroja herkkyydessä vaurioitua puinnin yhteydessä.

Kuorettoman kauran itävyys heikkenee helposti, jos kasvusto joudutaan puimaan kosteana. Huolellisella puinnilla ja kuivauksella kuorettomasta kaurasta on kuitenkin mahdollista saada riittävän hyvälaatuisia satoa, joka kelpaa itävyydeltään niin vaativiin elintarvikeprosesseihin kuin siementavaraksikin. Myös lajikevalinnalla voidaan vaikuttaa sadon itävyysominaisuuksiin.

Villiriisistä viljelykasvi Suomeen?

Pirjo Mäkelä¹⁾ & Pirjo Peltonen-Sainio²⁾

¹⁾ *Helsingin yliopisto, Biotieteiden laitos, Perinnöllisyystieteen osasto, PL 56, 00014 Helsingin yliopisto, pirjo.makela@mtt.fi*

²⁾ *Helsingin yliopisto, Kasvintuotantotieteen laitos, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto*

Villiriisiä (*Zizania palustris* L.) on käytetty ravinnonlähteenä jo 10 000 vuotta sitten suurten järvien alueella Pohjois-Amerikassa, missä se menestyy hitaasti virtaavissa joissa sekä matalissa järvissä, joiden pohjasedimentissä on paljon orgaanista ainesta. Tämän vuoksi villiriisi saattaa toimia typen ja fosforin kerääjänä ojissa ja lammissa ravinnepuhuttoutumien vähentämiseksi. Villiriisi on kuitenkin heikko kilpailija, joten viljelyalueella ei saisi kasvaa liiaksi kaisloja, kortteita, lumpeita tai muita vesikasveja.

Villiriisi tarvitsee noin 100 päivää itämisestä tuleentuakseen, jolloin se varistaa siemenensä. Siemenet vaativat 3–4 kuukauden kylmäjakson itääkseen. Jos ne pääsevät kuivahtamaan sadonkorjuun jälkeen, ne eivät idä. Sato korjataan viikoittain noin 3–5 kertaa. Kanadassa lannoitteiden ja torjunta-aineiden käyttö on kielletty, joten hehtaarisadot jäävät 380–560 kg, USA:ssa satojen ollessa yli 1000 kg ha⁻¹. Vuosittaiset satovaihtelut ovat suuria, koska villiriisi on

herkkä mm. veden pinnan korkeuksissa tapahtuville muutoksille, koville tuulille ja aikaisille syyshalloille. Sadonkorjuun jälkeen villiriisi kuivataan, kuoritaan, paahdetaan, lajitellaan ja pakataan. Sitä myydään sellaisenaan tai sekoitettuna muiden riisien kanssa sekä käytetään mm. jauhoseosten, välipalakeksien, leipiä, lettujen yms. valmistuksessa.

Villiriisiä arvostetaan hyvänä ravinnonlähteenä, mutta se saattaa olla myös merkittävä antioksidanttilähde. Kokemustemme perusteella villiriisi menestyy Suomen oloissa tuottaen niin satoa kuin itämiskykyistä siementäkin. Ensimmäiset koekasvustomme kylvimme kahteen lampeen syksyllä 1995. Oiva Inkilä on kokeillut villiriisin kasvatusta Suomessa jo 1930-luvulla. Saamamme alustava kokemus on kuitenkin ollut rohkaisevaa, joten jatkossa tutkimme villiriisin sadonmuodostusta oloissamme sekä kartoitamme villiriisin sadontuottoa suosivat kasvatusolot.

Kevätviljojen yhteyttämistuotteiden ja välivarastojen jakaantuminen ja välivarastointi tutkimuskohteena

Pirjo Mäkelä¹⁾, Susanna Muurinen²⁾, Jouko Kleemola³⁾ & Pirjo Peltonen-Sainio²⁾

¹⁾ *Helsingin yliopisto, Biotieteiden laitos, Perinnöllisyystieteen osasto, PL 56, 00014 Helsingin yliopisto, pirjo.makela@helsinki.fi*

²⁾ *Helsingin yliopisto, Kasvintuotantotieteen laitos, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto*

³⁾ *Kemira-Agro Oyj, Espoon tutkimusasema, PL 44, 02271 Espoo*

Sivuersojen ja välivarastoitujen yhteyttämistuotteiden merkitys viljojen sadonmuodostukseen on lähes ohitettu tutkimuskohteena Suomessa, vaikkakin erilaisia näkemyksiä asiasta on esitetty. Yhteyttämistuotteiden jakautumisen merkitys sadon tuottoon kuitenkin korostuu oloissamme lyhyestä kasvukaudesta johtuen. Lisäksi Etelä- ja Länsi-Suomessa esiintyy lähes säännöllisesti kuivuusjaksoja, jotka ajoittuessaan vegetatiivisen kasvun ja jyvätäytymisen eri vaiheisiin vähentävät joko kasvien satopotentiaalia tai jyväkokoja. Tarkoituksenamme onkin selvittää yhteyttämistuotteiden jakaantumisen sekä sivuersojen ja korsivälivarastojen merkitystä jyvänmuodostumiselle ja -täytymiselle Suomen kasvuoloissa painottaen fysiologisten tekijöiden, kuten kasvin vesitalouden, hormonaalisen tasapainon ja yhteyttämistehokkuuden roolia. Tavoitteenamme on testata fysiologisten ominaisuuksien ja sadonmuodostuksen välisiä yhteyksiä QTL-tekniikalla (Quantitative Trait Locus). Lisäksi pyrimme mallintamista apuna käyttäen kuvaamaan yhteyttämistuotteiden jakaantu-

misen merkitystä sadontuotolle erilaisissa kasvuoloissa. Tutkittavat lajikkeet eroavat toisistaan yhteyttämistuotteiden jakaantumisen osalta. Esimerkiksi kauralajikkeet edustavat eri korrenpituuksia (kääpiö-, puolikääpiö- ja perinteiset lajikkeet) ja ohrat sivuersojen tuottokykyä (mm. sivuersottomat unculm-ohrat ja niiden isogeeniset linjat).

Helsingin yliopiston Suitian koetilalla järjestetyissä kokeissa tuhosimme yhteyttävän pinta-alan muurahaishapolla kukinnan aikaan sekä jyvätäytymisperiodin puolivälissä. Kasvustoista analysoitiin muutokset lehtialassa, fytomassan kertymä, sekä kerättiin näytteitä sokerimäärityksiä varten lehtitupista, nivelväleistä, lehdistä, solmuista ja tähkistä. Sivuersot ja pääversot käsiteltiin erikseen. Tuloksista määritetään laskennallisesti yhteyttämistuotteiden jakaantuminen eri kasvinosiin. Tuloksia voidaan hyödyntää niin viljelymenetelmien kehittämisessä kuin kasvinjalostuksessakin pyrittäessä viljelyvarmempiin ja paremmin ympäristöstressejä sietäviin kevätlajikkeisiin.

