

*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

38

Riitta Salo (toim.)

Sata vuotta maataloustutkimusta

– Mihin tutkimus ohjaa tuotantoa?



Riitta Salo (toim.)

Sata vuotta maataloustutkimusta

– Mihin tutkimus ohjaa tuotantoa?

**Maatalouden tutkimus- ja tuotantopäivät
Jokioinen 12.–13.8.1998**

Esitelmät

Hundred years of agricultural research

– Where does research lead production?

Symposium on agricultural production and research

Maatalouden tutkimuskeskus

Salo, R. (toim.)¹⁾ 1998. Sata vuotta maataloustutkimusta – Mihin tutkimus ohjaa tuotantoa? Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja Sarja A 38. Maatalouden tutkimus- ja tuotantopäivät, Jokioinen 12.–13.8.1998. Esitelmät. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 87 p. ISSN 1238-9935, ISBN 951-729-516-2.

¹⁾ Maatalouden tutkimuskeskus, Tietopalveluyksikkö, 31600 Jokioinen, riitta.salo@mtt.fi

Salo, R. (ed.)¹⁾ Hundred years of agricultural research – Where does research lead production? Publications of Agricultural Research Centre of Finland. Serie A 38. Symposium on agricultural production and research, Jokioinen, 12.–13.1998. Abstracts. Jokioinen: Agricultural Research Centre of Finland. 87 p. ISSN 1238-9935, ISBN 951-729-516-2.

¹⁾ Agricultural Research Centre of Finland, Data and Information Services, 31600 Jokioinen, riitta.salo@mtt.fi

ISBN 951-729-516-2

ISSN 1238-9935

Copyright

Maatalouden tutkimuskeskus

Kirjoittajat

Julkaisija

Maatalouden tutkimuskeskus, 31600 Jokioinen

Jakelu ja myynti

Maatalouden tutkimuskeskus, tietopalveluyksikkö, 31600 Jokioinen

Puhelin (03) 4188 7502, telekopio (03) 418 8339

Painatus

Yliopistopaino, 1998

Sisäsivujen painopaperille on myönnetty pohjoismainen joutsenmerkki.
Kansimateriaali on 75-prosenttisesti uusiokuitua.

Sisällys

Järjestäjät	4
<i>Poutiainen, E.</i> Tutkimus tiennäyttäjänä	5
<i>Mäntysaari, E.</i> Kestävät tavoitteet lypsykarjan jalostuksessa	7
<i>Markkula, M.</i> Munasolusta vasikaksi – naudan alkiotuotannon mahdollisuudet	16
<i>Vilkki, J.</i> Mitä tiedetään geeneistä? Naudan tuotanto- ja terveysgeenien kartoitus ...	24
<i>Myllymäki, H.</i> Ydinkarjasta ytyä eläinmarkkinoille	29
<i>Menzler-Hokkanen, I.</i> Maatalousbiotekniikan kaupalliset sovellukset: tarvitaanko kansallista strategiaa?	35
<i>Launis, V.</i> Bioteknologia ja arvot	45
<i>Mäkelä-Kurtto, R.</i> Raskasmetalliriskit ja niiden hallinta maataloudessa	50
<i>Laitinen, P. & Tuhkanen, H.-R.</i> Huuhtoutumismallilla torjunta-ainepäästöjä ennustamaan	58
<i>Saastamoinen, M.</i> Kauran laatu ja lajikejalostus: kauran uudet käyttömuodot teollisuuden eri sektoreilla	65
<i>Kiviharju, E.</i> Uusia välineitä kauranjalostukseen: kaksoishaploidien tuotanto kauralla	73
<i>Aura, E.</i> Kestääkö maa? Viljelyvarmuus ja maan rakenne	80

Järjestäjät

Hämeen kesäyliopisto

Maatalouden tutkimuskeskus

Hämeen Maaseutukeskus

MTK-Etelä-Häme

Hämeen ammattikorkeakoulu

Tutkimus tiennäyttäjänä

Esko Poutiainen

Maatalouden tutkimuskeskus, 31600 Jokioinen

Maatalouden tutkimuskeskus (MTT) on tuottanut ja levittänyt tietoa ja osaamista Suomen maatalouden, maaseudun ja elintarviketalouden kehittämiseksi jo kunnioitettavat sata vuotta. MTT:n suora edeltäjä, maanviljelystaloudellinen koelaitos, perustettiin Keisarillisen Majesteetin Armollisella julistuksella 11. elokuuta 1898. Niitymatojen aiheuttamat suuret tuhot luonnonniityillä tarjosivat käytännön syyn koetoinnin aloittamiselle. Tutkimustarpeet olivat kuitenkin paljon laajemmat ja monipuolisemmat. Kyseessä oli käänteentekevä suunnanmuutos suurelta osin kaskiviljelyyn perustuvasta viljanviljelystä luonnonoloihimme paremmin soveltuvaan nurmi-tuotantoon ja siihen perustuvaan karjatalouteen. Tämä strateginen suunnanmuutos vaati toteutuakseen uusien tietojen ja taitojen hankintaa ja levittämistä maanviljelijöille kautta valtakunnan.

MTT on ollut keskeinen tekijä ja tiennäyttävä Suomen peltokasvituotannon ja siihen perustuvan karjatalouden kehittämisessä nykyiselle kansainvälisestikin arvioiden korkealle tasolle. Kotieläintemme tuotostaso, eläinten terveys ja tuotteiden korkea laatu edustavat EU-maiden huippua. Pohjoisissa oloissamme nurmi tuottaa vuodesta toiseen varmimmin korkealaatuisen sadon, jonka märehittäjät pystyvät muuntaamaan ihmisille arvokkaaksi ravinnoksi. Tutkimus ja neuvonta ovat kehittäneet käytännöstä saadun palautteen ohjaamana oloissamme hyvin toimivan tuotantoketjun. Se on hyvä perusta kotieläinvaltaisen maatalouden jatkamiselle maassamme, vaikka toimintaympäristön muutokset ai-

heuttavatkin siihen tarkistustarpeita.

Pitkäjänteiseen tutkimustyöhön perustuvaa osaamista MTT pyrkii edelleen vahvistamaan ja syventämään. Erityistä huomiota kiinnitetään tutkimustulosten nopeaan hyödyntämiseen yrityksissä yhdistämällä tutkimus kiinteästi tuotantoprosessiin ja toimimalla yhteistyössä tuotantoketjun muiden osapuolien kanssa tutkimusongelman identifioinnista aina sen ratkaisuun ja tulosten soveltamiseen asti. Yhteydenpitoon sekä tietojen ja tulosten siirtoon Agromet-tietoverkko tarjoaa erinomaisen välineen, jota yhä suurempi osa maaseudun pienyrittäjistäkin voi jo nykyisin hyödyntää.

Tämän vuoden Maatalouden tutkimus- ja tuotantopäivien esityksissä esitellään biotekniikan ja geenitekniikan hyväksikäyttömahdollisuuksia ja MTT:ssa tällä sektorilla saavutettuja tuloksia. Käytännön sovellukset vaativat usein varsin pitkän perustyön. Strategista perustutkimusta on jatkettava koko ajan sovellusten rinnalla, sillä muutoin kehityksestä jäädään pian jälkeen.

MTT on tehnyt alkionsiirtotutkimusta lampaalla, naudalla ja hevosella jo lähes pari vuosikymmentä tähtäimenään käytännön sovellukset. Niitä on myöskin saatu aikaan. Vaikutuksiltaan kauaskantoisin tulee olemaan Jokioisiin vuonna 1997 perustettu maailman ensimmäinen ja ainoa ayrshire-rodun ydinkarja. Se tulee tarjoamaan onnistuessaan rohkaisevia näköaloja maamme lypsykarjan jalostuksessa. Hanke perustuu vahvasti MTT:n huippuosaamiseen tällä alueella.

MTT:n kasvinjalostustutkimus on tä-

män vuosikymmenen ajan paneutunut so-
lukkoviljelyn kehittämiseen eri kasvilajeille.
Tämä biotekninen menetelmä on jo rutiini-
käytössä ohralla ja vehnällä. Meille tärkeän
kauran ponsiviljely osoittautui vaikeaksi,
kunnes se viime vuoden lopulla onnistui en-
simmäinen kerran täydelliseksi taimeksi
asti. Ponsiviljely nopeuttaa kauranjalostus-
ta 4–6 vuodella perinteiseen menetelmään
verrattuna. Suomalaisen kauran kehittämi-
nen terveysvaikutuksiltaan ainutlaatuiseksi
vientituotteeksi sai näin merkittävän sysä-
yksen.

MTT:n juhlavuoden tutkimus- ja tuo-
tantopäivät esittelevät tämän päivän tutki-
musmenetelmiä erityisesti eläin- ja kasvin-

jalostuksessa. Biotekniikka ja geenitekniik-
ka tarjoavat mielenkiintoisia näköaloja ja
mahdollisuuksia biologisessa tuotannossa.
Ne ovat vahvoja ja nopeavaikutteisia aseita
osaavien tutkijoiden käsissä. Heidän on
käytettävä niitä hyvin vastuuntuntoisesti ja
korkeaa tutkijan moraalialueita osoittaen. Oikea
tieto on kuitenkin kaiken kehityksen perus-
ta ja kulmakivi. Kehitystä emme voi, eikä
sitä tule pysäyttää vaan sitä tulee viisaasti
ohjata. MTT:n toimii omalla alallaan roh-
keasti tienäyttäjänä. Vahvan perinteen poh-
jalta on turvallista ponnistaa uudelle vuosi-
sadalle.

Kestävät tavoitteet lypsykarjan jalostuksessa

Esa Mäntysaari

Maatalouden tutkimuskeskus, Kotieläintuotannon tutkimus, 31600 Jokioinen

Kestävät jalostustavoitteet perustuvat tuotannon taloudellisuuden ja biologisen tehokkuuden kehittämiseen, mutta ottavat huomioon kestävän tuotannon edellytykset. Näitä ovat ekologisuus, eettisyys ja taloudellinen kannattavuus. Ekologinen tuotanto ei rasita ympäristöä, käyttää hallitusti uudistumattomia luonnonvaroja ja pyrkii säilyttämään luonnon biologisen monimuotoisuuden. Eettisesti kestävä tuotanto tapahtuu luonnon ehdoilla ja tuotantoeläinten hyvinvoinnin huomioiden. Tällöin jalostustavoitteiden lisäksi myös menetelmien täytyy olla eettisesti hyväksytyjä.

Hyvin suunniteltu ja tavoitteiltaan monipuolinen kokonaisjalostusarvoindeksi johtaa eläinaineksen kehittymiseen tasapainoisesti. Tuotannon taloudellisuutta ja ekologista tehokkuutta parannetaan parhaiten painottamalla jalostustavoitteessa tuotanto-ominaisuuksia. Tuotantotaso on tärkeimpiä tuotannon energia- ja valkuais-hyötysuhteeseen vaikuttavia tekijöitä.

Nämä puolestaan ovat suoraan verrannollisia niin tuotantokustannuksiin maitolitraa kohti kuin ympäristökuormitukseenkin. Yksipuolinen tuotantojalostus johtaa kuitenkin tuotantosairauksien lisääntymiseen.

Eettiseen eläinjalostukseen kuuluva eläinten hyvinvoinnin edistäminen edellyttää terveys- ja lisääntymisominaisuuksien huomioonottamista valinnassa.

Suomalaisessa lypsykarjan jalostuksessa lisääntymis- ja terveysominaisuuksien painotukset ovat olleet suurempia kuin pelkästään taloudellisin perustein on laskettu tarpeelliseksi. Tästä johtuen jalostusvalinta on jopa johtanut perinnölliseen edistymiseen tärkeimpien tuotantosairauksien, kuten utaretulehdusten, vastustuskyvyssä. Samaten näyttää, että lisääntymisominaisuuksien saama painotus on pysäyttänyt pitkään jatkuneen heikentymisen lypsylehmien hedelmällisyydessä.

Avainsanat: eettiset jalostustavoitteet, ekologiset jalostustavoitteet, eläinten hyvinvointi, maidontuotanto, taloudelliset jalostustavoitteet, ympäristökuormitus

Breeding objectives in sustainable dairy breeding

Abstract

Sustainable breeding objectives are based on improvement of the economic and biological efficiency of production but are set up from the viewpoint of sustainable production. They must therefore be ecologically, ethically and economically sound. Ecological production is in harmony with the environment, does not waste exogenous energy and seeks to maintain biological diversity. Ethically sustainable production is natural and considers the welfare of production animals. Ethical acceptability needs to be extended to the methods used as well.

When selection is based on a well designed total merit index, genetic improvement leads to physiologically balanced animals. Economic profitability and ecological efficiency are best considered by giving adequate emphasis to production traits. Production level is the key component in the

net efficiency of energy and protein. These mainly determine the production cost per unit of milk produced as well as the environmental load. However, one-sided breeding for production leads to increased incidence of production diseases. Ethically sustainable breeding therefore aims to improve the welfare of animals and thus requires health and reproduction traits to be included in the total merit index.

In Finnish dairy breeding the weight given to reproduction and health traits has been greater than could be justified on economic grounds alone. This has resulted in genetic improvements in traits such as susceptibility to production diseases, especially resistance to mastitis. It looks also that the large weight given to reproduction has brought the persistently negative trend in dairy cattle fertility to an end.

Key words: animal welfare, ecological, economical, environment, ethical breeding goals, milk production

Johdanto

Jalostusohjelman suunnittelussa keskeinen lähtökohta on jalostustavoitteen määrittely. Eläinjalostuksen tulokset realisoituvat vasta useiden sukupolvien päästä, jolloin hitaasti lisääntyvillä ja pitkäikäisillä kotieläimillä, kuten lypsykarjalla, suunnittelu- ja perspektiivin on oltava kymmenien vuosien mittainen. Tyypillinen jalostussuunnittelu perustuu vahvasti talouslaskelmiin, joiden avulla arvioidaan vaihtoehtoisista tavoitteista saatava tuotto tulevaisuudessa. Huomioon otetaan eri ominaisuuksien arvo, niiden jalostettavuus ja eri ominaisuuksien väliset perinnölliset yhteydet. Eri tavoitteista saattaa jalostusohjelmassa koitua myös erilaiset kustannukset.

Määriteltäessä jalostustavoite taloudellisin perustein joudutaan laskelmissa tukeutumaan ennustettuun markkinatilanteeseen sekä tuleviin tuotantokustannuksiin ja tuottajahintoihin. Epävarmuus tulevista hintasuhteista sai Maijalan (1976) esittämään, että jalostustavoitteet määräättäisiin taloudellisen tuloksen sijasta biologisen tehokkuuden perusteella. Tämän keskeiseksi komponentiksi hän nimesi rehukäyttökyvyn ja erityisesti eläimen rehuhyötysuhteen valkuaisuuttajana. Lypsykarjan kokonaisvaltainen jalostustavoite kuitenkin edellyttää eri ominaisuuksien keskinäistä arvottamista. Terveys- ja hedelmällisyysominaisuudet Maijala (1976) nimesi osaksi rehukäyttökykyä. Tuotteiden laatuominaisuudet ja hoitotekniset ominaisuudet, kuten luonteen ja lypsettävyyden, hän totesi tärkeiksi, mutta ei käynyt johtamaan niiden suhteellisten painojen laskemista.

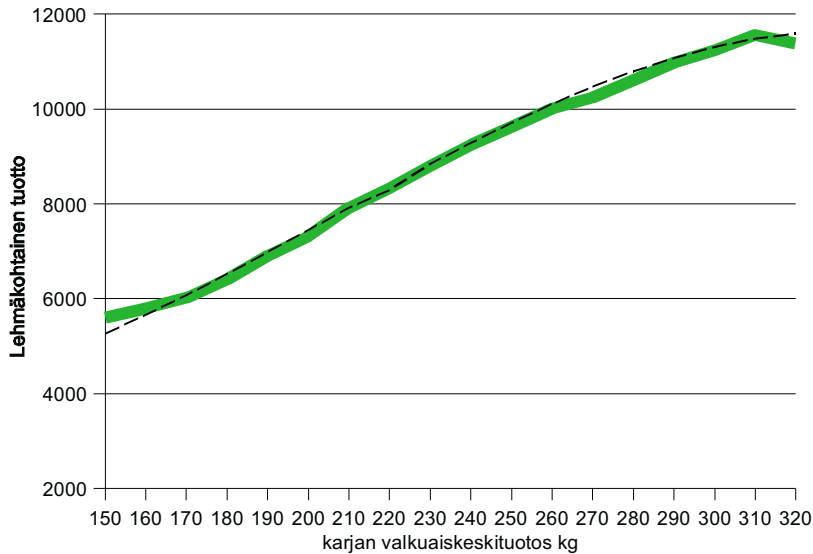
Kestävän kotieläintuotannon tunnusmerkkejä ovat ekologisuus, eettisyys ja taloudellinen kannattavuus (Torp-Donner & Juga 1997). Ekologinen tuotanto ei rasita ympäristöä, käyttää hallitusti uudistumattomia luonnonvaroja ja pyrkii säilyttämään luonnon biologisen monimuotoisuuden. Eettisesti kestävä tuotanto tapahtuu luonnon ehdoilla ja tuotantoeläinten hyvinvoinnin huomioiden. Taloudellinen kannatta-

vuus ei sinänsä tunnu yksittäistapauksessa välttämättömältä, mutta koko tuotannonsektorin kannalta on tärkeää edellyttää kestävältä tuotannolta myös tehokkuutta. Vaikka tuotanto ja tuotteet täyttäisivät muut kestävä kotieläintalouden tunnusmerkit, pitkällä aikavälillä alan menestys riippuu kuluttajien hyväksynnästä. Kuluttaja pohtii eri tuotevaihtoehtojen hintoja ja valitsee omien arvostustensa mukaisesti haluamallaan tavalla tuotetun elintarvikkeen. Mikäli kestävässä tuotannossa kustannukset ovat merkittävästi korkeammat kuin ympäristöä rasittavassa, joutuu kuluttaja vaikean valinnan eteen.