Yksivuotiset nurmipalkokasviseokset lammaslaitumena

Riitta Sormunen-Cristian¹⁾, Päivi Nykänen-Kurki²⁾ & Petri Leinonen³⁾

¹⁾ *Maatalouden tutkimuskeskus, Kotieläintuotannon tutkimus, Eläinravitseminen, 31600 Jokioinen, riitta.sormunen-cristian@mtt.fi*

²⁾ *Maatalouden tutkimuskeskus, Luonnonvarojen tutkimus, Ekologinen tuotanto, 50600 Mikkeli*
³⁾ *Elomestari Oy, 51900 Juva*

Yksivuotisia rehukasveja viljellään riittävän karjanlannan levitysalan ja karjan rehusuksen varmistamiseksi. Niiden kasvurytmi täydentää monivuotisten nurmien kasvurytmiä tasaten tilan työhuippuja. Viljelyvarmojen ja laidunnusta kestävien monivuotisten nurmipalkokasvien vähäinen määrä on tuonut erityisesti luonnonmukaisessa tuotannossa esiin tutkimustarpeen yksivuotisten nurmipalkokasvien soveltuvuudesta laitumeen. Lammas on tehokas laiduntaja, joten Maatalouden tutkimuskeskuksen Kuuman tilalla laidunnettiin vuonna 1999 karitsoilla viittä yksivuotista nurmipalkokasviseosta viitenä täydellisesti sattuinaistettuna lohkona (180 m²). Kaikissa laitumissa (3 m × 12 m) oli pohjana 50 kg/ha ohraa ja 10 kg/ha italianraiheinää. Ohran ja italianraiheinän lisäksi laitumen 1 siemenseos sisälsi 3 kg/ha ladinotyyppin valkoopilaa ja 30 kg/ha rehuvirnaa. Laitumessa 2 rehuvirnan tilalla oli 20 kg/ha ruisvirnaa. Laitumissa 3 ja 4 valkoopila korvattiin persianapilalla, 7 kg/ha. Laitumen 3 virna oli rehuvirnaa ja laitumen 4 ruisvirnaa. Laitumessa 5 oli kaikkia mainittuja kasvilajeja: ohraa, italianraiheinää, 1,5 kg/ha ladinovalkoopilaa, 3,5 kg/ha persianopilaa, 15 kg/ha rehuvirnaa ja 10 kg/ha ruisvirnaa. Ohra kylvettiin 24.5. ja muut lajit 1.6. Koealuetta ei

lannoitettu. Ensimmäinen laidunnus tehtiin 6.7., toinen 27.7., kolmas 17.8. ja neljäs 14.9. Laidunlohkot syötettiin 1–2 päivässä. Kahdessa ensimmäisessä laidunnuksessa oli 16 karitsaa (keskipaino 23,8 kg), kolmannessa 8 (keskipaino 29,4 kg) ja neljännessä 12 (keskipaino 37,7 kg) lohkoa kohti. Ensimmäisessä laidunnuksessa ohra ja jauhosavikka olivat valtalajeina. Virnojen osuus lisääntyi toisessa laidunnuksessa (30 %). Kolmannessa laidunnuksessa ruisvirnaa oli jo 54 % ja neljännessä 59 %. Rehuvirnaa oli eniten kolmannessa laidunnuksessa, 35 %. Ladinovalkoopilaa osuus jäi kuivana kesänä kaiken kaikkiaan vähäiseksi (alle 9 %). Persianapila kasvoi paremmin, ja sitä oli kolmannessa laidunnuksessa jo lähes 16 % ja neljännessä 24 %. Italianraiheinän osuus jäi vähäiseksi. Sitä oli vasta neljännessä laidunnuksessa 7 %. Laidunnuksien alussa virnat olivat korkeudeltaan 28–40 cm ja apilat 6–24 cm. Laitumet syötettiin maata myöten lyhyeksi. Laitumien tarjolla oleva kuiva-ainesato oli välillä 1250–2100 kg/ha laidunnusta kohti. Suurin kokonaiskuiva-ainesato oli laitumilla 4 ja 5. Yksivuotiset nurmipalkokasvit nopeakasvuina ja satoisina soveltuivat hyvin karitsalaitumeen. Hanke on osa MMM:n ja MTT:n rahoittamaa Luomunurmiprojektia.

Pientareiden kasvillisuustyypit ja lajimonimuotoisuus neljällä eri maantieteellisellä alueella

Sanna Tarmi¹⁾, Hannu Tuuri²⁾ & Juha Helenius³⁾

¹⁾ *Maatalouden tutkimuskeskus, Luonnonvarojen tutkimus, Luonnonvarat, 31600 Jokioinen, Työpiste: Helsingin yliopisto, Kasvintuotantotieteen laitos, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto, sanna.tarmi@helsinki.fi*

²⁾ *Maatalouden tutkimuskeskus, Tietopalveluyksikkö, 31600 Jokioinen*

³⁾ *Helsingin yliopisto, Kasvintuotantotieteen laitos, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto*

Tutkimuksen päätavoitteina oli 1) ryhmitellä pientareiden kasvillisuutta ekologisiin ryhmiin sekä 2) vertailla eri ryhmien kasvilajimonimuotoisuutta keskenään ja 3) pohjata ryhmittelyyn ja lajimonimuotoisuuteen vaikuttavia ympäristötekijöitä.

Aineisto kerättiin vuonna 1995 neljän joen valuma-alueilta valituilta pientareilta: Taipaleenjoki (Pohjois-Karjala), Lestijoki (Keski-Pohjanmaa), Yläneenjoki (Varsinais-Suomi) ja Lepsämänjoki (Uusimaa). Kaikkiaan 193 pientareen kasvillisuus kartoitettiin viideltä 0,25 m²:n ruudulta. Lajien runsaus arvioitiin peittävyysprosentteina 9-luokkaisella asteikolla.

Kasvillisuuden vaihtelun pääsuuntia tarkasteltiin korrespondenssianalyysin avulla. Sen jälkeen pientareet ryhmiteltiin kasvillisuutensa perusteella eri ryhmiin käyttämällä Wardin menetelmää. Lajimonimuotoisuuden vertailemiseksi kuhunkin ryhmään kuuluvista pientareista laskettiin lajimäärien keskiarvo.

Korrespondenssianalyysissä eteläiset viljanviljelyalueet erottuivat pohjoisemmista karjatalouteen painottuneista alueista.

Nurmien kylvön ulottaminen pientareelle asti, pientareiden laidunnus ja niitto vaikuttavat piennarlajistoon. Viljanviljelyssä aiemmin yleinen herbisidikäsittelyjen ulottaminen pientareille sekä muokkaustoimista aiheutuvat häiriöt vaikuttavat piennarlajistoon.

Ryhmittelyssä erotettiin 7 ryhmää, joista neljä edustaa lähinnä pohjoisempia alueita ja kolme eteläisiä alueita. Esimerkiksi 1 ryhmään kuului lähinnä Lestijoen pientareita joiden päälajistoon kuului mm. timotei ja rönsyleinikki. Ryhmään 5 kuului lähinnä eteläisempien alueiden pientareita, joiden lajistossa esiintyi mm. juolavehnä ja nurmi-puntarpää, koiranputki, timotei ja pelto-ohdake. Viljelytoimien vaikutus sekä pientareiden kosteusolot näyttävät olevan tärkeimmät ryhmittelytekijät.

Kasvilajiston monimuotoisuus oli suurin ryhmässä 3 (keskimäärin 23 lajia/piennar), joka valtalajistonsa perusteella (mm. ruokohelpi, sara) edustaa luonnontilaisimpia ja kosteimpia pientareita. Lajimäärä oli alhaisin jo edellä mainitussa ryhmässä 5 (keskimäärin 14 lajia/piennar).

Lannoituksen vaikutukset rehusatoihin ja maan biologiseen aktiivisuuteen omavaraisessa maidontuotannossa

Eeva Kuusela¹⁾ & Arja Vuorinen¹⁾

¹⁾Joensuun yliopisto, Biologian laitos, PL 111, 80101 Joensuu, eeva.kuusela@joensuu.fi

Raa'an (RL) ja kompostoidun karjanlannan (KL) riittävyyttä omavaraisen maitotilan lannoitteena tutkittiin vuosina 1995-1999 Joensuun yliopiston Siikasalmen tutkimus- ja koeasemalla Liperissä. Kahtena taustavuonna koekentällä viljeltiin lannoittamatta kauraa. Kokeen nelivuotinen viljelykierto (1. vuosi: ohra + nurmensiemen, 2. ja 3. vuosi: apilaheinänurmi, 4. vuosi: kaura) vastasi rehuomavaraisen maitotilan tarpeita ja lantamäärät hehtaaria kohti muodostuvaa lantamäärää (23,5 t/ha kompostia ja 27,4 t/ha karjanlantaa). Väkilannoiteverrokkille (VL) vuosittain levitetyt lannoitemäärät perustuivat viljavuustutkimukseen ja ympäristötukiehtoihin. Kokeessa oli myös lannoittamaton koejäsen (O). Posterissa esittelemme viljan ja säilörehun satotuloja sekä muutoksia kasvukauden aikaisessa maaperän biologisessa kokonaisaktiivisuudessa, dehydrogenaasiaktiivisuudessa (DHA).

Taustavuosien, 1995 ja 1996, kaurasatojen keskiarvot olivat 3880 ja 3120 kg/ha ja DHA:n vuotuiset keskiarvot olivat 0,108 ja 0,119 $\mu\text{mol TPF/g/3 h}$. Kaurasatojen ja maan DHA:n välinen vuorosuhde oli merkitsevä ($r_s = 0,889^{***}$) samoin kaurasadon ja maan savipitoisuuden vuorosuhde ($r_s = 0,867^{***}$), mikä antoi viitteitä maan biologisen aktiivisuuden sekä saveksen tärkeydestä lannoittamattoman viljan ravitsemuksessa.

Kasvukautena 1997 VL:n ohrasato oli 4600 kg/ha, johon verrattuna KL:n ja RL:n sadot olivat 79–82 % sekä O:n 50 %. Kahden säilörehuvuoden keskiarvona VL:n sato oli 16,2 t KA/ha, josta KL, RL ja O tuottivat 69–76 %. Ruutujen väliset erot DHA:ssa kasvukauden aikana eivät muuttuneet lannoituksen vaikutuksesta ja vuosien väliset erot selittynevät pikemminkin kuivuudella kuin lannoituskäsittelyillä. DHA ei väkilannoitetuilla ruuduilla enää selittänyt sato-määrien muutoksia.

Ammoniakin haihtuminen nurmelle levitetystä naudan lietelannasta ja nurmisadossa korjatun typen määrä

Pasi Mattila^{1,3)}, Erkki Joki-Tokola²⁾ & Risto Tanni³⁾

¹⁾ *Helsingin yliopisto, Soveltavan kemian ja mikrobiologian laitos, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto*

²⁾ *Maatalouden tutkimuskeskus, Pohjois-Pohjanmaan tutkimusasema, Tutkimusasemantie 15, 92400 Ruukki*

³⁾ *Nykyinen osoite: Maatalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, Peltokasvit ja maaperä, 31600 Jokioinen, pasi.mattila@mtt.fi*

Naudan lietelannan käyttöä säilörehunurmen lannoitteena tutkittiin vuosina 1995–1997 kenttäkokeissa Ruukissa hieta- ja saturvemaalla sekä Jokioisilla hiuesavella. Käsittelemätöntä, ilmastettua tai separoitua lietelantaa levitettiin nurmelle ensimmäisen niiton jälkeen hajalevityksenä, letkulevityksenä tai maahan sijoittamalla (liukoista tyyppiä noin 80 kg/ha). Ammoniakin haihtuminen nurmelle levitetystä lannasta mitattiin mikrometeorologisella kammio-menettelmällä.

Enimmillään yli puolet pellon pinnalle levitetyn lietelannan liukoisesta tyypestä menetettiin ammoniakin haihtumisen kautta, mutta lannan sijoittaminen maahan esti ammoniakkitappiot lähes kokonaan. Letkulevitys hidasti ammoniakin haihtumista, ja kokonaishaihdunta oli hieman pienempi kuin hajalevitetystä lannasta. Myös hajalevitetyn separoidun lietelannan nestefraktiosta ammoniakin haihdunta oli jois-

sain tapauksissa vähäisempää kuin käsittelemättömästä lannasta. Runsainta ammoniakin haihtuminen oli hajalevitetystä ilmastetusta lietelannasta.

Keskimäärin suurin nurmikasvustossa korjattu typpisato ja korkein lietelannan liukoisen typen hyväksikäyttöaste saatiin lietelannan sijoituksella. Suurimman kuiva-ainesadon antoi letkulevitys, mutta se ei kuitenkaan eronnut merkittävästi muista levitysmenetelmistä. Letkulevitys vähensi ammoniakin haihtumista vähemmän kuin sijoitus, mutta se ei vahingoittanut nurmea mekaanisesti. Siksi letkulevityksen antama kuiva-ainesato oli sijoitukseen verrattuna hieman korkeampi mutta typpisato matalampi. Nurmen pintaan levitettynä separoitu lanta antoi hieman suuremman typpisadon kuin käsittelemätön lietelanta, mikä johtunee separoidun lannan paremmasta imeytymisestä maahan.