Kestävät jalostustavoitteet perustuvat tuotannon taloudellisuuden ja biologisen tehokkuuden kehittämiseen, mutta ottavat huomioon kestävä tuotannon edellytykset. Tässä esityksessä tarkastellaan lypsykarjalla toteutunutta jalostuksellista edistystä ja pohditaan tapahtuneen kehityksen suuntaa kestävien tavoitteiden näkökulmasta.

Jalostusvalinta ja taloudellinen tehokkuus

Teoreettisten laskelmien perusteella maidontuotannon biologinen tehokkuus riippuu tuotostasosta, koska tuotoksen noustessa eläimen ylläpitoon kuluvan energian (ja valkuaisen) osuus kokonaisenergiatarpeesta pienenee (vrt. Nousiainen et al. 1997). Käytännössä tulos ei ole yhtä selvä. Korkeammilla tuotostasoilla lisärehun antama rajatuotos pienenee ja mm. rehuainesten hintasuhteista johtuen todelliset rehukustannukset maitolitraa kohti eivät laske odotetusti. Juga (1998) vertasi karjantarkkailutiloilla tehtyjä MATU-tuloslaskelmia (Helander 1997) karjan keskituotosluokittain ja totesi yhteyden selvästi käyräviivaiseksi. Rehukustannus litraa kohti laskee suhteellisen nopeasti noin 8000 kg vuosituotostasolle asti, jonka jälkeen lasku hidastuu. Laskelmat keskituotostasolla osoittavat

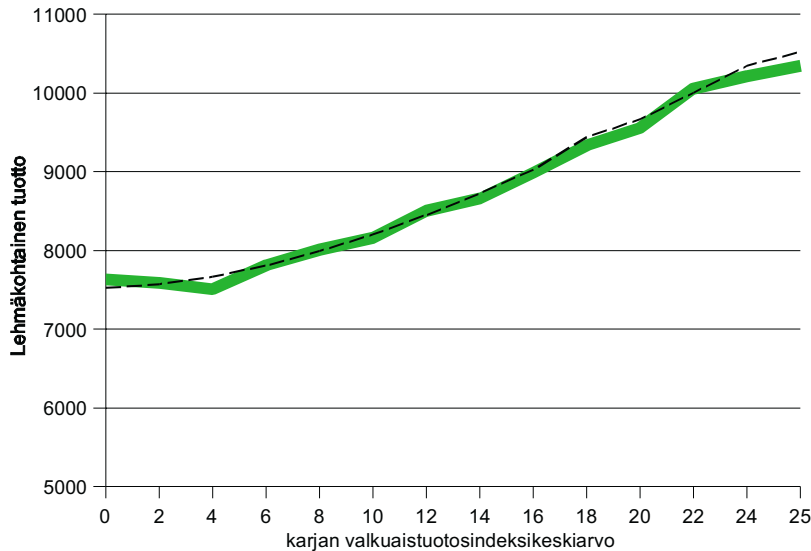


Kuva 1. MATU -laskelmien lehmäkohtainen tuotto tuotokseltaan eri tasoissa karjoissa. Katkoviivalla on merkitty kolmannen asteen polynomisen regressioennuste.

kaikkien karjan tuotantoon vaikuttavien tekijöiden yhteisvaikutuksen. Tuotostason nousua seuraa niin muutos rehukustannuksissa kuin esim. työmenekissäkin. On oletettavissa, että jalostusvalinnalla saavutettavan lisätuotoksen vaikutus tuotantokustannuksiin on selkeämmin lineaarinen ainakin realistisella vaihteluvälillä. Kuva 1 havainnollistaa MATU -laskelman keskimääräisen lehmäkohtaisen tuoton ja tilan keski-alkuaistuotoksen välistä yhteyttä. Yhteys on S-kirjaimen muotoinen niin, että keskimääräisellä tasolla yhden yksikön muutos tilan tuotostasossa johtaa parempaan lisätuottoon lehmää kohti (47 mk/lehmä per valkuaiskilo) kuin mikä saavutetaan korkealla tasolla (36 mk per kg). Tulos vastaa Jugan (1998) esittämää tilan maitotuotoksen ja maidon keskimääräisten tuotantokustannusten suhdetta. Kuvassa 2 on puolestaan esitetty jalostusarvotasoltaan eri tasoisten tilojen MATU-tuloslaskelmista saadut lehmäkohtaisten tuottojen keskiarvot. Tilan eläinten jalostusarvojen keskiarvo näyttää johtavan tilan taloudellisen kannattavuuden paranemiseen lähes eksponentiaalisesti.

Ne tilat, joilla keskimääräinen valkuais-
tointeindeksi on alle 8 kg, saavat noin 90
markan lisähyödyn jalostusponnistuksista
ja ne tilat, joilla valkuais-
tointeindeksit ovat yli 20 kg, saavat jopa 165
markkaa lisätuloa lehmää kohti kilon
lisäedistymisestä valkuais-
tointeindeksin jalostusarvossa.

Tuotannon taloudelliseen kannattavuuteen vaikuttavat tuotostason lisäksi myös eläinten hedelmällisyys ja terveys. Nykyisin hyväksytyssä jalostustavoitteessa näille ominaisuuksille annettu painotus perustuu pääsääntöisesti terveysominaisuuksien taloudelliseen arvoon tuottajalle. Heikentyneestä hedelmällisyydestä johtuen karjan keskimääräinen poikimaväli pitenee samalla, kun siemennysten ja poistojen määrät lisääntyvät. Terveysominaisuuksista utareongelmat aiheuttavat taloudellisesti suurimmat menetykset. Utaretulehduksen vuoksi hoitotyö lisääntyy, eläinlääkärikulut kasvavat, jo tuotettua maitoa menetetään lääkevaraoiden vuoksi, maidon laatu ja hinta laskee, poistojen määrä lisääntyy sekä eläinten keski-ikä lyhenee.



Kuva 2. MATU -laskelmien lehmäkohtainen tuotto valkuaistuotosindeksikeskiarvoiltaan eri tasoisissa karjoissa. Katkoviivalla on merkitty kolmannen asteen polynomisen regressioennuste.

Tuotannon ympäristövaikutukset

Nautakarja on toistuvasti nimetty merkittäväksi syypääksi metaani- ja hiilidioksidipäästöille. Niitä syntyy märehitjän ruoansulatuksessa rehun mikrobihajotuksen myötä. Kotieläintaloudessa myös typpeä ja fosforia menetetään lannan ja virtsan mukana ja näin tuotanto rasittaa sekä pinta- että pohjavesiä. Intensiivinen maidontuotanto, kuten Hollannissa, nojaa vahvasti ostorehujen varaan, jolloin lantaa muodostuu selvästi enemmän kuin paikallinen rehuntuotantoa kykenee käyttämään. Tällainen tuotanto on hyvin riippuvainen myös ulkopuolisesta energiasta, jota käytetään esim. rehun ja lannan kuljetuksiin, lannoitteisiin yms. Kaikkalainen fossiiliseen tai ydinvoimaan perustuvan energian tuhlaus on aina sekä ympäristö- että taloudellinen riski.

Eläintuotannossa ympäristövaikutukset ja tuotannon tehokkuus ovat tiettyyn rajaan asti positiivisesti korreloituja. Koh-

tuullisella tuotostasolla parantunut tuotos johtaa myös energian ja typen tehokkaampaan hyväksikäyttöön ja näin paitsi parantuneeseen taloudelliseen tulokseen myös pienempään ympäristökuormitukseen. Juga (1998) kuvasi maidontuotantotilojen typen ja fosforin hyväksikäyttöasteet tilan hoito- ja ruokintatason funktiona. Hyväksikäyttöasteet saatiin MATU -laskelmista ja hoito- ja ruokintatasoa ilmaisi kansallisten eläinmallijalostusarvostelujen sivutuotteena saatava karjaratkaisu. Karjaratkaisut kuvaavat karjan keskimääräistä managementti-tasoa ruokinnan ja hoidon suhteen ja ovat riippumattomia mm. karjan eläinten rodusta tai jalostusarvoista. Kun tuotostaso kohosi, parani typen hyväksikäyttö lähes suoraviivaisesti. Fosforin hyväksikäyttö kohosi aina keskituotostasolle asti, mutta tasoittui tätä korkeammalla managementti-tasolla. Kun vastaava kuvaus tehtiin vertaamalla hyväksikäyttöprosentteja karjan jalostusarvoindexien keskiarvoihin, paranivat sekä typen että fosforin käytön tehokkuus kautta linjan, ja parantuminen oli typen hyväksikäytössä jopa kolminkertainen ruokin-

taintensiteettiä kohottamalla saatuun. Jugan (1998) laskelmien perusteella 10 kg perinnöllinen edistyminen valkuaistuotostossossa johtaisi noin 1,4 %-yksikön (eli noin 6 %) parantumiseen typen hyväksikäytössä.

Vastaavanlainen laskelma tuotostason vaikutuksesta voidaan tehdä myös metaanipäästöjen suhteen. Flachovsky (1994) laski metaanipäästöjen puolittuvan (30 g–15 g) maitokiloa kohti, kun maitotuotos nousee 4000 kg:sta vuodessa 8000 kg:aan.

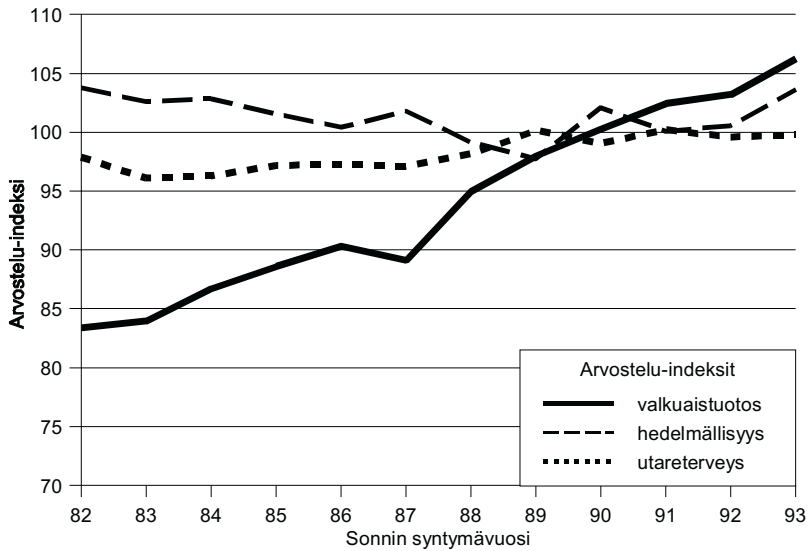
Jalostusvalinnan vaikutukset eläinten hyvinvointiin

Nykyaikainen lypsylehmä on pitkän ja väsymättömän ”eläinvalinnan” tulos. Sen tuotantotasoa, fysiologia ja käyttäytyminen poikkeaa täysin kesyttämättömillä ja vapailla nautaeläimillä havaittavasta. Hyvä lypsylehmä saattaa tuottaa kuukausikaupalla 30–40 litraa maitoa päivässä, käyttää 13 tuntia päivässä syömiseen (Kaustell & Rinne 1997), ja viettää pääosan elämästään paikalleen kytkettynä parsinavetassa. On filosofinen kysymys, mikä on ollut tämän perusdomestikaation vaikutus lypsylehmän hyvinvointiin. Sen sijaan on varmaa, että kaikki poikkeamat keskimääräiseltä lehmätasolta, esim. tuotoksessa tai hoitotekniikassa, voivat vaikuttaa hyvinvointiin joko positiivisesti tai negatiivisesti. Jalostuksella nykyisin saavutettava edistyminen johtaa eläinten metabolisen stressin lisääntymiseen, mutta muutoksen voidaan katsoa tapahtuvan eläimen omilla ehdoilla. Tuotantojalostuksen tiedetään toisaalta lisäävän hedelmällisyysongelmia ja alttiutta tuotantosairauksille. On oletettavissa, että lisääntymistoimintojen häiriintyminen tai selvästi tuskia tuottavat sairaudet, kuten aineenvaihduntataudit tai utaretulehdus, vähentävät aina lehmän elämisen laatua.

Eläinjalostuksen kautta parantunut perinnöllinen tuotantokyky johtaa lisäänty-

neeseen rehuntarpeeseen ja aiheuttaa lisää vaatimuksia rehujen laadulle ja koostumukselle. Websterin (1994) mukaan lypsy-
lehmien hyvinvointiongelmien keskeinen tekijä ei olekaan jalostamalla saatu tuotostaso vaan sen mukanaan tuomat lisätarpeet. Tämän perusteella pitkälle jalostetun lypsylehmän alhainen tuotostaso on pikemminkin osoitus siitä, ettei eläinten rehu- ja muita managementti-tarpeita ole tyydytetty. Webster (1994) vertasi jalostettua lypsylehmää moderniin urheiluautoon. Kun auto on kunnossa, polttoaine ja huolto on OK, on auton suorituskyky uskomaton. Jos polttoaine on huonoa, ei auto (tai lehmä) yllä omalle tasolleen, ja jos huolto puuttuu, se hajoaa.

Tuotostason kohoaminen näyttää koko lypsykarjapopulaation tasolla johtavan lisääntyneeseen tuotantosairauksien hoitotarpeeseen. Karjojen välillä esiintyvä vaihtelu tuotantosairauhoidoissa heijastelee myös tuottajien suhtautumista eläinten sairastavuuteen. Niissä karjoissa, joissa tuotannolliset tavoitteet ovat korkeimmalla, kiinnitetään enemmän huomiota lehmien terveyteen ja havaitut ongelmat myös hoidetaan eläinlääkärillä. Silti näyttää selvältä, että tuotoksen ja sairastavuuden perinnöllinen yhteys on suurempi kuin niiden fenotyyppinen yhteys (katso esim. Pösö & Mäntysaari 1996). Näin ollen tuotantokyvyn perinnöllinen parantuminen johtaisi pitkällä tähtäimellä lisääntyneeseen sairastavuuteen. Tämän estämiseksi jalostusvalintaan käytetyssä kokonaisjalostusarvossa on merkittävästi painotettu myös terveys- ja lisääntymisominaisuuksia. Kuvassa 3 on esitetty keinosiemennyssonnien keväällä 1998 lasketuista jalostusarvosteluista tärkeimpien tuotanto ja terveysominaisuuksien keskiarvot syntymävuosittain. Sonnien jalostusindeksit hedelmällisyyden ja utareterveyden suhteen laskivat aina 1990-luvun alkuun asti. Vuonna 1988 kokonaisjalostusarvoon otettiin mukaan uudet arvostelut maidon somaattisen soluluvun jalostusarvosta. Tämä käänsi kehityksen utareterveyden kannalta parempaan suuntaan. Lehmien hedelmällisyys, jota tässä on kuvattu



Kuva 3. Keväällä 1998 lasketuissa jalostusarvosteluissa ayrshire-sonnien keskimääräiset valkuaistuotanto-, hedelmällisyys- ja utareterveysindeksit syntymävuosittain.

sonnien indeksillä tyhjäkauden ja eläinlääkärien tekemien hedelmällisyshoitojen suhteen, heikkeni selvästi vuoteen 1989 saakka. Heikkeneminen oli seurausta tuotantojalostuksesta. Viimeisissä arvostelluissa sonni-ikäluokissa tytärhedelmällisyys näyttää kuitenkin jo kääntyneen nousuun. Syynä ovat sekä tarkentuneet jalostusarvostelut tyhjäkauden suhteen että samalla sille annettu suurempi paino kokonaisjalostusarvoindeksissä. Lisääntymisominaisuuksien tason säilyttäminen on edellyttänyt tinkimistä kokonaistaloudellisesta ajattelutavasta, kun taloudellinen hyöty ei ole riittänyt korvaamaan menetettyä edistymistä tuotannon jalostuksessa.

Eräänä eläinten hyvinvoinnin mittana voidaan pitää eläinten kestävyyttä. Vuonna 1986 Suomessa lehmien keskimääräinen ikä poistettaessa oli 5,6 vuotta, kun se vuonna 1996 oli tasan 5 vuotta (Maaseutukeskusten liitto 1997). Osasy keski-ikä laskuun on tuotantosairauksissa, mutta suurimmaksi osaksi suuntaus riippuu tuotannon tekijöiden hintasuhteista. Optimoitoko riippuu 1) lehmän teurashinnan,

hiehon uudistuskustannuksen ja hiehon teurashintojen suhteesta; 2) lehmien ja ensikoiden tuotossuhteesta; ja 3) eläinlääkintä- ja siemennyskulujen lisääntymisestä lehmän iän myötä. Jalostustavoitteena lehmien käyttöiän pidentäminen on hankala, koska tiedot eläinten jalostusarvosta saadaan myöhään. Nykyisellään lähes kaikki lehmävasikat käytetään uudistukseen riippumatta siitä, millainen niiden emän kestävyys on. Sonneilla taas luotettavien kestävyysarvostelujen saaminen edellyttäisi vähintään 3 kertaa poikineita tyttäriä, jota ennen sonnia ei voitaisi hyväksyä käyttöön jälkeläisarvosteltuna. Toinen tapa kestävyysparantamiseen on olettaa, että eläinten yleisen terveyden, hedelmällisyyden ja tuotantosairauksien vastustamiseksi tehty jalostusarvostelu johtaa lopulta myös kestävämpiin eläimiin. Se, onko näin tapahtunut, nähdään tulevana vuosina, kun terveysjalostuksen tulokset alkavat selvemmin näkyä myös vanhemmilla lehmillä. Nykyisen tavoitteen vaikutus kestävyteen voitaisiin todeta myös laskemalla luotettavat jalostusarvostelut tuotantoikä suhteen ja vertaa-

malla niitä nyt kokonaisjalostusarvoindeksissä mukana olevien ominaisuuksien arvos-
teluihin.

Tuotannon eettisyys

Eettisen tuotannon on luonnollisesti oltava ympäristön ja eläinten hyvinvoinnin kannalta kestävä. Toisaalta eettisyys on syvempi määre, jonka sisältö riippuu subjektiivisesti määrittelijän omasta näkökulmasta. Tuotannon ja eläinjalostuksen eettisyys ei käsitteenä tällöin enää sisällä ainoastaan itse tuotantoa ja lopputuotetta vaan mukaan on luettava tavoitteiden saavuttamiseen käytettävien keinojen hyväksyttävyyttä. Tällä alueella tuottajien ja tutkijoiden omatuntona ovat usein kuluttajat. Vaikka tieteellisen ja teknisen näkemyksen mukaan tietty menettely olisi hyväksyttävissä, ollen ympäristön ja jopa eläinten hyvinvoinnin kannalta toivottava, ei tällaiselle menettelylle juuri löydy puolustajia, jos sen arvioidaan tekevän lopputuotteesta eettisesti arveluttavan. Hypoteettiseksi esimerkiksi kävisivät vaikkapa siirtogeeniset eläimet, joiden tuotantosairauksien vastuskykyä olisi parannettu toisesta eläin- tai kasvilajista siirretyn geenin avulla.

Yksikertaisia eettisiä linjanvetoja on lypsykarjan jalostuksessaakin tehty. Tällainen on esimerkiksi jalostustavoitteeseen kuuluva eläinten hedelmällisyys, jota on painotettu selvästi taloudellista arvoaan enemmän. Norjalaisen määritelmän mukaan mikään kokonaisjalostustavoitteeseen hyväksytty ominaisuus ei saa heiketä (Steine 1992). Tätä periaatetta toteuttaessaan heillä on tuotannon suhteellinen paino kokonaisindeksissä vuosien myötä jatkuvasti pienentynyt.

Eri tuotantomuodoissa hyväksytään erilaiset jalostusmenetelmät. Luonnonmukaisen tuotannon ohjeistuksessa suositellaan lehmien lisääntymistä vapaan astutuksen myötä, joskin keinosiemennys hyväksytään. Alkionsiirtoa ei luonnonmukaisessa tuotannossa suvaita, eikä edes keinosiemen-

nystä sonneilla, jotka itse ovat syntyneet alkionsiirron kautta. Vaikka alkionsiirrosta syntyneet tyttären tai alkionsiirtosonnien keinosiemennystytöt ovat täysin samankaltaisia kuin luonnollisen astutuksen kautta syntyneet, johtaisi eläinten hyväksyminen tavallaan myös menettelyn hyväksymiseen. Keinosiemennyksen ja alkionsiirron välinen rajanveto perustuu selvemmin toimenpiteiden tekniseen vaativuuteen ja niiden vaikutukseen eläimen hyvinvointiin, esimerkiksi ylimääräisten ”turhien” hormonikäsittelyjen kautta. Kiimojen synkronointia muihinkaan tarkoituksiin ei hyväksytä. Luonnollisesti luonnonmukaisessa tuotannossa ei hyväksytä geenimanipulaatiota. Todennäköisesti tämä tulee aikanaan jakamaan mielipiteet eettisestä hyväksyttävyydestä myös tavanomaisessa tuotannossa.

Johtopäätökset

Eläinjalostus poikkeaa periaatteiltaan useimmista muista tuotannon taloudellisuutta ja tehokkuutta parantavista investoinneista ja lisäpanostuksista. Jatkuva tuotostason kohottaminen johtaa pienenevään taloudelliseen lisätuottoon ja lisääntyvään ympäristökuormitukseen ellei se samankaltaisesti perustu eläinaineksen luontaisen tuotantokyvyn parantumiseen. Samaten tuotostason kohottaminen manipuloimalla yksittäistä tuotantontekijää tai sen välikappaleita saattaa johtaa muutoksiin eläimen fysiologisessa tasapainossa ja sitä myötä esimerkiksi lisääntyneeseen sairastavuuteen ja eläimen yleisen hyvinvoinnin heikentymiseen. Esimerkiksi kasvuhormoni-injektoinnilla saavutettava lisätuotos johtaa lisääntyneeseen energian tarpeeseen, johon eläimen muu fysiologia ei välttämättä ole sopeutunut. Tuotantotason kohottamiseen tähtäävä eläinjalostus puolestaan kehittää eläimen sopeutumista kokonaisuutena ja jossain määrin jopa parantaa eläimen hyvinvointia.

Tehokkuuden myötä lisääntyvä tuotantostressi aiheuttaa negatiivisen perinnöllisen yhteyden tuotoksen ja terveysomina-

suuksien välille. Tätä korostaa mahdollinen epäonnistuminen ruokinta- ja hoitoympäristön pyrkiessä täyttämään eläinaineksen parantumisen tuomat vaatimukset. On ilmeistä, että epäsuotuisasta korrelaatiosta johtuen hedelmällisyys- ja terveysominaisuuksien perinnöllinen taso on ainakin aikaisemmin heikentynyt tuotostason nous-

tessa. Kehityksen pysäyttämiseksi keinosiemennyssonnien valinnassa painotuksia on siirretty yhä enemmän terveys-, hedelmällisyys ja käyttöominaisuuksien suuntaan.

Kirjallisuus

Flachovsky, G. 1994. Sind unsere Milchkuhe "Umweltsunder"? Milchrind. Journal für Zucht, Biotechnologie und Leistungsprüfung 4/94: 12–14. (Ref. Torp-Donner & Juga, 1997).

Helander, J. 1997. Mitä mittaat, voit parantaa - maitotilaneuvonnan toimintaperiaate. Kotieläintieteen päivät 1997. Helsinki: Maaseutukeskusten Liitto. p. 141–144. ISBN-951-808-054-2.

Juga, J. 1998. The nordic model for animal welfare and sustainability, is it competitive. Acta Agriculturae Scandinavica, Sect. A. (Supplement, accepted)

Juga, J. & Voutilainen, U. 1998. Prerequisite for genetic response in dairy cattle breeding. Journal of Agricultural and Food Science in Finland 7. (Supplement).

Kaustell, K. & Rinne, M. 1997. Syöntikäyttäytyminen nautojen ravitsemuksessa. Kotieläintieteen päivät 1997. Helsinki: Maaseutukeskusten Liitto. p. 113–116. ISBN-951-808-054-2.

Maaseutukeskusten liitto 1997. Tuotostarkkailun tulokset, Maitotilaneuvonta 1996. Helsinki: Maaseutukeskusten liitto. ISBN 951-808-046-1.

Maijala, K. 1976. General aspects in defining breeding goals in farm animals. Acta Agriculturae Scandinavica 26: 40–46.

Nousiainen, J., Griinari, M. & Setälä, J. 1997. Tavoitteena kannattava maidon tuotanto. Kotieläintieteen päivät 1997. Helsinki: Maaseutukeskusten Liitto. p. 145–148. ISBN-951-808-054-2.

Pösö, J. & Mäntysaari, E.A. 1996. Relationships between clinical mastitis, somatic cell score, and production for the first three lactations of Finnish Ayrshire. Journal of Dairy Science 79: 1284–1291.

Steine, T. 1992. Alternative weighting of traits in a dairy cattle breeding program. Uppsala, Sweden: International bull evaluation service - Interbull Centre. Interbull bulletin 7. ISSN 1011-6079.

Torp-Donner, H. & Juga, J. 1997. Sustainability - a challenge to animal production and breeding. Agricultural and Food Science in Finland 6: 229–239.

Webster, J. 1994. Animal welfare - A cool eye towards eden. Oxford, England: Blackwell Science Ltd. p. 273. ISBN 0-632-03928-0.

Munasolusta vasikaksi – naudan alkiotuotannon mahdollisuudet

Merja Markkula

Ei saatavissa

Mitä tiedetään geeneistä?

Naudan tuotanto- ja terveysgeenien kartoitus

Johanna Vilkki

Maatalouden tutkimuskeskus, Kotieläintuotannon tutkimus, 31600 Jokioinen

Geenikartoitus selvittää olemassaolevaa muuntelua

Suurin osa kotieläinten taloudellisesti merkittävistä ominaisuuksista on kvantitatiivisia, ts. niihin vaikuttaa lukumäärältään ja vaikutukseltaan tuntematon joukko geenejä (quantitative trait loci, QTL) ja ympäristötekijöitä. Näiden ominaisuuksien perinnöllisestä taustasta saadaan lisätietoa geenikartoituksella. Kartoituksella pyritään selvittämään, onko nykyisessä jalostusaineistossa vielä muuntelua tiettyyn ominaisuuteen vaikuttavissa perintötekijöissä, ja jos on – missä kromosomeissa tällaiset muuntelevat alueet sijaitsevat. Kun tällainen alue löytyy, pyritään tunnistamaan vaikutukseen mahdollisimman tiiviisti kytkeytyneitä geenimerkkejä eli markkereita. Markkereita käyttämällä valinta voidaan kohdistaa suoraan ominaisuuden perinnölliseen osaan ilman häiritseviä ympäristövaikutuksia, mikä tehostaisi valintaa erityisesti alhaisen periytyvyysasteen ominaisuuksien (useimmat terveys- ja hedelmällisyysominaisuudet) osalta.

Markkerikartat

Kotieläinten markkerikartat ovat viime vuosina edistyneet huimaa vauhtia: sekä naudan että sian kartoissa on yli kaksituhatta tunnettua geenimerkkiä (esim. Barendse et al. 1997, Kappes et al. 1997), lampaalla ja kanalla tunnetaan yli 1000 markkeria. Markkeri on perintöaineksessa, kromosomien DNA:ssa oleva kohta, jossa esiintyvä luonnollinen rakennevaihtelu voidaan havaita laboratoriomenetelmin. Markkereja tutkitaan esimerkiksi verestä tai siemennestä eristetyistä DNA:sta, eikä tutkimus siten muuta tutkittavan eläimen omaa perintöainesta tai vaikuta sen hyvinvointiin. Varsinaisia perintötekijöitä (toiminnallisia geenejä) arvellaan olevan n. 50 000– 100 000, joista esim. naudalla on kartoitettu vasta joitakin kymmeniä. Vertailevalla geenikartoituksella voidaan hyödyntää muista nisäkäslajeista kertynyttä tietoa. Vaikka kromosomien määrä eri lajeissa on erilainen, on geenien järjestys ja niiden rakenne hyvin samankaltainen. Kun esimerkiksi ihmisen ja naudan kromosomien vastaavuus tunnetaan (Solinas-Toldo et al. 1995), voidaan ihmisen yksityiskohtaisemmasta geenikartasta poimia kiinnostava-

vilta alueilta mahdollisia markkereja tai kandidaattigeenejä eli geenejä, joiden toiminta voisi vaikuttaa tutkittavaan ominaisuuteen.

Paikannettuja perintötekijöitä

Geenikartoituksella voidaan hakea sekä yksittäisiä että kvantitatiivisiin ominaisuuksiin vaikuttavia perintötekijöitä. Tähän mennessä on paikannettu mm. väriin (Charlier et al. 1996), sarvellisuuteen (Georges et al. 1993), lihaksikkuuteen (Grobet et al. 1997) ja joihinkin tautitiloihin (mm. Charlier et al. 1996) vaikuttavia geenejä. Vain muutamassa tapauksessa on toistaiseksi pystytty selvittämään, mistä perintötekijän muutoksesta on kysymys. Tunnetuin esimerkki naudalla on kaksoislihaksikkuuden (double muscling) belgian blue- ja asturiana-liharoduissa aiheuttava myostatiinigeenin muutos (Grobet et al. 1997).

Naudan tuotanto- ja terveysgeenien kartoitus

Naudalla mm. maidontuotanto (kg), maidon valkuais- ja rasvapitoisuus, kasvu, hedelmällisyys ja utareterveys ovat kvantitatiivisia ominaisuuksia. Keinosiemennysjalostus on tuottanut suuria puolisisarusperheitä, joissa ominaisuuksien periytymistä voidaan seurata suoraan jalostusaineistosta. Jalostusaineistosta löytyviä markkerien ja ominaisuuksien yhteyksiä tulee olemaan kaikkein helpointa soveltaa käytännön jalostukseen.

Maatalouden tutkimuskeskuksen (MTT) Kotieläintuotannon tutkimuksessa aloitettiin vuonna 1993 naudän tuotanto- ja terveysominaisuuksiin vaikuttavien geenien kartoitus suomalaisesta ayrshire-karjasta. Tutkittavina ominaisuuksina ovat

tuotos (maitokg, valkuaiskg, rasvakg), maidon valkuais- ja rasvapitoisuus, tyttärien elopaino, vasikkakuolleisuus, utareterveys (maidon somaattinen soluluku ja utaretlehdukset), hedelmällisyys (tyhjäkausi ja hedelmällisyyshoidot) sekä sonnien kasvu ja uusimattomuusprosentti.

Kartoitusaineistoksi kerättiin DNA-näytteet 12 ayrshire-rodun puolisisarusperheestä, joihin sisältyy noin 500 jälkeläisrivosteltua keinosiemennyssonnia. Aineisto on kooltaan yksi maailman suurimmista ja sitä on käytetty myös naudän kromosomikohtaisten yleismaailmallisten kytkentäkarttojen laatimisessa (mm. Taylor et al. 1998). Geenimerkkeinä käytetään pääasiassa nk. mikrosatelliittimarkkereja, joista osa on kehitetty MTT:ssa. Mikrosatelliittimarkkeri koostuu toistuvajaksoisesta DNA:sta, jonka pituusvaihtelu voidaan havaita monistamalla kyseistä aluetta.

Tutkimuksen päämääränä on kartoittaa kaikki naudän kromosomit. Kartoitus aloitettiin kromosomeista, joissa tiedettiin olevan mahdollisia kandidaattigeenejä (esim. kaseiinit, kasvuhormoni), tai joihin oli aiemmin tutkimuksessa kartoitettu todennäköinen QTL (kvantitatiiviseen ominaisuuteen vaikuttava alue) (Georges et al. 1995). Tähän mennessä on kartoitettu yli puolet naudän perimästä (kromosomit 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 15, 19, 20 ja 23). Monen markkerin regressioon perustuvalla intervallikartoituksella (Vilkki et al. 1997) on löytynyt useita mahdollisia QTL-alueita. Näistä merkittävimmät ovat lehmien elopainoon vaikuttava alue kromosomissa 23 (Elo et al. 1998) ja lehmien tyhjäkauden pituuteen vaikuttava alue kromosomissa 20. Mielenkiintoisia ovat myös maitotuotokseen vaikuttava alue kromosomissa 20 ja maidon valkuaispitoisuuteen vaikuttava alue kromosomissa 23. Kromosomi 6:n QTL-kartoitus paljasti, että 6:ssa on todennäköisesti kaseiinialueen (Velmala et al. 1995) lisäksi myös toinen maidontuotantoon vaikuttava alue (Velmala et al. 1998). Tämän alueen eri muotojen (alleelien) vaikutuksesta maidon valkuaispitoisuus yhden isäsonnin (esim. Rantalan Jokeri) poikien

tyttärissä vaihtelee keskimäärin 0,14 %-yksikköä sen mukaan kumman alleelin poika on isältään perinyt.