Ammoniumtiosulfaatin ja naudan lietelannan vaikutus rehuohran rikkipitoisuuteen ja rikkipitoisten aminohappojen määrään

Päivi Nykänen-Kurki¹⁾, Erkki Kemppainen²⁾, Eero Miettinen³⁾,
Tiina Tontti¹⁾, Jouko Sippola⁴⁾ & Taina Jalava⁵⁾

¹⁾Maatalouden tutkimuskeskus, Luonnonvarojen tutkimus, Ekologinen tuotanto, Karilantie 2 A, 50600 Mikkeli, paivi.nykanen-kurki@mtt.fi

²⁾Maatalouden tutkimuskeskus, 31600 Jokioinen

³⁾Maatalouden tutkimuskeskus, Kainuun tutkimusasema, Kipinätie 16, 8600 Sotkamo

⁴⁾Maatalouden tutkimuskeskus, Luonnonvarojen tutkimus, Luonnonvarat, 31600 Jokioinen

⁵⁾Maatalouden tutkimuskeskus, Kotieläintuotannon tutkimus, Eläinravitseminen, 31600 Jokioinen

Kainuun tutkimusasemalla vuosina 1995–1997 tehdyn rehuohrakokeen pääruutuna oli urea ja naudan lietelanta, osaruutuna typpitaso (35, 70 ja 105 kg/ha liukoista tyyppiä) ja osaosaruutuna +/- ammoniumtiosulfaatti (ATS) maanpintaan levitettynä. ATS on käytössä USA:ssa typen hävikkien vähentäjänä, sillä se toimii maassa ureaasi-inhibiittorina ja nitrifikaation estäjänä sekä rikinlähteenä. ATS sisälsi 12 % tyyppiä ja 26 % rikkiä ((NH₄)₂S₂O₃). Maalaji oli runsasmultainen karkea hietä (pH 6,1). Rikin viljavuusluokka oli tyydyttävä. ATS:n sisältämä rikkimäärä oli typpitason mukaan 3–9 kg/ha vuonna 1995, mutta kahtena seuraavana vuonna määrä oli vakio, 26 kg/ha ATS:n rikkiä vuotta kohti. Liete sisälsi rikkiä keskimäärin 0,04 % (380 g/m³ tuoretta lietettä), jolloin lietteessä annettu rikkimäärä oli 5–18 kg/ha vuotta kohti. Ohran jyväsato (kosteus 15 %) oli typpilannoittamat-

tomalla ruudulla keskimäärin 2180 kg/ha, urearuuduilla 4190 kg/ha ja lieteruuduilla 2780 kg/ha. ATS ei vaikuttanut sadon määrään minään vuonna eikä jyväsadon rikkipitoisuuteen vuonna 1995. Seuraavina vuosina ATS lisäsi sekä jyvien (1,5 vs. 1,4 g/kg) että olkien kuiva-aineen rikkipitoisuutta (1,4 vs. 0,9 g/kg). Lietteellä ei ollut vaikutusta jyvien rikkipitoisuuteen eikä rikkipitoisten aminohappojen määrään, mutta liete lisäsi olkien rikkipitoisuutta. Jyvien kystiinipitoisuus lisääntyi ATS:n vaikutuksesta vuosina 1996 ja 1997 sekä kuiva-ainetta (3,41 vs. 3,25 g/kg) että raakavalkuaista (2,71 vs. 2,55 g/100 g) kohti laskettuna. ATS lisäsi jyvien metioniinipitoisuutta (1,55 vs. 1,50 g/100 g raakavalkuaista) vuonna 1996 ja (2,13 vs. 2,08 g/kg kuiva-ainetta) vuonna 1997. Hanke oli EU:n, MMM:n ja MTT:n rahoittama.

Uusi laatuluokitusjärjestelmä tulossa kompostituotteille

Tiina Tontti¹⁾ & Ritva Mäkelä-Kurtto²⁾

¹⁾ *Maatalouden tutkimuskeskus, Luonnonvarojen tutkimus, Ekologinen tuotanto, 50600 Mikkeli, tiina.tontti@mtt.fi*

²⁾ *Maatalouden tutkimuskeskus, Luonnonvarojen tutkimus, Luonnonvarat, 31600 Jokioinen*

Maatalouden tutkimuskeskuksessa on tehty MMM:n tilauksesta kirjallisuuskatsaus biojättekompостien käytöstä kasvintuotannossa. Selvityksessä tarkastellaan kompostituotteiden laatua ja käyttöturvallisuutta ja tältä pohjalta on tehty ehdotus maanparannuskompostien laatuluokitusjärjestelmäksi.

Laatuluokitusehdotuksessa kompostit jaetaan neljään pääluokkaan raskasmetallipitoisuuden, hygieenisyyden, kypsyyden ja yleisten ominaisuuksien mukaan sekä alaluokkiin sen mukaan, onko raaka-aineena käytetty puhdistamolietettä. Laatuluokka I noudattaa pääosin EU:n luomutuotannossa käytettävien kompostien laatuvaatimuksia. Näitä komposteja voidaan käyttää sellaisenaan syötävälle kasveille kasvihuonetuotannossa ja kotipuutarhassa. Luomutuotantoon voidaan käyttää I laatuluokan kompostia, jonka valmistukseen ei ole käytetty puhdistamolietettä. Laatuluokka II perustuu EU:n maanparannusaineiden ekotuotemerkin vaatimuksiin. Tämän laatuluokan kompostia voidaan käyttää peltoviljelyssä sellaisenaan syötävälle kasveille sekä turvallisuutta vaativissa viherrakennuskohteissa.

Laatuluokka III perustuu puhdistamolietteen maanviljelykäyttöä sääteleviin raskasmetallipitoisuuksiin. Tämän luokan komposteja voidaan käyttää peltoviljelyssä kasveille, joita ei syödä sellaisenaan, sekä vaatimattomissa viherrakennuskohteissa. Laatuluokka IV perustuu seostamiseen soveltuvan puhdistamolietteen raskasmetallipitoisuusrajoihin. Tällaisia komposteja voidaan käyttää kaatopaikkojen maisemointiin.

Kompostit jaetaan laatuluokkiin raskasmetallipitoisuuksien mukaan. Kaikissa laatuluokissa on yhteiset vähimmäisvaatimukset. Kuiva-ainepitoisuus on yli 25 % ja orgaanista ainetta yli 20 % kuiva-aineesta. Kompostin kypsyyttä kuvaava hiili/typpi-suhde on alle 20 sekä ammonium- ja nitraattitypen suhde alle 1. Riittävän kypsän kompostin hapenkulutusnopeus on alle 150 mg O₂/kg/h ja krassin (*Lepidium sativum*) siementen itävyys vähintään 50 % kontrollista. Kompostin hygieenisyyden varmistamiseksi lämpötila on pidettävä yli 55 °C:ssa ja kosteus 40–60 %:ssa tietyn ajan menetelmästä riippuen. Valmiin kompostin indikaattoribakteerien määrä on rajoitettu.

Happamien sulfaattimaiden valumavesien hallinta

Sirpa Joukainen

Suomen ympäristökeskus, PL 140, 00251 Helsinki, sirpa.joukainen@vyb.fi

Säätösalaajituksen ja kalkkisuodinojien toimintaa happamilta sulfaattimailta tulevien valumavesien happamuuden ja haitallisten metallien pitoisuuden vähentämisessä tutkittiin Ilmajoella huhtikuusta 1998 toukokuuhun 1999 ja Mustasaassa huhti-toukokuussa 1999. Ilmajoen koekenttä uusintaajitettiin syksyllä 1996 ja Mustasaaren kenttä syksyllä 1998. Koekentät koostuivat neljästä peltolohkosta, joilla tutkittavat menetelmät olivat 1) säätösalaajitus, 2) kalkkisuodinojituksen ja säätösalaajituksen yhdistelmä, 3) kalkkisuodinojitus ja 4) normaali salaajitus. Ilmajoella tutkittavien lohkojen koko oli n. 2 ha ja Mustasaassa n. 720 m². Salaajaputkista kerättiin vesinäytteitä 1–3 kertaa viikossa. Lisäksi koealueilla seurattiin pohjavedenpinnan korkeutta ja säätilaa sekä tutkittiin maaperän fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia.

Kalkkisuodinojat näyttävät toimivan parhaiten keväällä sekä muina aikoina, jol-

loin pohjavedenpinta on korkealla. Tällöin kuivatusvesistä merkittävä osa kulkee kalkkisuotimen kautta. Teoreettisesti säätösalaajituksesta saadaan suurin hyöty happamuuden torjunnassa silloin, jos kuivina kesäkausina pystytään pitämään pohjavedenpinta korkeammalla kuin normaaliojituksessa ja siten vähentämään maaperässä olevien sulfidien hapettumista. Ilmajoella säätösalaajituksen avulla pystyttiin vähentämään valumavesien happamuutta myös märkänä kesänä 1998. Kalkkisuodinojituksen toimintaa voidaan tehostaa yhdistämällä se säätösalaajitukseen. Tällöin happamuuden muodostuminen ja haitallisten metallien liukeneminen maassa vähenee ja suurempi osa valumavesistä kulkee kalkkisuotimen kautta. Ilmajoella kalkkisuodinojituksen ja säätösalaajituksen yhdistelmä toimi vuonna 1998 selvästi paremmin kuin pelkkä kalkkisuodinojitus.

Vesiensuojelukosteikot maatalouden valumavesien käsittelyssä

Markku Puustinen¹⁾, Jari Koskiahho¹⁾, Maarit Puumala²⁾ & Juha Riihimäki³⁾

¹⁾ Suomen ympäristökeskus, PL 140, 00251 Helsinki, markku.puustinen@vyh.fi

²⁾ Maatalouden tutkimuskeskus, Maatalousteknologian tutkimus, Maatalousteknologia, Vakolantie 55, 03400 Vihti

³⁾ Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Yhdyskuntateknikka, PL 19042, 90571 Oulu

Maatalouden ympäristötukeen perustuvia erityistukisopimuksia oli tehty kosteikoista vuoden 1999 kevääseen mennessä 71 kpl. Sopimuskosteikoiden pinta-alaosuus valuma-alueesta on 0,31 % (mediaani) ja veden viipymä kevään keskimääräisessä ylivirtaamatilanteessa (MHq) 7 h. Kirjallisuudessa kosteikoille suositellaan jopa 3–5 vuorokauden viipymää. Suomessa MHq:ta vastaavassa tilanteessa tämä edellyttäisi 8–14 %:n kosteikkoa valuma-alueen pinta-alasta. ”Viljelyalueiden valumavesien hallinta” -projektin (Life-VIHTA) tavoitteena on laatia Suomen olosuhteisiin soveltuvien kosteikkojen suunnittelu- ja mitoitussuosittukset.

Hankkeessa perustettiin Vihtiin mallikosteikko, jonka pinta-ala on 0,40 ha ja osuus valuma-alueesta 3,3 %. Mallikosteikon ohella hankkeessa seurataan Flytträskin kosteikkoa (60 ha = 3 % valuma-alueesta) ja Alastarolla sijaitsevaa ympäristötuelle toteutettua kosteikkoa (0,48 ha = 0,5 % valuma-alueesta). Vihdin kosteikon valuma-alueen peltoisuus on 100 %, Flytträskissä 35 % ja Alastarolla 90 %. Ainepoistu-

mien ohella kosteikoissa tutkitaan typen ja fosforin prosesseja sekä kasvillisuuden muodostumista.

Vihdin kosteikossa sekä kylvettiin että siirtoistutettiin alueella luontaisesti esiintyvää kasvillisuutta. Siemeniä kerättiin seuraavista luonnonvaraisista kasveista: leveäosmankäämi, mesiangervo, keltaängelmä, korpikaisla, ratamosarpio, ruokohelpi, kurjenmiekkä, ranta-alpi, rantakukka ja keräpäävihvilä. Istutuksissa käytettiin seuraavia kasveja: leveäosmankäämi, korpikaisla, kurjenmiekkä ja keräpäävihvilä. Kylvösten ja siirrokkaiden kehittymistä verrataan kosteikossa luonnonvaraisesti kehittyvään kasvillisuuteen.

Seurantatulokset viittaavat siihen, että alle 1 %:n kosteikoissa veden viipymä jää lyhyeksi. Toisaalta 3 %:n kosteikossakaan ei päästä yli 20 % ainepoistumiin, jos kosteikossa on oikovirtauksia tai jos tulevan veden pitoisuudet ovat matalia. Pellolle perustetusta kosteikosta liukoisen fosforin liikkeellelähtöriski on erittäin suuri, jos muokkauskerrokseen on varastoitunut fosforia.

Ravinteiden saatavuuden ja sijainnin määrittäminen maasta ohutkerrosdiffuusiotekniikoilla

Into Saarela¹⁾ & Katariina Saarela¹⁾

¹⁾ *Maatalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, Peltokasvit ja maaperä, 31600 Jokioinen, into.saarela@mtt.fi*

Ravinteet liikkuvat diffundoitumalla sekä lannoiterakeista maahan että maasta juurten luo. Fosforin diffuusiota maasta juuriin jäljiteltiin käyttämällä fosfaatti-ionien keräimenä rautaoksidilla päällystettyä suodatinpaperia, johon pidättynyt fosfori mitattiin happouutteesta. Maasta siirtyi rautaoksidipaperiin suuria määriä fosforia, kun käytettiin ohuita maakerroksia ja pitkiä diffuusiokaikoja. Kasvien fosforin saantia ennustivat kuitenkin parhaiten parin vuorokauden pituiset testit, jotka osoittavat lähinnä diffuusion alkunopeutta. Diffuusiotestin ja vesiuuttomenetelmän keskinäinen riippuvuus oli hyvin kiinteä, mutta diffuusiotesti oli analyttisesti täsmällisempi ja näytti osoittavan kasvien fosforin saantia astiakoikeissa tarkemmin kuin vesiuutto. Myös kenttäkokeissa diffuusiotesti osoitti lannoitustarvetta paremmin kuin vanhat menetelmät ja muut uudet tekniikat. Sijoitetun fosforin liikkumista kartoitettaessa maamonoliitin pinnasta rautaoksidipaperiin

diffundoitunut fosfori värjättiin suoraan, jolloin paperille muodostui lisätyn fosforin sijaintia osoittava kuvio. Lannoiterivejä pitkin leikattujen maapintojen kartoitus osoitti, että fosforia kulkeutui lannoiterakeista kasvukauden kuluessa vain n. 10 mm:n päähän. Lisätty fosfori oli siten pidättynyt hyvin suurina pitoisuuksina vajaaseen yhteen prosenttiin ruokamullan tilavuudesta. Diffuusiotekniikkaa sovellettiin myös ilman kemiallista keräintä määrittämällä fosforin, kaliumin ja magnesiumin pitoisuudet suoraan ohutta maakerrosta peittävstä vesiliuoksesta. Maasta kulkeutui 6–66 tunnissa liuosfaasiin ravinteita suunnilleen yhtä paljon kuin tavallisessa yhden tunnin pituisessa asetaattiuutossa. Saadut fosforipitoisuudet riippuivat kiinteästi rautaoksidipaperilla tehdyistä diffuusiotesteistä mutta löyhästi asetaattimenetelmän fosforiluvuista. Kaliumin ja magnesiumin määrittämisessä asetaattimenetelmän ja uuden tekniikan keskinäiset riippuvuudet olivat kiinteitä.