Kromosomi 6:n ja 20:n löydökset maidontuotannon osalta vastaavat aiemmin holstein-früsiläisrodusta tehtyjä havaintoja (Georges et al. 1995). Näiden alueiden löytyminen ayrshire-karjasta mahdollistaa alueiden hienokartoituksen nk. "identity-by-descent" -menetelmällä (Georges & Andersson 1996), jolla toivotaan päästävän itse geenin jäljille. MTT:n ryhmä osallistuu 1998–2000 naudan IBD-kartoitusta käsittelevään tutkimukseen, joka toteutetaan kuuden laboratorion yhteistyönä EU:n biotekniikkarahoituksella (EURIBDIS-projekti).

Markkereilla voi tehostaa valintaa

Vaikka varsinaisia geenimuutoksia ei vielä tunneta kovinkaan monta, on joitakin ominaisuuksiin läheisesti kytkeytyneitä markkereita jo alettu käyttää jalostuksessa. Esimerkiksi nupouden aiheuttava perintötekijä on pystytty kartoittamaan naudan kromosomiin 1 hyvin lähekkäin sijaitsevien markkerien väliin (kytkentä murtuu alle 1 %:n todennäköisyydellä). Näitä markkereja käytetään valinnan apuna mm. Ranskassa charolais-rodun muuttamiseen sarvettomaksi (Schmutz et al. 1995).

Suomalainen karjantarkkailu käsittää myös muissa maissa harvemmin rekisteröidyt hedelmällisyys- ja terveysominaisuudet. Lisäksi Suomessa keinosiemennyssonnien arvostelu perustuu runsaaseen tytärojoukkoon, jolloin arviot periyttämiskyvystä saadaan hyvin tarkoiksi. Siksi meillä on etulyöntiasema näihin ominaisuuksiin vaikuttavien geenien kartoituksessa. Jos tällaisia geenejä pystytään paikallistamaan ja löydetään niihin tiiviisti kytkeytyneitä markkereja, voidaan markkereja käyttää valinnan perustana (markkeriavusteinen valinta). Markkeriavusteisen valinnan odotetaan

tuottavan suurimman hyödyn juuri tällaisten matalan periytyvyysasteen ominaisuuksien kohdalla (Lande & Thompson 1990), kun valinta voidaan kohdistaa ominaisuuden perinnölliseen osaan.

On arvioitu, että yhdistettynä alkionsiirto-ohjelmaan (valinta tapahtuu markkerien perusteella jo alkiovaiheessa) markkeriavusteinen valinta olisi ensimmäisessä sukupolvessa jopa n. 40 % tehokkaampaa kuin perinteinen valinta (Meuwissen & Goddard 1996).

Geeninsiirroilla ei kannata parantaa tuottavuutta

Geeninsiirroilla pyritään siirtämään (usein toisesta eliölajista peräisin oleva) tietyn ominaisuuden aiheuttava perintötekijä haluttuun yksilöön. On arvioitu, että itse geeninsiirtoa seuraava siirtogeenin "kylästäminen" haluttuun nautarotuun kestäisi ainakin 15 vuotta. Siksi siirrettävän geenin aiheuttaman ominaisuuden pitäisi olla ainutlaatuinen tai johtaa sellaiseen geneettiseen edistymiseen, joka selvästi ylittäisi valinnalla saatavan edistymisen vastaavana aikana.

Ensimmäiset yritykset vaikuttaa esim. lihantuotantoon siirtämällä ihmisen tai naudan kasvuhormonigeeni sikaan tai lampaaseen epäonnistuivat, koska siirtogeenit eivät toimineet odotetulla tavalla, vaan johtivat hedelmättömyyteen ja muihin terveysongelmiin. Tämä johtui siitä, että kasvuhormoni on vain yksi tekijä useiden kasvuun vaikuttavien geenien joukossa. Koska ko. geenien yhteistoiminnasta ja säätelystä ei tiedetty (eikä tiedetä) tarpeeksi, ei siirtogeenin toimintaa voitu kontrolloida. Vaikka onkin onnistuttu tuottamaan siirtogeenisiä eläimiä, jotka erittävät maitoonsa tiettyä vierasta proteiinia, ei tähän päivään mennessä ole yhtäkään esimerkkiä tuotanto-ominaisuuksiltaan parannellusta siirtogeenisestä kotieläimestä. Koska miltei kaikki taloudellisesti merkittävät ominaisuudet ovat kvantitatiivisia, eikä niihin vai-

kuttavien geenien lukumäärää ja vuorovai-
kutussuhteita tunneta, ei ole odotettavissa,
että näitä ominaisuuksia voitaisiin lähiai-
koina parantaa geeninsiirtojen avulla.

Geenikartoituksen tulokset käytäntöön

Kartoitus on osoittanut, että nykyisissä
nautapopulaatioissa on vielä jäljellä kromo-
somialueita, joissa esiintyy huomattavaa
vaihtelua vaikutuksessa jalostettaviin omi-
naisuuksiin. QTL-alueiden löytyminen
mahdollistaa ko. geenien tarkemman kar-
toituksen ja kytkeytyneiden markkerien
tunnistamisen.

Kun geenikartoituksella löydetään hy-
viä muotoja nautapopulaatioissa olemassa-

olevista geneistä, on mahdollista valita näi-
tä muotoja markkeritietojen perusteella
muuttamatta geenien rakennetta tai moni-
mutkaisia vuorovaikutussuhteita. Koska jo
kartoituksessa on käytetty nykyistä jalos-
tusaineistoa, ovat tiedot geneistä ja niihin
kytkeytyneistä markkereista periaatteessa
heti käytettävissä. Tietoja voitaisiin käyttää
tehostamaan valintaa valitsemalla halutun
geenimerkin omaavat yksilöt jo alkioitten
tai vasikoitten joukosta, ilman vuosikausien
jalostusarvosteluprosessia. Käytännössä
tämä olisi mahdollista muutaman vuoden
kuluttua.

Kirjallisuus

Barendse, W., Vaiman, D., Kemp, S., Sugimoto, Y., Armitage, S., Williams, J., Sun, H., Eggen, A., Agaba, M., Aleyasin, A., Band, M., Bishop, M., Buitkamp, J., Byrne, K., Collins, F., Cooper, L., Coppeters, W., Denis, B., Drinkwater, R., Easterday, K., Ennis, S., Erhardt, G., Ferretti, L., Gao, Q., Georges, M., Gurung, R., Harlizius, B., Hawkins, G., Hetzel, J., Hirano, T., Hulme, D., Joergensen, C., Kessler, M., Kirkpatrick, B., Konfortov, B., Kuhn, C., Lenstra, J., Leveziel, H., Lewin, H., Leyhe, B., Li, L., Martin Burriel, I., McGraw, R., Miller, R., Moody, D., Moore, S., Nakane, S., Nijman, I., Olsaker, I., Pomp, D., Rogers, M., Rando, A., Ron, M., Soller, M., Teale, A., Thieven, U., Urquhart, B., Vage, D., Van de Veghe, A., Varvio, S., Velmala, R., Vilkki, J., Weikard, R., Woodside, C., Womack, J., Zanotti, M. & Zarazoga, P. 1997. A medium-density genetic linkage map of the bovine genome. *Mammalian Genome* 8: 21–28.

Elo, K., Vilkki, J., de Koning, D.-J., Velmala, R. & Mäki-Tanila, A. 1998. Quantitative trait loci for production, health and fertility traits on bovine chromosome 23. (manuscript)

Charlier, C., Denys, B., Belanche, J.I., Coppeters, W., Grobet, L., Mni, M., Womack, J.E., Hanset, R. & Georges, M. 1996. Microsatellite mapping of the bovine roan locus: a major determinant of white Heifer disease. *Mammalian Genome* 7: 138–142.

Georges, M., Drinkwater, T., King, T., Mishra, A., Moore, S.S., Nielsen, D., Sargeant, L.S., Sorensen, A., Steele, M.R., Zhao, X., Womack, J.E. & Hetzel, J. 1993. Microsatellite mapping of a gene affecting horn development in *Bos taurus*. *Nature Genetics* 4: 206–210.

–, Nielsen, D., Mackinnon, M., Mishra, A., Okimoto, R., Pasquino, A.T., Sargeant, L.S., Sorensen, A., Steele, M.R., Zhao, X., Womack, J.E. & Hoeschele, I. 1995. Mapping quantitative trait loci controlling milk production in dairy cattle by exploiting progeny testing. *Genetics* 139: 907–920.

– & Andersson, L. 1996. Livestock genomics comes of age. *Genome Research* 6: 907–921.

Grobet, L., Royo Martin, L.J., Poncelet, D., Pirottin, D., Brouwers, B., Riquet, J., Schoeberlein, A., Dunner, S., Ménéssier, F.,

- Massabanda, J., Fries, R., Hanset, R. & Georges, M.** 1997. A deletion in the bovine myostatin gene causes the double-muscled phenotype in cattle. *Nature Genetics* 17: 71–74.
- Kappes, S.M., Keele, J.W., Stone, R.T., McGraw, R.A., Sonstegard, T.S., Smith, T.P.L., Lopez-Corrales, N.L. & Beattie, C.W.** 1997. A second-generation linkage map of the bovine genome. *Genome Research* 7: 235–249.
- Lande, R. & Thompson, R.** 1990. Efficiency of marker-assisted selection in the improvement of quantitative traits. *Genetics* 124: 743–756.
- Meuwissen, T.H.E. & Goddard, M.E.** 1996. The use of marker haplotypes in animal breeding schemes. *Genetics, Selection, Evolution* 28: 161–176.
- Schmutz, S.M., Marquess, F.L.S., Berryere, T.G. & Moker, J.S.** 1995. DNA marker assisted selection of the polled condition in Charolais cattle. *Mammalian Genome* 6: 710–713.
- Solinas-Toldo, S., Lengauer, C. & Fries, R.** 1995. Comparative genome map of human and cattle. *Genomics* 27: 489–496.
- Taylor, J.F., Eggen, A., Aleyasin, A., Armitage, S.M., Barendse, W., Beever, J.E., Brenneman, R.A., Burns, B.M., Davis, S.K., Elo, K., Harlizius, B., Kappes, S.M., Keele, J.W., Kemp, S.J., Kirkpatrick, B.W., Lewin, H.A., Ma, R.Z., McGraw, R.A., Pomp, D., Stone, R.T., Sugimoto, Y., Teale, A.J., Vaiman, D., Vilkki, J., Williams, J.L., Yeh, C.-C. & Zanotti, M.C.** 1998. Report of the first workshop on the genetic map of bovine chromosome 1. *Animal Genetics* (in press)
- Velmala, R., Vilkki, J., Elo, K. & Mäki-Tanila, A.** 1995. Casein haplotypes and their association with milk production traits in the Finnish Ayrshire cattle. *Animal Genetics* 26: 419–425.
- , Vilkki, H.J., Elo, K.T., de Koning, D.-J. & Mäki-Tanila, A.** 1998. Quantitative trait loci for milk production traits on chromosome 6 in Finnish ayrshire cattle. (manuscript)
- Vilkki, H.J., de Koning, D.-J., Elo, K., Velmala, R. & Mäki-Tanila A.** 1997. Multiple marker mapping of quantitative trait loci of Finnish dairy cattle by regression. *Journal of Dairy Science* 80:198–204.

Ydinkarjasta ytyä eläinmarkkinoille

Hannu Myllymäki

Oy Alkiokeskus – Embryocenter Ab, PL 40, 01301 Vantaa

Jokioisten ASMO-ydinkarja on ensimmäinen punaisten rotujen alkionsiirtoydinkarja maailmassa. Maailman valtarodun holstein-friisiläisen puolella vastaavia on useita monissa läntisissä maitotalousmaissa. Keinosiemennys ja sen myötä kehittynyt sonnien jälkeläisarvostelu on vienyt eläinjalostusta pitkin askelin eteenpäin. Alkionsiirron ja alkionsiirtoydinkarjojen avulla pyritään edelleen tehostamaan keinosiemennyssonien emävalintaa ja lyhentämään sukupolvien välistä aikaa, jolloin valitut jalostustavoitteet toteutuvat entistä nopeammin.

Ydinkarja on perustettu Jokioisille syksyllä 1997, jolloin ensimmäiset eläimet ostettiin. Alkiokeskus Oy hankkii eläinaineksen alkioina ja odotusarvoltaan korkealuokkaisina hiehoina. Eläinhankinnassa ovat mukana sekä Suomen että Ruotsin karjantarkkailutilat. Muiden ayrshire-populaatioiden eläinainekset tuodaan alkioina tai spermana.

Maatalouden tutkimuskeskuksen (MTT) kotieläintuotannon tutkimus vastaa eläinten tuotantoon, terveyteen ja arvosteluun liittyvästä testauksesta ja tutkimuksesta, johon sisältyy moderniin alkionsiirto-

tekniikkaan liittyvää tutkimusta ja soveltamista. Uudessa tekniikassa käytetään hyväksi munasolujen keräämistä suoraan lehmiä munasarjoista (OPU), niiden koeputkihedelmoitystä ja alkioiden laboratorioskasvatusta ennen siirtoa vastaanottajaeläimiin. Kaupallisen alkioituotannon ja markkinoinnin kehittäminen kuuluu hankkeessa Alkiokeskuksen ja sen omistajien rooliin.

Eläinaineksen tuottaminen alkionsiirron avulla lisää parhaan eläinaineksen määrää ja tarjontaa. Pohjoismainen yhteistyö kansainvälisillä eläinmarkkinoilla vahvistaa alueen painoarvoa. Muiden pohjoismaiden lisäksi Uusi-Seelanti, Australia, Iso-Britannia ja Pohjois-Amerikka ovat alueita, joissa on ayrshire-populaatiot. Alueet ovat merkittäviä sekä ydinkarjan eläinainehankinnan että alkioiden markkinoinnin kannalta. ASMO-ydinkarjan eläinhanke suunnitelmien mukaan ensimmäinen täysimittakaavainen (70 ensikkoo) ensikoiden testaus on vuonna 2000. Tätä ennen testiryhmissä on 30–60 eläintä vuodessa.

Avainsanat: alkio, Alkiokeskus Oy, alkionsiirto, alkionsiirtoydinkarja, ASMO-ydinkarja, eläinjalostus, keinosiemennys, koeputkihedelmoitus, MTT, OPU

Nucleus herd brings progress to animal markets

Abstract

The ASMO nucleus herd in Jokioinen is the only embryo transfer nucleus herd in the world to have been established for breeding red breeds, although many similar schemes exist in Western dairy farming countries for the foremost breed, Holstein Friesian. The rapid advances made in animal breeding are due to artificial insemination and progeny testing of bulls. The Embryo transfer nucleus herd represents another attempt at more efficient selection of dams for AI bulls. It also enables the generation gap to be shortened, which means that breeding goals are reached faster.

The nucleus herd was established in Jokioinen in 1997, when the first animals were purchased. The EmbryoCenter buys the animal material as embryos and as heifers with high expected breeding values. Animals can be bought from all Finnish and Swedish herds covered by the milk recording scheme. Genetic material from other populations is imported as embryos or as semen.

The unit of the Agricultural Research Centre of Finland (MTT), the Animal Production Research, is responsible for testing and studying issues pertinent to animal pro-

duction, health and evaluation, including application of modern embryo transfer techniques. The latest technique is Ovum Pick Up, (OPU), in which oocytes are collected straight from the cow's ovaries and fertilised *in vitro*, embryos are then cultured *in vitro* before being transferred into recipients. The EmbryoCenter together with its owners is responsible for the development of commercial embryo production and marketing of embryos.

The production of animal material by embryo transfer will increase the amount and supply of the best genetics. Cooperation between the Nordic countries on the international animal markets will provide better opportunities for everyone. Other countries with rather large Ayrshire populations are New Zealand, Australia, Great Britain and United States. All these areas are important for both the acquisition of animal material and the export of embryos. The first full-scale testing of heifers after first calving (altogether 70) according to the purchasing plan for the ASMO nucleus herd will be completed in 2000. Before then there will be between 30 and 60 animals in the test groups annually.

Key words: ASMO, ASMO nucleus herd, Ayrshire, embryo, EmbryoCenter, embryo transfer, IVP embryos, MTT, nucleus herd, OPU

Johdanto

Jokioisten ASMO-ydinkarja on ensimmäinen punaisten rotujen alkionsiirtoydinkarja maailmassa. Maailman valtarodun holstein-friisiläisen puolella vastaavia on useita monissa läntisissä maitotalousmaissa. Keinosiemennys ja sen myötä kehittynyt sonnien jälkeläisarvostelu on vienyt eläinjalostusta pitkin askelin eteenpäin. Alkionsiirron ja alkionsiirtoydinkarjojen avulla pyritään edelleen tehostamaan keinosiemennyssonnien emävalintaa ja lyhentämään sukupolvien välistä aikaa, jolloin valitut jalostustavoitteet toteutuvat entistä nopeammin. Kansainvälisesti korkealle arvosteltu keinosiemennyssonni tuottaa omistajalleen miljoonia, minkä vuoksi kilpailu huippueläimen löytämisestä vain tehostaa käytettäviä valintakeinoja.

Maidontuotannon ja eläinaineksen kansallisen kilpailukyvyn vuoksi on jatkuvasti seurattava alan kansainvälisiä virtauksia ja sovellettava omaan populaatioon parhaiten sopivia menetelmiä. Suomalainen eläinjalostus on onnistunut tavoitteessaan tähän asti hyvin, sillä valtarotumme ayrshiren keinosiemennyssonnit komeilevat Interbull-listan valkuaisuutoksen kärjessä. Holstein-friisiläisrodussa joudumme kuitenkin tälläkin hetkellä tuomaan isäsonniainesta, mikä osaltaan osoittaa alkionsiirto- ja ydinkarjajalostuksen merkityksen eläinaineksen kehittämisessä.

ASMO- alkionsiirtoydinkarja

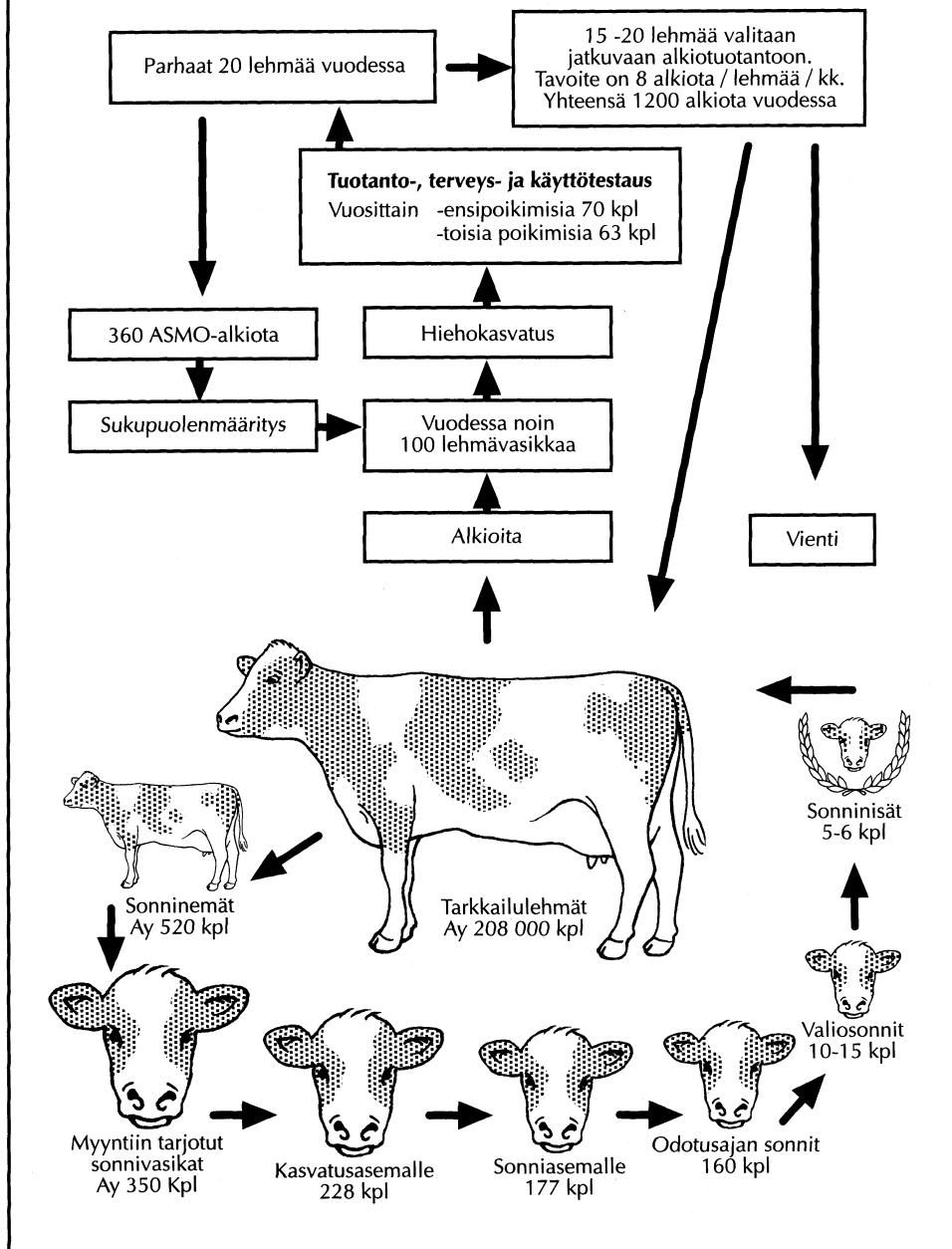
Ydinkarja on perustettu Jokioisille syksyllä 1997, jolloin ensimmäiset eläimet ostettiin. Ydinkarjahanke on oiva esimerkki tutkimuksen ja jalostusyriyten yhteistyöstä, jossa tutkimus luo pohjan liiketoiminnan kehittämiseksi ja yritykset luovat edellytykset tutkimukselle. Yhteisenä tavoitteena on käyttää mahdollisimman tehokkaasti ja tu-

lokseksaasti hankkeeseen suunnatut resurssit hyväksi.

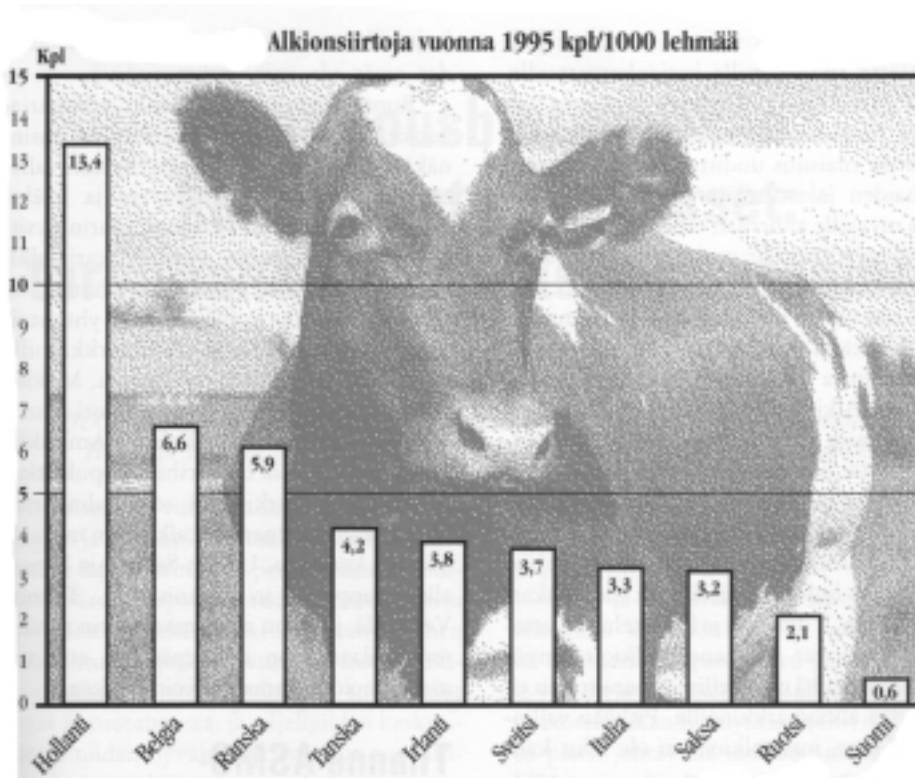
Ydinkarja on sijoitettu Maatalouden tutkimuskeskuksen (MTT) Rehtijärven ja Nummelan navetoihin, joihin Alkiokeskus Oy hankkii eläinaineksen sekä alkioina että odotusarvoltaan korkealuokkaisina hiehoina. Alkiokeskus toimii eläinhankinnassa yhteistyössä yrityksen omistajien kanssa. Omistajia ovat kaikki suomalaiset keinosiemennysosuskunnat, kotieläinjalostusosuskunnat ja meijeriyrietykset sekä ruotsalainen keinosiemennysyriety Svensk Avel. Eläinaineksen hankinnassa käytetään hyväksi Suomen Kotieläintenjalostusosuskunnan (SKJO) ja Osuuskunta Kotieläinjalostuskeskus FABA:n osaamista ja asiantuntemusta. Svensk Avel on tuonut ydinkarjan eläinhankinnan piiriin myös ruotsalaisen SRB-populaation.

MTT:n kotieläintuotannon tutkimus vastaa eläinten tuotantoon, terveyteen ja arvosteluun liittyvästä testauksesta ja tutkimuksesta, johon sisältyy moderniin alkionsiirtotekniikkaan liittyvä tutkimus ja soveltaminen. Uudessa tekniikassa käytetään hyväksi munasolujen keräämistä suoraan lehmien munasarjoista (OPU), niiden koeputkihedelmöitystä ja alkioiden laboratorioskasvatusta ennen siirtoa vastaanottajaeläimiin. Tämän lääketieteessä ja ihmisten lisääntymishoidoissa nopeasti levinneen menetelmän käyttö mahdollistaa lehmien alkioituotannon moninkertaistamisen aiemmin käytettyihin menetelmiin verrattuna. Näin ydinkarjassa parhaiksi todettuja eläimiä voidaan käyttää alkioituotantoon ja tuottaa niillä sellaisia määriä alkioita, että ne riittävät ydinkarjan uudistamiseen ja kaupallisille alkiomarkkinoille. Kuvassa 1 on esitetty ydinkarjan eläinvalinta ja alkioituotanto siinä vaiheessa, kun ASMO-ydinkarja on valmis. Eläinvalinnan tehostumisen avulla jalostuksellinen edistyminen nopeutuu ja se levitetään koko lypsykarjapopulaatioon myytävien alkioiden ja niistä syntyvien keinosiemennyssonnien avulla. Kaupallisen alkioituotannon ja markkinoinnin kehittäminen kuuluu hankkeessa Alkiokeskuksen ja sen omistajien rooliin.

ASMO-alkionsiirtoydyntarja



Kuva 1. Vuosittaiset valintaportaat ASMO-ohjelmassa sekä valtakunnallisessa keinosiemennys-ohjelmassa. (Koetoiminta ja käytäntö 1/98:4, piirros: Jukka Toivonen)



Kuva 2. Alkionsiirtoja vuonna 1995 kpl/1000 lehmää. (Koetoiminta ja käytäntö 1/98:5, piirros: Liisa Kallio)

Alkionsiirto lisää parasta eläinainesta

Suomen eläinmarkkinoilla on tällä hetkellä hyvin vähän tarjolla jalostusarvoltaan hyviä eläimiä. Tiloilla vallitsee tilanne, jossa jalostusvalintaa on vaikea tehdä, koska lähes kaikki eläimet joudutaan jättämään tuotantoeläimiksi. Tilanne tulee jatkossa entisestään korostumaan, kun eläinmäärät tiloilla kasvavat eikä luopujilta tule enää entisiä määriä eläimiä markkinoille. Kilpailun kiristyminen tulee korostamaan hyvän eläinaineksen merkitystä. Eläinaineksen tuottaminen alkionsiirron avulla lisää aina parhaan eläinaineksen määrää ja tarjontaa. Maakohtainen vertailu alkionsiirroista vuodelta 1995 heijastelee hyvin Suomen eläinmarkkinatilannetta (kuva 2).

ASMO-ydinkarjan merkitys kotimaisilla eläinmarkkinoilla

Ydinkarjan perustaminen jo sinällään on antanut uutta potkua kotimaisille eläinmarkkinoille. Ydinkarjan eläinaineksen hankinta vaikuttaa sekä hiehojen että alkioiden markkinoilla.

Hiehot ostetaan karjantarkkailutiloilta tarjousten perusteella. Eläimestä maksetaan karjanomistajan ja Alkiokeskuksen keskenään sopima hinta, joka on sitä korkeampi mitä parempi eläimen odotusarvo on. Eläinkauppa neuvotellaan paikallisen jalostusneuvojan välityksellä. Tarjotuista eläimistä joka kolmas on tähän mennessä hyväksytty. Nyt, kun eläinhankinnat ovat laajentuneet kattamaan myös Ruotsin punai-

sen rodun parhaat eläimet, se antaa lisähaastetta suomalaisille karjankasvattajille. Mitä paremmasta eläimestä tilat ovat valmiita luopumaan, sen nopeammin heille avautuu tilaisuus uudistaa omaa karjaansa parhaiden jalostuseläinten alkioilla. Eläimen myyjälle annetaan etuosto-oikeus eläimestä tai ydinkarjan muista eläimistä saataviin alkioihin (rajoitettu määrä), kun eläimen testaus on ydinkarjassa suoritettu.

Ydinkarja ostaa osan eläinaineksesta alkioina, jotka siirretään ydinkarjan vastaanottajiin. Alkiot tuotetaan tiloilla ja niiden hankinnassa käytetään ns. huuhtelu-oikeus-sopimusta. Sopimus on saanut karjanomistajien keskuudessa niin hyvän suosion, että sen käyttö on laajennettu koskemaan kaikkia keinosiemenysemätason lehmiä ja hiehoja myös holstein-friisiläis- ja suomenkarja-roduissa. Ydinkarja ja huuhtelu-oikeus-sopimukset ovat tuottaneet alkioita myös myyntiin, mikä on oleellisesti parantanut tilannetta alkio-markkinoilla. Pitkään vallinnut tilanne, jossa alkioita ei ole ollut kaupan, ollaan sivuuttamassa.

Kun lähitulevaisuuden tavoitteena on lisätä ydinkarjan avulla alkioiden saatavuutta alkio-markkinoilla, karjatilat voivat jo karjan jalostussuunnitelman teon yhteydessä valita heikoimmat eläimet alkiovastaanottajiksi. Kun alkio päästään siirtämään luonnolliseen kiimaan, säästetään alkionsiirron kustannuksia. Tätä varten on käynnistymässä alkionsiirtoon erikoistuneiden seminaarien koulutus.

Odotukset kansainvälisesti

Maailman ensimmäinen punaisten rotujen ydinkarja on herättänyt runsaasti kansainvälistä kiinnostusta. Maailman ayrshire-yhdistys on asettanut tavoitteekseen kansainvälisen eläinaineksen vaihdon lisäämisen. Se tehdään sperman ja alkioiden kauppana, jolloin välttytään elävien eläinten mukana leviäviltä eläintaukeilta. Kansainvälisen kilpailukyyn merkitys korostuu maailman-

laajuisilla markkinoilla, joilla vertailukohdat eivät ole vain rodun sisäisiä.

Ruotsalaisten mukaantulo ydinkarjahankkeeseen on erittäin merkittävä; ensinnäkin ydinkarjan eläinkanta voidaan valita entistä tiukemmin kriteerein ja lisäksi Ruotsi on alkioiden viennissä suurin yksittäinen markkina-alue, jossa ydinkarja-alkioiden myynnistä vastaa yksi hankkeen omistajatahoista. Pohjoismainen yhteistointi kansainvälisillä eläinmarkkinoilla vahvistaa myös alueen painoarvoa. Muiden pohjoismaiden lisäksi Uusi-Seelanti, Australia, Iso-Britannia ja Pohjois-Amerikka ovat alueita, joissa on ayrshire-populaatiot. Alueet ovat merkittäviä sekä ydinkarjan eläinaineshankinnan että alkioiden markkinoinnin kannalta. Uuden-Seelannin kanssa alkio-kauppa on jo käynnistynyt. Tilanne Venäjällä, jossa on maailman suurin ayrshire-populaatio, on niin epäselvä, että sen markkinoiden varaan ei voida laskea.

Tilanne ASMO-ydinkarjassa

Kuluvan vuoden kesäkuun alkuun mennessä ydinkarjaan on ostettu 52 hiehoa, joista 7 on poikunut ja 9 on tuotu Ruotsista. Ydinkarjan alkioitiineyksiä on tämän lisäksi yli 40. Ydinkarjan alkio-tuotanto perustuu kuluvan vuoden ajan perinteiseen hormonikäsittelyyn ja huuhteluun. Tämän menetelmän avulla ydinkarjassa on tuotettu yli 220 siirtokelpoista alkioita. Niistä noin puolet on pakastettu käytettäväksi ydinkarjan ulkopuolella. Samalla on tutkittu eri hormonien vaikutusta huuhtelutuloksiin ja kehitetty alkioiden pakastusmenetelmää niin, että alkio voidaan pakastaa suoraan siirto-olkeeseen. Munasolujen kerääminen suoraan munasarjoista on käynnistynyt ja on etenemässä harjoittelusta kohti rutiinityöskentelyä. ASMO-ydinkarjan eläinhankintasuunnitelman mukaan ensimmäinen täysimittakaavainen (70 ensikkoo) ensikoiden testaus on vuonna 2000. Tätä ennen testiryhmissä on 30–60 eläintä vuodessa.

Maatalousbiotekniikan kaupalliset sovellukset: tarvitaanko kansallista strategiaa?