Kalkituksella lisää satoa ja ravinteiden hyväksikäyttö paremmaksi

Yrjö Salo¹⁾ & Into Saarela²⁾

¹⁾ *Maatalouden tutkimuskeskus, Lounais-Suomen tutkimusasema, Saarentie 220, 23120 Mietoinen, yrjo.salo@mtt.fi*

²⁾ *Maatalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, Peltokasvit ja maaperä, 31600 Jokioinen, into.saarela@mtt.fi*

Runsas kalkitus lisäsi satoa ja typenottoa aitosavimaalla. Vuosien kuluessa kalkitus paransi myös sadon fosforinottoa. Viljasato oli ilman kalkitusta viiden vuoden keskiarvona 4534 kg/ha ja kasvoi 298 kg/ha 16 t/ha -kalkituksella ja 476 kg/ha 40 t/ha -kalkituksella. Tulokset perustuvat vuosina 1991–1998 MTT:n Lounais-Suomen tutkimus- asemalla, Mietoisissa tehtyyn kenttäkokeeseen.

Kalkitus-fosforilannoituskoe perustettiin aitosavimaalle vuonna 1991. Kalkkita- soja oli kolme ja samoin fosforitasoja. Typ- pitaso oli joko 120 kg/ha tai 90 kg/ha. Koe- kasveina olivat ohra, kevätvehnä ja kevät- rypsi. Kokeessa oli neljä kerrannetta.

Kokeen alussa pH oli tyydyttävä ja fos- foritila välttävä. Syksyllä 1996 oli maan pH 6,3 ilman kalkitusta. Yhteensä 16 t/ha -kal- kituksella pH nousi 7,0:aan ja suurimmalla yhteiskalkkimäärällä 40 t/ha jopa 7,4:ään. Maan fosforiluku oli vuonna 1996 ilman

kalkitusta 5,6 nousten 16 t/ha -kalkitukse- la 6,6:een ja edelleen suurimmalla kalkitus- määrällä 40 t/ha 7,4:ään.

Runsas kalkitus yleensä lisäsi selvästi ty- penottoa. Typenoton paraneminen näkyi- kin kohonneena satotasona. Ilman fosfori- lannoitusta vuonna 1996 Prisma-ohran sato nousi tehokalkituksella lähes 1000 kg/ha. Sadon fosforinotto ja -pitoisuus jopa laskivat ensimmäisenä vuonna voimakkaal- la kalkituksella. Myöhemmin sadon fosfori- notto lisääntyi selvästi kalkituksen ansiosta.

Sääolot vaikuttivat suuresti koekäsitte- lyillä saatuihin tuloksiin. Hyvänä satovuon- na 1995 happamuudenaralla Prisma-ohral- la kalkituksen vaikutus jäi vähäiseksi. Toi- saalta taas kuivana vuonna 1997 satotason jäädessä alhaiseksi happamuutta kohtalai- sesti kestäväällä Saana-ohralla satoa saatiin lisää tehokalkituksella ilman fosforilannoi- tusta peräti 1310 kg/ha.

Ruukohelven lannoitetypen hyväksikäyttö

Anneli Partala¹⁾, Timo Mela¹⁾, Martti Esala¹⁾ & Elise Ketoja²⁾

¹⁾ *Maatalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, Peltokasvit ja maaperä, 31600 Jokioinen, anneli.partala@mtt.fi, timo.mela@mtt.fi, martti.esala@mtt.fi*

²⁾ *Maatalouden tutkimuskeskus, Tietopalveluyksikkö, 31600 Jokioinen, elise.ketoja@mtt.fi*

Paperikuitu- ja polttoainekäyttöön sopivan monivuotisen ja juurakollisen ruukohelven lannoitetypen hyväksikäyttöä seurattiin savi- ja multamaalla kevätlannoituksen jälkeen seuraavan vuoden kevääseen. Kokeessa haluttiin selvittää, kuinka paljon ruukohelpi ottaa maasta keväällä annettua lannoitetyypä ja miten se sijoittuu eri kasvinosiin eri vuodenaikoina. Juurakon kykyä varastoida tyyppä selvitettiin myös.

Lannoitusmäärä oli suosituksen mukainen (savimaa 100 kg N/ha ja multamaa 60 kg N/ha) sekä puolet suositellusta määrästä (savimaa 50 kg N/ha ja multamaa 30 kg N/ha). Lannoitus annettiin koeruuduille (1 m², 4 kerrannetta) kahtena peräkkäisenä keväänä 1995 ja 1996. Kolmena ajankohtana korjatusta maanpäällisestä ja maanalaisesta kasvustosta määritettiin sadon määrä (g/m²) sekä sadon N- ja ¹⁵N-pitoisuudet,

joiden perusteella laskettiin lannoitetypen sijoittuminen maanpäälliseen versoon ja juuristoon. Aineisto käsiteltiin tilastollisesti kolmiosaisena koostumusaineistona. Esitetyt tulokset ovat mediaaneja molemmilta maalajeilta ja koevuosilta.

Ruukohelven maanpäällinen kasvusto sisälsi eniten lannoitetyypä keskikesällä (42–68 % annetusta tyyppästä). Syksyllä maanpäällisestä versosta löytyi enää 16–29 % keväällä annetusta tyyppästä. Sen sijaan juuristo sisälsi syksyllä 5–19 % annettua lannoitetyypä, kun osuus kesällä oli ollut vain 2–6 %. Talven aikana lumen alla olleen varsiston lannoitetyppiosuus putosi 9–20 %:iin. Lannoitetypen hyväksikäytössä ei ollut eroja kahden lannoitustason välillä. Se osa lannoitetypästä, joka jäi kasveilta käytämättä (72–86 %) joko sitoutui maahan, haihtui tai huuhtoutui.