Ingeborg Menzler-Hokkanen

OECD Directorate for Agriculture, 2 rue André-Pascal, F-75775 Pariisi, Ranska sekä Helsingin yliopisto, Soveltavan eläintieteen laitos, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto

Viimeisten 20 vuoden aikana molekyylibiologian ja biotekniikan tutkimuksen saavuttamat läpimurrot ovat perusteellisesti mullistamassa maapallon ravinnontuotannon ja ylipäättänsä kaiken alkutuotannon ja siihen pohjautuvan jatkojalostuksen kuvaa. Ensimmäiset laajan mittakaavan sovellukset ovat jo tuotannossa, ja viljelijöiden keskuudessa niiden hyväksyntä on ollut nopeampaa kuin minkään muun uuden innovaation tähän saakka: rajoittavana tekijänä uusien lajikkeiden käyttöönotolle on ollut ainoastaan siementen saatavuus. Kuluttajien keskuudessa varsinkin Euroopassa vastaanotto on ollut vähemmän innostunutta, mikä on johtanut vaikeisiin kauppapoliittisiin kiistoihin etenkin teknologiayönteisen USA:n ja varovaisemman Euroopan Unionin välillä.

Ei ole epäilystäkään, etteikö uusi teknologia tule radikaalisti muuttamaan maatalouden perustuotteiden viljelyyn, kaupan ja perinteisen kansainvälisen työnjaon rakenteita. Tämän kehityksen lisäksi maailmankaupan jatkuva vapautuminen asettaa Suomen entistäkin vaikeampaan asemaan: millaisella selviytymisstrategialla maataloutta Suomessa voidaan ylipäättänsä ylläpitää? Tutkimukselta olisi voitava odottaa sellaisia tuloksia, jotka selkeästi ohjaisivat maamme maa- ja metsätalouden kehitystä kestävästi

avoimemman kansainvälisen kilpailun sekä kiristyvät vaatimukset tuotannon laadusta ja ympäristöystävällisyydestä.

Maa- ja metsätalouteen sovelletun biotekniikan kehittämiseen ja tutkimukseen on Suomessakin panostettu yhä enenevästi jo yli 10 vuoden ajan. Kansallisia strategioita biotekniikan hyödyntämiseksi on laadittu paitsi johtavissa teollisuusmaissa kuten USA:ssa myös ripeästi kehittyvissä maissa, mm. Egyptissä. Suomessa alan tutkimukselle ei vielä ole tällaista strategiaa laadittu, minkä seurauksena tieteellisesti korkeatasoinenkin tutkimus on varsin pirstaleista, eikä se tunnu määrätietoisesti pyrkivän ratkaisemaan maa- ja metsätaloutemme keskeisiä ongelmia. Lisäksi valtaosa maa- ja metsätalouteen sovellettavasta biotekniikan tutkimuksestamme näyttäisi kohdentuvan ensisijaisesti teollisuutta palveleviin erityiskohteisiin ilman, että niillä voisi olla sanottavaa merkitystä maaseudun elinvoimaisuuden tai viljelymahdollisuuksien ylläpitämisen kannalta. Ehdotankin, että Suomessa laadittaisiin nopeasti suunnitelma siitä, millä tavalla uuden teknologian tuomat mahdollisuudet parhaiten voisivat maa- ja metsätalouttamme auttaa, ja että merkittävä osa tutkimuksen voimavaroista suunnattaisiin niihin kohteisiin.

Avainsanat: biotekniikka, katsaus, kaupallistaminen, maatalous, maatalouspolitiikka, metsätalous, strategia, tuotekehittely, tutkimus, tutkimuspolitiikka

Commercial applications of agricultural biotechnology: is a national strategy necessary?

Abstract

Breakthroughs made during the past 20 years in research on molecular biology and biotechnology are revolutionising global patterns of food production and of all primary production and the industries based on it. The first large-scale applications are already in use, and the acceptance rate of the technology by farmers has been faster than for any other innovation so far; the only constraint has been the availability of seed. The reception by consumers has been less enthusiastic, in Europe in particular, and has led to difficult trade disputes between the liberal USA and the more cautious European Union.

There is no doubt that the new technology will radically alter the basic structures of agricultural production and trade and the traditional international division of labour. Moreover the continuing liberalisation of world trade is putting Finland into a more difficult position than ever before. What is needed is a strategy to keep domestic agricultural production in general viable. Research should be expected to provide results which would clearly guide agriculture and forestry to respond to the more open international competition as well as stricter de-

mands for quality and environmentally sound production.

Finland has put increasing effort into research on agricultural and forest biotechnology for more than 10 years. National strategies to exploit the prospects provided by biotechnology developments have been formulated not only by developed countries such as the USA, but also by rapidly developing countries such as Egypt. Finland, however, has no such strategy, and this has resulted in fragmented research – albeit of very high scientific quality - which does not appear to be seeking to solve the key problems facing agriculture or forestry. Moreover, most of the research effort seems to be focusing on applications useful for specialised industries rather than on solutions which could significantly help to keep the countryside alive and provide new opportunities for agricultural or forest production. I propose that Finland should without delay make a plan to establish how the new biotechnology could best support the production possibilities which we have to offer, and that a major share of research funding should be directed to these topics in a concerted manner.

Key words: agriculture, agricultural policy, biotechnology, commercialisation, forestry, product development, research, research policy, strategy

Tutkimuksesta käytäntöön

Molekyylibiologian ja biotekniikan tutkimus, siihen perustuvan tietotaidon kehittäminen, sekä lopulta uuden teknologian hyödyntäminen ravinnon tuottamisessa, teollisuudessa, samoin kuin ihmisten ja ympäristön terveyden ja hyvinvoinnin edistämiseksi on koettu tärkeäksi kautta koko maapallon. Suomessakin biotekniikka on katsottu yhdeksi tärkeimmistä kehittämisaloista ja sille on suunnattu yhä kasvavia resursseja viimeisten 10 vuoden aikana. Useiden eri ministeriöiden kautta tutkimukseen on kanavoitu 7 vuoden aikana yli 300 Mmk biotekniikan erityisrahoitusta, minkä lisäksi muuta rahoitusta sekä yliopistojen ja tutkimuslaitosten perusresursseja on suunnattu biotekniikkaan yhä enenevästi (Suomen Akatemia 1997a). Myös maatalouteen sovellettavan biotekniikan tutkimusrahoitusta on kasvatettu Suomessa voimakkaasti. Vuosina 1988–1992 maa- ja metsätalousministeriö suuntasi biotekniikkatutkimuksiin erillisrahoitusta 23 Mmk (MMM 1992) ja vuonna 1995 maatalousbiotekniikan perus- ja soveltavaan tutkimukseen käytettiin pelkästään Maatalouden tutkimuskeskuksessa erillisrahoitusta jo lähes 50 Mmk sekä muissa tutkimuslaitoksissa ja korkeakouluissa yhteensä hieman tätäkin enemmän (Suomen Akatemia 1997a).

Maatalousbiotekniikan hyödyntäminen on kuitenkin ollut melko sattumanvaraista, eikä tutkimukselle ole asetettu kansallisella tasolla erityisiä strategisia tai käytännön tavoitteita. Tämän tarkastelun lähtökohtana on ajatus, että biotekniikan tutkimuspanostus Suomessa kannattaisi ehkä suunnata kohteisiin, joilta on odotettavissa suurin käytännön merkitys Suomen maataloustuotannon ja elintarviketeollisuuden kilpailukyvyille sekä maataloustuotannon ja maaseudun elinvoimaisuudelle. Samalla tulee ottaa huomioon tuotannon ekologiset, ympäristönsuojelliset, kansainvälisen kau-

pan ja työnjaon, samoin kuin elinkeinopoliittiset reunaehdot.

Maatalousbiotekniikan kaupalliset sovellukset

Ensimmäiset merkittävät uuden maatalousbiotekniikan sovellukset otettiin kaupalliseen käyttöön USA:ssa: jo vuonna 1992 hyväksyttiin geeniteknikalla muokattu tomaatti ja sen jälkeen nopeassa tahdissa mm. meloni, puuvilla, soijapapu, rapsi (kaikki 1994), peruna ja maissi (1995) (OECD 1998). Lisäksi maatalouskäytössä on geeniteknikalla tuotettu hormoni, joka lisää maidontuotantoa noin 10–15 %. Samaan aikaan Kiinassa otettiin laajamittaiseen viljelyyn siirtogeeninen tupakka ja tomaatti. Varsinaiseen kaupalliseen tuotantoon siirtogeenikasvit tulivat vuonna 1996, jolloin USA:ssa, Kanadassa ja Australiassa niitä viljeltiin noin 4 miljoonan hehtaarin alalla; viljelyala kuusinkertaistui vuoteen 1997 ja viljely aloitettiin myös mm. Meksikossa ja Argentiinassa (James 1997). Euroopan Unionin maissa ensimmäiset geenimuokautetut viljelykasvit on otettu kaupalliseen viljelyyn vuonna 1998 (maissi Ranskassa, 2000 ha).

Vaikka maatalousbioteknologian taloudellinen merkitys vielä nykyisin on pieni myös USA:ssa – vain 8 % kaikista biotekniikkainvestoinneista ja vain muutaman sadan miljoonan dollarin myynti – sen odotetaan tarjoavan paljon suuremman myynnin kasvun kuin terveyssektorilla (EYI 1997). Monsanto-yhtiön pääjohtaja uskoo myynnin yltävän 2 miljardiin dollariin vuonna 2000 ja jopa 6 miljardiin dollariin vuonna 2005. Eräät muut odottavat hillitympää kasvua, 20 % vuodessa, saavuttaen noin 2 miljardia dollaria vuonna 2006. Koska maatalous edustaa 15 % USA:n BKT:stä ja vastaa yli 40 miljardia dollaria vientituloista, biotekniikan odotetaan suuresti vaikuttavan sektorin myönteiseen kehitykseen (EYI 1997, ICAF 1997).

Taulukko 1. Maa- ja metsätalouteen sovelletun biotekniikan tutkimushankkeiden pääsuuntautuneisuus sekä henkilötyöresurssien jakauma*) Suomessa vuonna 1995.

Suuntaus	Tavoite/ Kohderyhmä			Yhteensä
	Yleinen käyttö/ Viljelijät	Eryityskäyttö/ Teollisuus	Perustutkimus/ Tutkimus	
Eläintuotanto	1,7	8,2	2,7	12,6
Kasvintuotanto	29,9	7,3	6,0	43,2
Metsätalous	8,4	24,3	–	32,7
Elintarvikkeet	–	11,6	–	11,6
Yhteensä	40,0	51,3	8,6	100

*) prosentteina kokonaishenkilötyövuosista (=260),
Lähde: perustiedot Suomen Akatemia 1997a.

Maatalousbiotekniikkayritysten määrä on alkuvaiheen ekspansioon jälkeen USA:ssa supistunut rajusti, keskittyen muutamiin suuriin, pääasiassa maatalouskemikaaliyrityksiin. Esimerkiksi maissin siemenkaupasta yli 60 % on 4 yrityksen hallussa (EYI 1997). Nekin ovat liittoutuneet tai suoraan ostaneet pienempiä kilpailijoitaan varmistakseen, ettei uutta kilpailua synny. Kaupallisena toimintona maatalousbiotekniikan katsotaan olevan USA:ssa juuri tulemassa voitolliseksi ja väestönkasvun jatkuessa sille odotetaan ruusuista tulevaisuutta.

Suomessa biotekniikan merkittävät uudet maataloussovellukset antavat vielä odottaa itseään. Kemia-Kemi -lehti julkaisee vuosittain katsauksen sekä uutisia biotekniikan tutkimuksen ja tuotekehityksen tilasta maassamme. ”Perinteisten”, jo vuosia käytössä olleiden sovellusten (entsyymiteollisuus, lääketeollisuus, solukkoviljelyt, mikrolisäys yms.) lisäksi ei vielä ole tullut kaupallisia, bioteknologiaan tai geenitekologiaan perustuvia läpimurtoja. Poikkeuksen muodostaa eläinjalostuksessa ja huipulaadukkaiden kotieläinten tuotannossa äskettäin kaupalliseenkin käyttöön otettu alkionsiirtotekniikka (Mäki-Tanila & Mäntysaari 1996, Nurro 1998).

Tutkimus ja tuotekehittely Suomessa

Viime vuosien tutkimuskohteista ja -panostuksesta saa parhaan kuvan opetusministeriön teettämästä laajasta molekyylibiologian ja bioteknologian tutkimuksen tiedearvioinnista, joka julkistettiin tammikuussa 1997 (Suomen Akatemia 1997a). Siinä käydään yksityiskohtaisesti läpi 18 eri tutkimuslaitosta ja niissä työskentelevät noin 180 tutkimusryhmää sekä esitetään arvio työn tasosta. Taulukkoon 1 on koottu kyseisestä raportista maatalousbioteknologiaan liittyen katsaus hankkeiden suuntautumisesta sekä vuonna 1995 käytössä olleista resursseista.

Kaikkiaan vuonna 1995 maa- ja metsätalousbiotekniikan tutkimuksiin käytettiin arviolta noin 260 henkilötyövuotta. Panostus on jaettu karkeasti tutkimushankkeiden pääsuuntautuneisuuden mukaan (eläintuotanto, kasvintuotanto, metsätalous ja elintarvikkeet), sekä sen mukaan, johtavatko nähtävissä olevat sovellukset ”yleishyödylliseen” käyttöön (esim. kasvilajikkeeseen, jota viljelijät laajalti voivat kasvattaa), eri-

kois- tai teolliseen käyttöön (kuten lääkkeiden tai erikoiskemikaalien tuotto siirtogeenisissä eläimissä tai kasveissa), vai onko kyseessä soveltavaa tutkimusta palveleva perustutkimus.

Vähän yli puolet kaikesta alan tutkimuksesta näyttäisi tähtäävän sellaisiin sovelluksiin, jotka onnistuessaan olisivat sinänsä tärkeitä ja mahdollisesti johtaisivat joihinkin merkittäviin kaupallisiin tuotteisiin, mutta joilla ei juurikaan voi olla merkitystä maaseudun työllistäjinä enempää kuin maa- tai metsätalouden tuotantomuotoina. Tutkimuspanostus on kohdistunut tällä sektorilla etenkin siirtogeenisiin eläimiin, metsäteollisuuden bioteknisphajaisiin prosesseihin, ohran biosynteesiin sekä maitobakteerien ja hiivan biotekniikkaan.

Laajalti hyödynnettävissä oleva bio- ja geeniteknikan tutkimus vaikuttaa yllättävän vähäiseltä etenkin Suomelle tärkeissä metsätaloudessa ja kotieläintuotannossa; vain muutama prosentti kokonaispanostuksesta kummassakin. Kasvintuotantoon sen sijaan on suunnattu varsin paljon resursseja, noin 30 % kokonaistyömäärästä. Tutkimus sillä sektorilla on kuitenkin erittäin hajanaista jakautuen kymmeniin pieniin osiin koko maassa. Kasvinjalostuksen ja -suojelun tutkimus ovat suurimmat osat alueet. Näidenkään tutkimusten suuntautuneisuudessa ei näyttäisi olevan mitään erityistä strategiaa: esimerkiksi valtaosa kasvinsuojeluun liittyvistä tutkimuksista kohdistuu virustauteihin, jotka yleisesti ottaen ovat meillä vähämerkityksellisiä mm. sienitauteihin verrattuna. Kasvintuotannon tutkimuksia vaikuttaisi muutenkin ohjaavan lähinnä se, mikä on ”muotia” tiedepiireissä eikä niinkään se, mille olisi tarvetta ja ensisijaisia sovellusmahdollisuuksia Suomessa (vrt. Menzler-Hokkanen & Hokkanen 1997).

Taulukon 1 jaottelussa perustutkimuksen osuus on tulkintasyistä varmasti liian pieni; osalla muissa kategorioissa nyt sijaitsevista hankkeista on todennäköisesti merkittävästi perustutkimuksen luonnetta. Taulukko havainnollistaneekin kuitenkin sitä,

mihin maassamme on viime vuosina biotekniikan tutkimusvaroja pääasiassa ohjattu.

Uusimmat tutkimushankkeet

Vuoden 1998 alussa on käynnissä kolme aihepiiriin liittyvää laajaa Suomen Akatemian tutkimusohjelmaa, joiden voidaan ajatella kuvastavan uusinta strategista ajattelua biotekniikan soveltamisessa myös maamme maatalouden ja elinkeinoelämän hyväksi: Geenitutkimusohjelma, Biodiversiteettitutkimusohjelma sekä Solubiologian ohjelma.

Geenitutkimusohjelman kuvauksessa selvitetään alan tilannetta ja näkymiä Suomessa (Suomen Akatemia 1997b). Sen mukaan ”korkeatasoisen geenitutkimuksen tukeminen Suomessa on elinehto maamme tutkijoiden ja alan teollisuuden kansainväliselle kehitykselle ja kilpailukyvyille. Biotekninen tutkimus ja sen vuosikymmenen [1990-luku] loppuun mennessä saavuttamat tulokset tulevat muodostamaan perustan maamme uusteollistamishankkeille.” Edelleen arvioidaan, että ”geenitutkimuksen saavutukset tulevat hyödyntämään tulevaisuudessa perustutkimusta ja sovellettua tutkimusta sekä biotieteissä – lääketiede, eläintiede, kasvitiede ja mikrobiologia – että perinteisessä biotekniikassa. Aloja, joissa tuloksia voidaan käytännössä soveltaa jo lähiaikoina, ovat lääketiede, lääketieteellisyys, maa- ja metsätalous, biotekninen teollisuus sekä elintarvike- ja puunjalostusteollisuus.”