Pohjamaan tiivistymisen pitkäaikaisvaikutus maahan ja viljojen satoon

Laura Alakukku

*Maatalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, Peltokasvit ja maaperä,
31600 Jokioinen, laura.alakukku@mtt.fi*

Peltoviljelykoneiden jatkuva kasvu on lisännyt riskiä, että maa tiivistyy tavanomaisesta kyntökerrosta (20–25 cm) syvemmälle. 1980-luvun alussa aloitettiin kansainvälinen kenttäkoesarja, jossa tutkittiin raskaan peltoliikenteen pitkäaikaisvaikutuksia maassa ja kasvintuotannossa. MTT:ssa yksi koesarjaan sisältynyt kenttäkoe jatkuu edelleen. Kenttä perustettiin syksyllä 1981 Jokioisiin maalle, jonka kyntökerros oli hiusesavea ja pohjamaa aitosavea. Perustamisvaiheessa osalla ruuduista ajettiin traktori-perävaunu -yhdistelmällä, jonka perävauunun teliakselipaino oli 19 Mg ja rengaspaine 700 kPa. Ruudun ala kuormitettiin neljä kertaa. Kuormitus tiivisti maan 50 cm:iin. Verranneruuduissa ei ajettu raskaalla yhdistelmällä. Tiivistämisen jälkeen peltotyöt tehtiin kaikissa ruuduissa kevyellä kalustolla. Kentällä viljeltiin pääasiassa kevätiljoja. Kolmena vuonna osalla alasta viljeltiin

myös rypsiä. Typpilannoitus oli 80–100 kg ha⁻¹. Kentältä määritettiin maan mekaaninen vastus kartiokärkisellä penetrometrillä vuosina 1990 ja 1999. Kasvien siemensato ja siinä korjattu typpisato määritettiin 18 vuotena kuormituksen jälkeen. Maan huokoisuusmääritysten mukaan kyntökerroksesta tiivistymä hävisi 3–5 ensimmäisen koevuoden aikana. Kyntökerroksen alapuolella tiivistymä oli edelleen mitattavissa 18 vuotta kuormituksen jälkeen. Tiivistämisen satovaikutus pieneni kolmen ensimmäisen koevuoden jälkeen. Pohjamaan tiivistymä hävitti kasvien kasvua maan pysyessä pitkään märkänä kasvukauden aikana. Etenkin typpisato oli tiivistetyssä koejäsenessä tiivistämätöntä pienempi, kun kasvukauden alussa satoi keskimääräistä enemmän (vuodet 6, 10 ja 14) tai maa oli kasvukauden ajan märkää (vuodet 15 ja 17).

Maaperän biologiset, fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet luonnonmukaisessa ja tavanomaisessa viljelyssä

Ansa Palojärvi¹⁾, Laura Alakukku¹⁾, Esko Martikainen²⁾, Marina Niemi³⁾, Pekka Vanhala⁴⁾, Kirsten Jörgensen⁴⁾ & Martti Esala¹⁾

¹⁾ *Maatalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, Peltokasvit ja maaperä, 31600 Jokioinen, ansa.palojarvi@mtt.fi*

²⁾ *Jyväskylän yliopisto, Ympäristötutkimuskeskus, PL 35, 40351 Jyväskylä*

³⁾ *Kemira Agro Oy, Espoon tutkimuskeskus, PL 44, 02271 Espoo*

⁴⁾ *Suomen ympäristökeskus, PL 140, 00251 Helsinki*

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, eroavatko pitkäaikaisesti luonnonmukaisesti ja tavanomaisesti viljellyn maan biologiset, fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet toisistaan. Tutkimusta varten valittiin eteläisestä Suomesta 10 yksityisten viljelijöiden tilapia, joissa luonnonmukaisesti ja tavanomaisesti viljellyt maatalajiltaan samanlaiset viljat tai nurmilohkot olivat vierekkäin. Luomuviljelyä oli harjoitettu lohkoilla 12–40 vuotta. Seurantaan valittiin 30 × 30 m:n alueet, joilta otettiin maanäytteet muokkauskerroksesta neljä kertaa: syksyllä 1997 ja 1998, sekä keväällä 1998 ja 1999.

Näytteistä mitattiin maamikrobiston biomassaa, yhteisörakennetta ja erilaisia mikrobiston toimintaa kuvaavia muuttujia (mm. maahengitys, substraattien käyttökky, hiilen, typen, fosforin ja rikin kiertoön liittyviä entsyymiaktiivisuuksia, typen mineralisaatiotehokkuus, potentiaalinen nitrifikaatio). Maaperäeläimistä määritettiin

keskeiset ryhmät: lierot, änkyrimadot, mikroniveljalkaiset, sukkulamadot. Kemialliset analyysit olivat seuraavat: pH, johtoluku, orgaaninen C, kokonais-N, liukoiset N, P, K, Mg, Ca ja S. Fysikaalisista ominaisuuksista määritettiin lakastumisraja, vedellä kyllästyneen maan vedenjohtavuus, makroja kokonaishuokostila, lierokanavien määrä, tilavuuspaino ja murujen kestävyys.

Alustavien tulosten mukaan paikkakohteisilla lohkojen ominaisuuksilla oli suurin vaikutus lähes kaikkiin mitattaviin muuttujiin. Viljelymenetelmien välillä erot olivat vähäisempiä, tai niitä ei havaittu lainkaan. Eräitä syitä tähän ovat maaperän muutosten hitaus ja viljelymenetelmien vähäisemmät erot Suomessa verrattuna esimerkiksi Keski-Euroopan tilanteeseen. Yksittäisten viljelytoimenpiteiden vaikutus, kuten nurmen osuus viljelykierrossa, nousi esiin viljelymenetelmästä riippumatta.

Kynnöstä luopumisen vaikutukset kevätiljojen juuriston kasvudynamiikkaan savimaalla

Liisa Pietola¹⁾, Jonas Laxåback²⁾ & Risto Tanni²⁾

¹⁾ *Helsingin yliopisto, Soveltavan kemian ja mikrobiologian laitos, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto, liisa.pietola@helsinki.fi*

²⁾ *Maatalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, Peltokasvit ja maaperä, 31600 Jokioinen*

Etelä-Suomen viljatiljoilla syyskynnöstä on osittain luovuttu. Maanmuokkauksen vaikutuksista juuriston kasvunopeuteen ja tiheyteen maan eri kerroksissa on kuitenkin niukasti tietoa. Juuriston kasvua tutkittiin Suomessa ensi kertaa miniritsoni-mikrovideo -tekniikalla, jonka avulla sama juuriston kohta voitiin videokuvata kasvukauden eri aikoina läpinäkyvien muoviputkien yläpinnasta. Ohran (1997) ja kauran (1998) juuriston kasvua sekä maan fysikaalisia ominaisuuksia mitattiin 20 cm:iin kynnetyltä ja vuodesta 1995 kertaalleen raskaalla kultivaattorilla 8 cm:iin muokatulta savimaalta Jokioisilla.