Ohjelman perusteluissa todetaan myös, että ”Maamme geenitutkimusta tulee lisätä mm. puiden ynnä muiden taloudellisesti tärkeiden kasvien ja kotieläinten geenien kartoituksessa, tutkimuksessa ja jalostuksessa. ... Kaupan vapautuminen johtaa kilpailutilanteeseen, johon myös kotimaisiin raaka-aineisiin perustuvan teollisuutemme on kyettävä vastaamaan. Tämä asettaa mm. jalostustyölle uusia tavoitteita. Myös ilmas-

ton muutokset tulevat aiheuttamaan saman”.

Geenitutkimuksen ohjelman saavutuksia ajatellaan voitavan käyttää tulevaisuudessa hyväksi useilla perustutkimuksen ja soveltavan tutkimuksen aloilla, joista esimerkkeinä maa- ja metsätalouden biotekniikasta mainitaan seuraavat: a) siirto- ja poistogeeniset eläimet ja kasvit (esim. eläimet bioreaktoreina, siirtogeeniset kasvit ja puut), b) populaatiogenetiikka (esim. eläinten ja kasvien sopeutuminen pohjoisiin olosuhteisiin), ja c) maatalous- ja metsätieteellinen molekyylibiologia (esim. puiden, muiden kasvien ja kotieläinten geenikartoitus). Ensimmäisten ohjelmaan hyväksytyjen tutkimushankkeiden joukossa ei kuitenkaan ollut selkeästi maatalousbiotekniikkaan kuvatulla tavalla suuntautuneita hankkeita.

Biodiversiteettitutkimusohjelmaan (Suomen Akatemia 1997c) sisältyy yksi maatalousbioteknologiaan liittyvä teema-alue: Geneettisen biodiversiteetin säilyttäminen ja bioteknologia. Tämän ohjelman ensimmäisiin tutkimushankkeisiin sisältyi geenitutkimusohjelmaa enemmän soveltavan biotekniikan kannalta merkittäviä hankkeita, kuten ”Yhteiskunnallisia ja biologisia näkökulmia kasvinjalostukseen ja geneettiseen diversiteettiin”, ”Koivun biodiversiteetti ja sen hyväksikäyttö”, sekä ”Kukkimattomien koivujen kehittäminen yhdistelmä-DNA -tekniikalla”.

Selkeää strategista linjausta ei kokonaisuutena liene kuitenkaan luotu sille, miten uutta teknologiaa ja sen tuomia mahdollisuuksia tulisi käyttää hyväksi maamme maa- ja metsätaloudessa.

Kansallisia strategioita muissa maissa

USA:ssa Valkoisen talon tiede- ja teknologiapolitiikan toimisto (White House Office of Science and Technology Policy) on kirjannut maatalousbiotekniikan tutkimuk-

sen tavoitteet osana laajempaa biotekniikan tulevaisuusstrategiaselvitystä (OSTP 1997).

Maatalousbiotekniikan nähdään tarjoavan tehokkaan ja edullisen tavan lisätä monenlaisten uusien, aikaisempaa arvokkaampien hyödykkeiden ja menetelmien tuottamista. Sen katsotaan mahdollistavan ravinnontuotannon lisäämisen, maatalouskemikaaliriippuvuuden vähentämisen ja raaka-aineiden hintojen alentamisen ympäristöystävällisellä tavalla.

Maatalousbiotekniikan odotetaan lisäävän maataloussektorin tuottavuutta miljardeilla dollareilla ensi vuosisadalla. Sen katsotaan olevan elintärkeä maan talouskasvun edistäjänä, ympäristön laadun säilyttäjänä sekä kekseliään tieteellisen tutkimuksen takaajana. Liittovaltion vahvaa tukea bioteknologian tutkimukselle pidetään ehdonä sille, että tarvittava tietotaito voidaan luoda ja ylläpitää uusien ja entistä parempien maataloustuotteiden kaupallistamiseksi.

Vaikka perinteisellä jalostuksella on saavutettu merkittäviä parannuksia ravinnon määrän ja laadun lisäämisessä, suuri joukko ongelmia on edelleen ratkaisematta. USA:ssa katsotaan mm., että useimmat viljelykasvit tuottavat vain alle 50 % satopotentiaalistaan erilaisten biologisten ja fyysikaalisten stressien takia. Biotekniikan keinoilla tuotantoa voidaan suuresti tehostaa, samalla kun tuotteista voidaan tehdä aikaisempaa parempia (proteiinien määrä ja laatu, vitamiinien ja hivenaineiden määrä ja tasapaino ym.). Tutkimukselta odotetaan vastauksia, jotta viljelijöiden ja kuluttajien riskit minimoituisivat; maatalojen, maatalousyhteisöjen ja maatalousalan yritysten taloudellinen tasapaino pysyisi vakaampana; ja jotta USA:n maatalouden pitkän aikavälin kilpailukyky maailmanmarkkinoilla voitaisiin varmistaa. Tämän kehityksen edellytetään tapahtuvan siten, että riippuvuus kemiallisista torjunta-aineista vähenee ja tuotannon ympäristökestävyys lisääntyy. Yksityiskohtaiset strategiset tavoitteet on esitelty ko. raportissa (OSTP 1997).

USA johtaa selkeästi useimmissa maailman biotekniikkatilastoissa (yritysten luku-

määrä, investointien ja myynnin määrä), mutta EU ja Japani nähdään merkittävinä kilpailijoina. Biotekniikan merkitystä arvioidessa on lisäksi muistettava, että myynnin määrä ei ole useinkaan luotettava menestyksen mittari mm. siksi, että biotekniikkaa käytetään usein pikemminkin tuotannon tehostamiseen kuin kokonaan uusin tuotteiden valmistamiseen. Näin teknologian merkitys voi paljolti olla piilevää.

Biotekniikka nähdään maan hyvinvoinnin kannalta yhdeksi strategisen tärkeäksi alaksi jo nyt ja vielä suuremmassa määrin tulevaisuudessa. Näin yksi raportin keskeisistä suosituksista tuntuukin – USA:n yleistä näkökulmaa ajatellen – varsin poikkeukselliselta ja siksi mielenkiintoiselta: Liittovaltion tulee tukea strategista teollisuutta (kuten biotekniikka), jos markkinavoimat eivät ”toimi tyydyttävästi”.

EU panostaa enenevästi biotekniikan tukemiseen tiedepohjan laajentamisen ja syventämisen kautta: ”Action Plan for Innovation” on luotu tukemaan keksintöjen syntymistä ja kaupallistamista, ja viides tutkimusohjelma painottaa biotekniikan tutkimista (EYI 1997). Euroopassa on hieman yli 1000 biotekniikka-alan yritystä, jotka työllistivät vuonna 1997 noin 40000 henkilöä, ja jotka investoivat alan kehittämiseen yli 1,5 miljardia ECUa. Selvästi eniten yrityksiä on Britanniassa, sitten Saksassa, Ranskassa ja Ruotsissa. Koska merkittävimmät maatalousalan sovellukset käyttöön ovat tulleet – ja tullevat jatkossakin – suurten agrokemian yritysten kautta, on mielenkiintoista tarkastella 10 globaalisti suurimman torjunta-aineyrityksen listaa: niistä 6 on eurooppalaisia. Kaikkein suurin on sveitsiläinen Novartis (ensimmäisenä ”geenimaissin” markkinoille tuonut) ja seuraavaksi suurimmatkin ovat kovin tuttuja maatalousbiotekniikan kaupallistajina: Monsanto (USA), Zeneca (EU), DuPont (USA) ja AgrEvo (EU) (EYI 1997).

Kanada on panostanut maatalousbioteknologian kehittämiseen erittäin paljon ja siellä on viljelykäyttöön hyväksytty jo 9 eri siirtogeenikasvikonstruktiota: 5 rapsin, 2

maissin, 1 soijan ja 1 perunan (OECD 1998).

Japanissa on kaupallistettu jo 7 eri siirtogeenikasvituotetta: 3 rapsilla, 2 maissilla, 1 soijalla ja 1 perunalla. Kaikki hyväksynyt ovat vuodelta 1996 (OECD 1998).

Australia on siirtogeenitekniikan pioneereja – siellä hyväksyttiin ensimmäisenä maailmassa avomaakäyttöön geenimuokattu eliö jo vuonna 1989: *Agrobacterium radiobacter* aitosyöpäpatogeenin torjuntaan – mutta siirtogeenisiä viljelykasveja siellä on hyväksytty kaupalliseen tuotantoon vain 2 lajia: neilikka (2 eri hyväksyntää ja ominaisuutta) sekä puuvilla. GMO-puuvillaa viljeltiin ensimmäisenä satokautena noin 30 000 hehtaarilla (OECD 1998).

Uusi-Seelanti on yksi aktiivisimmista siirtogeenitekniikan hyödyntäjistä tutkimuksessa ja siellä on kaupallisessa kehityksessä suuri joukko viljelykasvilajeja (mm. valkoapila, kiivihedelmä, omena), joiden odotetaan pian pääsevän kaupalliseen tuotantoon (OECD 1998).

Kehitysmaat

YK:n eri järjestöt yhdessä alueellisten talouskomissioiden kanssa ovat merkittävästi vahvistaneet kehitysmailhin suuntautuvia bioteknologian ohjelmiaan sillä seurauksella, että useat kehitysmaat pitävät bioteknologian kehittämistä yhtenä tärkeimmistä päämääristään (UNIDO 1997). Monet biotekniikan sovellukset ovat köyhienkin kehitysmaiden saavutettavissa ja käytettävissä. Etusijalla ovat etenkin maatalouteen ja elintarvikkeisiin suuntautuvat sovellutukset, kuten biolannoitteiden ja bitorjunta-aineiden tuottaminen, solukkoviljely ja eräät diagnostiset menetelmät, jotka voidaan ottaa käyttöön melko vähäisellä pääomalla ja koulutuksella.

Teknologisesti edistyneemmät kehitysmaat kuten Kiina, Intia, Korea, Brasilia, Kuuba ja Egypti ovat asettaneet bioteknologian kehittämisen tärkeäksi tavoitteek-

seen. Ne ovat investoineet itse sekä enenevästi houkuttelevat kansainvälisiä sijoittajia. Kiinassa on esimerkiksi jo laajaa siirto-geenikasvien viljelyä (tupakka, tomaatti) sekä keinotekoisien siementen tuotantoa. Afrikan maista Etelä-Afrikan ja Egyptin lisäksi Kenia, Nigeria ja Zimbabwe ovat johtavia biotekniikan soveltajia ja kehittäjiä.

Kehityksissä maatalousbiotekniikan edistäjänä tärkein lienee FAO, jolla on biotekniikan ohjelma 30 eri maan kanssa. Eryteisesti kohteina on riisiin, auringonkukkaan, puuvillaan, puhveleihin, pellavaan, kassavaan ja pähkinöihin liittyvä bioteknologia. Kasvibiotekniikka pyrkii parempaan ja ympäristöystävällisempään kasvinsuojeluun, parempaan lannoitteiden ja veden hyväksikäyttöön, kasvien laatuominaisuuksien parantamiseen ja tasapainottamiseen (mm. eri hivenaineiden pitoisuuksien lisäämiseen) sekä ympäristöstressien kuten suolan siedon lisäämiseen. Kotieläinten bioteknologia tähtää parempaan sairauksien diagnostisointiin, tehokkaampien lääkkeiden kehittämiseen sekä eläinten geneettiseen parantamiseen etenkin tautien kestävyudessa (UNIDO 1997).

Kehitysmaiden monille maataloustuotteille saattaa geenitekniikan avulla avautua uusia, merkittäviä markkinoita kehittyneissä maissa, kun kuljetusten aikainen pilaantumisen voidaan estää (mm. monet trooppiset hedelmät). Kaiken kaikkiaan maatalousbiotekniikan uskotaan radikaalisti helpottavan kehitysmaiden terveyteen, maatalouteen ja ympäristöön liittyviä ongelmia.

Kansallisen strategian kehittäminen Suomeen?

Alkuosassa esitellyt kansainväliset kehitystrendit tutkimuksessa, tuotteistamisessa, teknologian säätelyssä sekä kansainvälisessä kaupassa tulee sovittaa yhteen kansallisten tuotantomahdollisuuksien ja erityispiirteiden kanssa luotaessa maatalouteen sovellettavan bioteknologian kansallista strategiaa.

Jatkossa seuraava pohdiskelu ei voi olla katava, vaan se on tarkoitettu esimerkinomaiseksi malliksi siitä, millaisiin asioihin varsinaista kansallista strategiaa valmisteltaessa olisi ehkä kiinnitettävä huomiota, ja mitä kysymyksiä erityisesti pitäisi analysoida. Pohdiskelussa ei juurikaan ole voitu turvautua ulkopuolisiin lähteisiin, koska tiedossa olevissa kotimaisissa selvityksissä ei asiaa ole syvemältä mietitty.

Millaista maataloutta meillä tulevaisuudessa on mahdollista harjoittaa? Perustuu ko se lähinnä ns. Uuden-Seelannin malliin, vai onko sittenkin jonkinlainen eurooppalainen ratkaisu mahdollinen esim. Agenda 2000 -mallin mukaisesti? Millaisella aikaperspektiivillä asiaa tulisi tarkastella? Kun otetaan huomioon erityisesti se, että mikä tahansa tutkimuspanostus johtaa onnistuessaankin aikaisintaan 10 vuoden kuluttua johonkin kaupalliseen sovellutukseen – usein aikaa voi kuluu useita vuosikymmeniä – on strategiaa suunniteltaessa pakko ajatella kansainvälistä toimintaympäristöä vuosikymmenten päästä. Nykytilaan sopeutettu ja sitä ylläpitävä ja tukeva tutkimus ei välttämättä ole relevanttia enää silloin, kun tutkimuksen tulokset ovat johtamassa käytännön tuotteisiin. Kannattaako panostaa esim. sellaisten viljelykasvilajien tutkimiseen, joilla todennäköisesti ei enää muuttaman vuosikymmenen päästä ole meillä lainkaan viljelyedellytyksiä? Mitä tällaiset lajit saattaisivat olla? Jos kyseiset lajit ovat kuitenkin vielä nyt elintärkeitä, voidaanko siirtymäkautta pitkittää ja/tai helpottaa panostamalla viimeiseen asti ”uppoavan laivan” paikkaamiseen? Olisiko se edes järkevää? Tai: olisiko ylipäättänsä muita vaihtoehtoja?

Voisi olla järkevää ainakin analyttisellä tasolla selvittää eri skenaarioita ja niiden oletusarvojen mukaisen tilanteen vaatimia strategisia ratkaisuja maatalousbiotekniikan osalta. Ääripäinä voisivat olla juuri em. Uuden-Seelannin mallin mukainen täydellinen vapaakauppa ilman tulleja, kiintiöitä ja tukimaksuja, sekä Agenda 2000 -esityksen mukainen eurooppalainen malli.

Valintojamme rajoittavat lukuisat reunaehdot, joille useimmille emme voi juuriakaan mitään, tai joita voimme muuttaa olennaiselta osaltaan vain hyvin hitaasti. Tällaiset reunaehdot ovat luonteeltaan joko ulkoisia tai sisäisiä. Esimerkkejä:

Ulkoisia

- * Maailman ravintotilanteen kehittyminen
- * Kauppapoliittiset neuvottelut (WTO) ja niiden lopputulosten tuomat vaatimukset
- * Monikansallisten yritysten strategiat: mitä vaikuttavat yleiseen kehitykseen?
- * EU:n sisäinen kehitys ja laajeneminen
- * Muut kansainväliset sopimukset (mm. patenttilainsäädäntö, ilmastopimukset, biodiversiteettisopimus) ja niiden mahdolliset tuomat toimintaedut ja/tai -rajoitukset
- * Globaali, mutta etenkin lähialueiden maataloustuotannon potentiaali ja sen toteutuminen (geenitekniikan tuomat tuotantoedut mukaanlukien)

Sisäisiä

- * Ilmasto ja luonnonympäristö – satopotentiaali ei vain kokonaissadon vaan myös kasvin eri komponenttien osalta

(mm. aromiaineet); kotieläintuotannon mahdollisuudet; tuholaisia ja tauteja koskevat erityispiirteet (yleisesti ottaen helppo tilanne; siemenperunatuotanto positiivisena esimerkkinä), ilmaston ja luonnonolojen vakaus; valojaksoisuus ja spektrin erikoispiirteet – mihin biosynteesiin vaikuttavat edullisesti, mihin haitallisesti ...