Syysänkimuokattu maa ei kuivunut keväällä yhtä nopeasti kuin kynnetty maa. Pienemmät haihduntatappiot johtivat siihen, että sateettoman kesäkuun alussa juuristo kehittyi aluksi kyntämättömässä maassa nopeammin kuin kynnetyssä. Kynnetyn maan murukokojakauma oli kuitenkin suotuisampi kasvun alkuunlähdölle, mikä näkyi vuonna 1997 parempana oraiden kehittymisenä noin 1 kk kylvöstä. Täl-

löin ohran juuristo kasvoi kynnetyssä maassa edelle syysänkimuokatun maan juuristoa, ollen kasvukauden loppuun asti selkeästi runsaampi. Korkein juuriluku 0–40 cm:n maakerroksessa (= 100 cm²), 175 kpl, saavutettiin heinäkuun puolivälissä kynnetyssä maassa. Tällöin vastaava juurilukumäärä syysänkimuokatussa maassa oli 130 kpl. Sateisena vuonna 1998 erot kauran juuriston kasvussa eivät olleet enää merkitseviä; korkeimmat juuriluvut, jotka mitattiin elokuussa, olivat kynnetyssä 135 ja sänkimuokatussa 120 kpl 100 cm². Heinäkuussa 1998 syysänkimuokatun maan penetrometrivastus oli kuitenkin 10–20 cm:n syvyydessä 0,5 MPa suurempi kuin kyntökerroksen, mikä lisäsi kauran juurien paksuutta. Kyntämättömän maan hieman kärsinyt juuriston kasvu ja märkänä vuonna 1998 todennäköisesti myös maan heikko ilmanvaihto johtivat sadonalennuksiin, jotka olivat 300–500 kg/ha. Tulosten mukaan kynnöstä luopuminen saattaa ensimmäisinä vuosina heikentää juuriston kasvua ja edelleen jyväsatoja savimaalla.

Dityppioksidin emissio sadetetusta hietasavimaasta

Asko Simojoki¹⁾ & Antti Jaakkola¹⁾

¹⁾ *Helsingin yliopisto, Soveltavan kemian ja mikrobiologian laitos, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto, asko.simojoki@helsinki.fi, antti.jaakkola@helsinki.fi*

Dityppioksidin (typpioksiduuli, N₂O) emissio maatalousmaasta edistää osaltaan maapallon ilmaston muutosta ja yläilmakehän otsonikerroksen tuhoutumista. Sekä nitrifikaation että denitrifikaation tuottaman dityppioksidin emissio on yleensä suurinta, kun maan kosteus on lähellä kenttäkapasiteettia, mikä on tavallista esimerkiksi sadetuksen jälkeen. Sadetuksen (1–2 kertaa viikossa 10 mm h⁻¹, yhteensä 95 mm vettä 8.6.–1.7. välisenä aikana), kasvillisuuden (kesanto, ohra + nurmi aluskasvina) ja typpilannoituksen (0 kg N ha⁻¹, 103 kg N ha⁻¹) vaikutusta dityppioksidin suoraan emissioon hyvärakenteisesta hietasavimaasta tutkittiin faktoriaalisessa kenttäkokeessa Jokioisissa vuonna 1993. Sadetusjakson alussa emissio oli vähäistä, vaikka maassa oli runsaasti kivennäistyyppiä. Myöhemmin ha-

vaittiin suurempia emissioita (kesantomaasta jopa 84 g N₂O-N ha⁻¹ vrk⁻¹). Kesantomaassa emissiota rajoittivat eniten maan kosteus ja maan hengitysnopeus, mutta viljelyssä maassa kivennäistyyppien määrä. Sekä sadetus että typpilannoitus karkeasti ottaen kaksinkertaistivat dityppioksidin kumulatiivisen emission mittausjakson (1.6.–22.10.) aikana, mutta ohran viljely - ilmeisesti kasvin typenoton seurauksena - vähensi emissiota kolmanteen tai jopa seitsemänteen osaan kesantomaahan verrattuna. Kumulatiivinen dityppioksidiemissio oli suurin sadetetusta, typpilannoitetusta kesantomaasta (3,5 kg N₂O-N ha⁻¹), ja vähäisintä sadettamattomasta, lannoittamattomasta maasta, jossa viljeltiin ohraa (0,1 kg N₂O-N ha⁻¹).

Julkaisija



**Maatalouden
tutkimuskeskus**

31600 JOKIOINEN

Julkaisun sarja ja numero

Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja.
Sarja A 67

Julkaisuaika (kk ja vuosi)

Joulukuu 1999

Tekijä(t)

Riitta Salo

Markku Yli-Halla (toim.)

Tutkimushankkeen nimi

Toimeksiantaja(t)

Maatalouden tutkimuskeskus

Nimike

Maataloustieteen päivät 2000. Kasvintuotanto ja maaperä, Puutarhatuotanto.
Esitelmät ja posteritiivistelmät Helsinki 10.–11.1.2000.

Tiivistelmä

Suomen Maataloustieteellinen Seura perustettiin 2. päivä joulukuuta 1909 edistämään maamme maataloustutkimusta ja tekemään sitä tunnetuksi niin kotimaassa kuin ulkomaillakin. Seura on 90-vuotisen taipaleensa aikana myötäkokenut suomalaisen maatalouden suuret muutokset ja tukenut suomalaisen tieteellisen maataloustutkimuksen matkaa alkuaskelmiltaan nykypäivän syväluotaavaan, monitieteiseen, kansainväliseen tutkimustoimintaan. Seura toimii perinteidensä mukaisesti niin aktiivisen vuorovaikutuksen virittäjänä kuin keskustelufooruminakin.

Toiminta-ajatustaan Seura toteuttaa harjoittamalla julkaisu-toimintaa ja järjestämällä tutkijatapaamisia kuukausittain. Kiinnostus seuran jäsenten keskuudessa rohkaisi meitä järjestämään maataloustieteen suurtapahtuman, kaksipäiväiset Maataloustieteen päivät lähes kymmenen vuoden tauon jälkeen. Mikä olisikaan sopivampi ajankohta herättää kaivattu maataloustieteellinen tapahtuma henkiin kuin Seuran 90-vuotisjuhlallisuuDET vuosituuhannen vaihtuessa. Maataloustieteen päivät järjestetään yhteistyössä Helsingin yliopiston maatalous-metsätieteellisen tiedekunnan kanssa. Päivien ohjelma on läpileikkaus Suomen maataloussektorin ajankohtaiseen tutkimukseen. Uskomme näiden päivien edistävän vuorovaikutusta ja luovan yhä vahvemman yhdysiteen maatalouden ja sen lähitieteiden alalla toimivien tutkijoiden ja alasta kiinnostuneiden henkilöiden ja yhteisöiden välille. Olemme nyt kokoontuneet tämän päivän haastavien tutkimuskysymysten äärelle. Tämä on mahdollista vain, koska lukuisat seuramme jäsenet ja tahot ovat korvaamattomalla panoksellaan osallistuneet tapahtuman järjestelyihin. Haluan Suomen Maataloustieteellisen Seuran hallituksen puolesta lämpimästi kiittää Maatalouden tutkimuskeskusta tämän julkaisun julkaisemisesta sekä kaikkia niitä henkilöitä ja tahoja, jotka ovat uuttuudellaan mahdollistaneet kaksipäiväisen, suomalaisen maataloustieteen suurtapahtuman järjestämisen.

Avainsanat

Toimintayksikkö

MTT, Tietopalveluyksikkö, 31600 Jokioinen

ISSN

1238-9935

ISBN

951-729-557-X



Tuloksia voi soveltaa luomuviljelyssä

Myynti: MTT tietopalveluyksikkö, 31600 JOKIOINEN

Puhelin (03) 4188 2327

Telekopio (03) 4188 2339

Sivuja

238 s.

Hinta

Vammalan Kirjapaino Oy 1999
ISBN 951-729-557-X
ISSN 1238-9935