- * Koulutus, tekninen osaaminen: missä meillä on erityistä tietotaitoa (informaatioteknologia, täsmäviljely)? Mitä puutteita?
- * Maatilarakenne: pienet, hajanaiset pellot – olisiko tilanteita joissa siitä olisi jopa hyötyä? Hyvä infrastruktuuri kautta maan; runsas ja hyväkuntoinen konekanta
- * Kotimaisen kasvinjalostuksen osaaminen ja vahvuudet: muualla ei jalosteta oloihimme sopivia lajikkeita

Strategian laadintavaiheessa olisi tehtävä perusteellinen analyysi maataloustuotannon ja siihen liittyvän bioteknologian vahvuuksista, heikkouksista, mahdollisuuksista ja uhkista nimenomaan kansainvälisen kehityksen ja kattavasti eri -edellä esimerkinomaisesti käsiteltyjen - reunaehto- jen valossa. Ilman johdonmukaista ja selkeää strategiaa tulemme armotta jäämään kilpailijamaiden jalkoihin biotekniikan hyödyntämisessä maa- ja metsätaloudessa, samalla kun oma tutkimuspanostuksemme valuu suurelta osin hukkaan.

Kirjallisuus

EYI 1997. European biotech 97: A new economy. Stuttgart, Germany: Ernst & Young International. 80 p.

ICAF 1997. Biotechnology industry study report 1996. ICAF Publications. Washington, D.C.: Industrial College of the Armed Forces, National Defence University. Cited 27.11.1997. Available: <URL:<http://www.ndu.edu/ndu/icaf/isbio.html>>

James, C. 1997. Global status of transgenic crops in 1997. ISAAA Briefs No. 5. Ithaca, N.Y., USA: International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications. 31 p.

Menzler-Hokkanen, I. & Hokkanen, H. 1997. Biotekniiikan huippututkimus: onko kaikki kultaa mikä kiiltää? Luonnon Tutkija 101: 22–27.

MMM 1992. The final report of the committee for evaluation of research in biotechnology, funded by the ministry of agriculture and forestry during 1988–1991. Arviointiraportti 1992: 15. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriö. 48 p.

Mäki-Tanila, A. & Mäntysaari, E. 1996. Embryo transfer technology and its use in enhancing dairy cattle breeding. Special Issue on Embryo Technology, Agricultural and Food Science in Finland 5: 487–490.

Nurro, M. 1998. Sata vuotta karjanjalostusta: Jalostuksen haasteena tuottavuuden lisääminen terveyttä vaalien. Elintarviketuotanto & ympäristö 1/1998: 4–5.

OECD 1998. BioTrack Online. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development. Cited 15.5.1998. Available: <URL:<http://www.oecd.org/ehs/Service.htm>>

OSTP 1997. Biotechnology for the 21st century: new horizons. Washington, D.C.: White House Office of Science and Technology Policy. Cited 23.9.1997. Available: <URL:<http://www.whitehouse.gov/OSTP.html>>

Suomen Akatemia 1997a. Molecular biology and biotechnology research in Finland. EMBO evaluation report 1996. Helsinki: Suomen Akatemia.

– 1997b. Geenitutkimusohjelma. Helsinki: Suomen Akatemia. Cited 12.4.1997. Available: <http://www.aka.fi/fin/geenioh.htm>

– 1997c. Biodiversiteettitutkimusohjelma 1997-2000. Helsinki: Suomen Akatemia. Cited 12.4.1997. Available: <URL:<http://www.aka.fi/fin/biodohje.htm>>

UNIDO 1997. Task manager's report on the environmentally sound application of biotechnology. Vienna: BINAS Library, United Nations Industrial Development Organisation. Cited 27.12.1997. Available: <URL:<http://binas.unido.org/binas/Library/agenda21/>>

Bioteknologia ja arvot

Veikko Launis

Turun yliopisto, Filosofian laitos, 20014 Turun yliopisto

Bioteknologian mahdollisuuksista käytävän arvokeskustelun on kerrottava, mikä voi toteutua, ja annettava eväät sen arvottamiseen. Arvokeskustelun liiallisen realismisuuden seurauksena tiede ajaa etiikan ohi ja tutkimus jää normittamatta. Mahdollisuudet hedelmälliseen arvokeskusteluun lisääntyvät, mikäli seuraavat virheelliset käsitykset kyetään välttämään: luonnon asettamia rajoja ei saa rikkoa; kaikki, mikä on teknisesti mahdollista tehdä myös toteute-

taan; bioteknologian eettiset ongelmat johtuvat pelkästään empiirisen tiedon vähäisyydestä; tutkija ei ole vastuussa siitä, miten tutkimustuloksia käytetään. Bioteknologia asettaa uusia vaatimuksia erityisesti eläinten moraaliseen kohtelulle. Tärkeimmät kysymykset liittyvät ihmisen todellisten tarpeiden ymmärtämiseen ja eläimille aiheutuvan kärsimyksen välttämiseen.

Avainsanat: eläinten oikeudet, etiikka, kärsimys, luonnonvastaisuus, science fiction, teknologinen imperatiivi

Biotechnology and values

Abstract

The moral debate about biotechnology should not be too realistic but should concentrate on what biotechnology may be able to achieve in the future. The discussion could be more fruitful if the following "bad axioms" were avoided: there are natural moral limits to what scientists should do; everything that is technically possible will be done; all ethical problems of biotechnology can be explained in terms of lack

of empirical knowledge; scientists are not morally responsible for manner in which the results of their research are used. As far as animals are concerned, the ethical issues seem to be related to understanding of what real human needs are, on the one hand, and to the elimination of avoidable animal suffering, on the other.

Key words: animal rights, ethics, science fiction, suffering, technological imperative, unnaturalness

Hyvä ja huono science fiction

Uusi bioteknologia on mahdollistanut monia asioita, jotka ovat tähän asti kuuluneet lähinnä tieteiskirjallisuuteen – tieteen ääri-rajoiden ulkopuolelle – ja joihin liittyviä eettisiä näkökohtia ei ole sen vuoksi haluttu selvittää. Arvokeskustelun liiallisen realismisuuden seurauksena tiede on monin paikoin ajanut etiikan ohi: useat tieteen sovellutukset ja kehittämishankkeet ovat eettisesti normittamatta, vaikka olisivatkin juridisesti säädeltyjä. Toisaalta monet uudet mahdollisuudet (esimerkiksi lääkitsemisen ja ravinnontuotannon alalla) saattavat jäädä hyödyntämättä, mikäli tutkimusta jarrutellaan ilman painavia eettisiä perusteita. Ihmisen ja luonnon hyvinvointia lisäämään pyrkivän tutkimuksen kieltäminen voi olla moraalisesti yhtä tuomittavaa kuin kärsimystä tuottavan tutkimuksen salliminen.

On erotettava toisistaan hyvä ja huono filosofinen science fiction. Hyvä science fiction ennakoii ja ennustaa tulevaa, kertoo mikä voi toteutua ja antaa eväät sen arviointiin. Hyvä esimerkki hyödyllisestä science fictionista on kloonausta käsittelevä moraalifilosofinen keskustelu. Tutkijat ovat tarkastelleet kloonaukseen liittyviä eettisiä näkökohtia jo 1970-luvulta lähtien (Watson 1971, Chadwick 1982). Huono science fiction saivartelelee, liioittelee mahdollisten toimintojen – lähinnä teoreettisia – riskejä ja vaaroja ja tarjoaa erilaisia ”tuomiopäiväprofetioita”.

Neljä virheellistä olettamusta

Eettisissä perusteluissa vedotaan tärkeinä pidettyihin arvoihin ja periaatteisiin, kuten kärsimyksen välttämiseen, elämän kunnioittamiseen ja oikeudenmukaisuuteen. Myös yleisen hyvinvoinnin edistäminen on

tärkeä näkökohta. Hyvä eettinen perustelu on sellainen, jossa kaikki nämä arvot tulevat huomioon otetuiksi. Perustelu on sitä vakuuttavampi, mitä laajemmin se pohjaa muiden keskustelijoiden arvoihin ja vakuuksiin. Hyväkään perustelu ei vakuuta välttämättä kaikkia. Todellisuudessa eettisiä ongelmia onnistutaan hyvin harvoin ratkaisemaan kaikkia osapuolia tyydyttävällä tavalla. Usein joudumme tyytymään kompromisseihin.

Mahdollisuudet hedelmälliseen julkiseen keskusteluun bioteknologian eettisistä kysymyksistä kasvavat merkittävästi, mikäli eräät virheelliset ja syvälle piintyneet ajattelutottumukset kyetään välttämään. Tärkeimmät näistä ovat seuraavat:

(1) Luonnon asettamia rajoja ei saa rikkoa tai ylittää.

Ihminen kuuluu luontoon siinä missä kasvit ja eläimetkin, ja tässä mielessä ihmisen toiminta on yhtä luonnollista kuin mikä tahansa muu toiminta tai reagointi. Lisäksi edellisestä riippumatta ihminen on kautta aikojen pyrkinyt toimimaan ”luonnonvastaisesti”, toisin sanoen hallitsemaan ja muokkaamaan luontoa ja vapauttamaan itsensä sen välttämättömyyksistä. Tässä mielessä ihmisen luonnonvastainen toiminta ei ole uusi, modernin bioteknologian synnyttämä asia.

(2) Kaikki, mikä on teknisesti mahdollista tehdä tai valmistaa myös toteutetaan – ennemmin tai myöhemmin.

Yllä esitetyn ”teknologisen imperatiivin” mukaan mahdollinen toteutuu aina, koska teknologian kehityksellä on omat sisäiset lakinsa ja logiikkansa, joita ihminen ei voi valinnoillaan muuttaa. Niinpä jo pelkän karmean mahdollisuuden osoittaminen ja siihen liittyvän moraalisen pelon herättäminen riittävät oikeuttamaan toiminnan kieltämisen – tai ainakin siirtämään todistamisen taakan kieltoa vastustavalle osapuolelle. Tällainen uskomus on triviaalisti virheellinen: tiedämme kokemuksesta, että uusista

keksinnöistä ja tekniikoista osa otetaan käyttöön, osa ei. Toteutuuko jokin uusi tekninen mahdollisuus vai ei riippuu viime kädessä siitä, voidaanko sitä käyttää johonkin hyödyllisenä pidettyyn tarkoitukseen ja siitä, kannattaako sen käyttö tähän tarkoitukseen. (Teknologisen imperatiivin puolustajien yleisenä strategiana on hahmotella jokin tilanne tai lopputulos, joka on itsessään niin karkea, että keskustelijoiden huomio kiinnittyy kokonaisuudessaan siihen, eikä kukaan ymmärrä kysyä, kuinka todennäköiseltä kyseisen kauhuvision toteutumisen todellisuudessa näyttää.)

(3) Bioteknologian eettiset ongelmat ovat pääsääntöisesti seurausta kokeemusperäisen tiedon puutteellisuudesta ja vähäisyydestä.

Tärkeimmät bioetiikan kysymykset ovat luonteeltaan periaatteellisia, eikä niitä voida lähestyä yksinomaan empiirisen tutkimuksen menetelmin tai palauttaa riskien arvioimiseen. Uuden bioteknologian markkinoima tulevaisuudenkuva herättää ihmisissä monenlaisia tuntemuksia ja reaktioita, joista useat ovat olleet varauksellisia. Näihin reaktioihin tulee suhtautua vakavasti - niitä ei voida selittää tyhjentävästi ”maallikoille ominaisilla ennakkoluuloilla” tai ”ihmisten tiedoissa ja arviointikyvyssä ilmenevillä puutteilla”. On selvää, että tieteenharjoittajat ovat yleisesti ottaen maallikoita taitavampia arvioimaan tutkimukseen liittyviä riskejä ja turvatoimien riittävyttä. Kuitenkaan tärkeimmät eettiset kysymykset eivät palaudu riskien arvioimiseen. Esimerkiksi seuraavat kysymykset eivät ole ratkaistavissa tieteen menetelmin: Missä kulkevat geeniteknologiaan pohjautuvan kotieläinjalostuksen moraaliset rajat? Missä määrin tieteelliseen tutkimukseen sisältyvästä koe-eläintoiminnasta ihmisen terveydelle aiheutuva hyöty kompensoi koe-eläimille aiheutettua kärsimystä? (Katso Cohen 1994, Jamieson & Regan 1994, Rollin 1995, Reiss & Straughan 1996.)

(4) Tutkija ei ole moraalisesti vastuussa siitä, miten tutkimustuloksia käytetään.

Yllä kuvatun ”standardinäkemys” mukaan tutkijan moraalinen vastuu ulottuu vain siihen, miten hän tutkii (tieteellisyysvaatimus), ei siihen, mitä hän tutkii ja mihin tarkoitukseen tutkimuksen tuloksia käytetään. Standardinäkemys sisältää väärinkäsityksen, että moraalista vastuuta on mahdollista siirtää ”muille”, esimerkiksi tutkimuksen rahoittajalle tai projektin johtajalle. Moraalinen vastuullisuus on aina henkilökohtaista, se on tieteellistä auktoriteettia ja poliittista kuuliaisuutta tärkeämpi asia. ”Sosiaalisen vastuun etiikka” ottaa tämän näkökohdan huomioon. Sen mukaan tutkijan on kaikin keinoin pyrittävä estämään tutkimuksen tulosten käyttämistä tarkoituksiin, jotka ovat eettisesti arveluttavia (Pietarinen 1991).

Esimerkki: kotieläinjalostus ja koe-eläintoiminta

Kotieläinjalostus ja tutkimuksen yhteydessä suoritettavat eläinkokeet tarjoavat elävän esimerkin aidosta eettisestä huolenaiheesta. Jos olemme sitä mieltä, ettei eläimiä tarvitse ottaa lainkaan moraalisesti huomioon, harjoitamme eläimiin kohdistuvaa lajisortoa eli spesismiä. Nykyisin hyväksytään kuitenkin yleisesti vaatimus, että moraalinen huolenpito on laajennettava koskemaan myös eläimiä (Vilka 1993, Cohen 1994, Jamieson & Regan 1994, Singer 1994). Maltillisen käsityksen mukaan eläinten kohdalla voidaan puhua ainakin kolmesta moraalista oikeudesta: oikeudesta välttyä kärsimykseltä, oikeudesta elämään ja oikeudesta elää vapaana pakotteista.

Oikeus tulla suojelluksi kärsimykseltä perustuu siihen, että jos kärsimys on moraalisesti huomioonotettava asia, niin myös eläimillä, siinä määrin kuin ne pystyvät tuntemaan kärsimystä, on oltava oikeus välttyä siltä. Bioetiikassa on ollut voimakkaasti esillä ”sentientismiksi” kutsuttu suuntaus, jonka mukaan tarkoituksellinen tuskan ja kärsimyksen tuottaminen on eettisesti väärin riippumatta siitä, minkä lajin edustajalle kärsimystä tuotetaan (Pietarinen & Launis 1997). Maltillisen käsityksen mukaan eläinten oikeus olla kärsimättä tuskaa ei kuitenkaan ole ehdoton, vaan sallii eräitä poikkeuksia – kunhan ne perustellaan moraalisesti.

Myös eläinten oikeudesta elämään on katsottu, ettei se ole yhtä ehdoton kuin ihmisten vastaava oikeus. Eläimet eivät koe elämän jatkuvuuden merkityksellisyyttä samalla tavoin kuin ihminen, joka kykenee antamaan arvoa elämälleen, tiedostamaan omia intressejään ja reagoimaan emotionaalisesti tuleviin tapahtumiin. Kuitenkin on ajateltu, että myös eläimillä on ainakin jonkinlainen intressi säilyä hengissä, ja eräässä perustavassa mielessä yhdenkään elävän olennon elossa pysyminen ei ole olennolle itselleen täysin yhdentekevä asia.

Eläinten oikeus vapauteen on oikeuksista heikoin siinä mielessä, että vain vapau-

desa elävät luonnonvaraiset eläimet voivat nauttia siitä – ja nekin rajoitetusti. Ihmisen hoidossa pitkään ollut eläin (kuten lehmä) ei kärsi vankeudessa samalla tavoin kuin luonnonvarainen eläin (esimerkiksi hirvi), joka on syntynyt ja kasvanut vapaudessa. Muiden oikeuksien tavoin myös oikeus vapauteen on ehdollinen, eikä ihminen ole automaattisesti velvoitettu kunnioittamaan sitä omien oikeuksiensa hinnalla. On huomattava, että useissa tapauksissa eläinten vapautta koskevia vaatimuksia (esimerkiksi sian vapautta valita, seisooko, makaako vai kääntyykö ympäri) on helpompi perustella oikeudella välttyä tarpeettomalta kärsimykseltä.

Lopuksi

Yhteenvedonomaaisesti voidaan todeta, että bioteknologia asettaa uusia vaatimuksia ja haasteita myös eläinten moraalille kohtelulle. Tärkeintä olisi selvittää, mitkä ovat ihmisen todelliset terveydelliset ja ravinnolliset tarpeet, milloin eläimille aiheutuva kärsimys on vältettävissä ja milloin kärsimyksen välttäminen on moraaliltaan kustannuksiltaan niin kohtuutonta, ettei siihen ole perusteltua ryhtyä.

Kirjallisuus

Chadwick, R.F. 1982. Cloning. *Philosophy* 57: 201–209.

Cohen, C. 1994. The case for the use of animals in biomedical research. In: Erwin, E., Gendin, S. & Kleiman, L. (eds.). *Ethical Issues in Scientific Research*. New York & London: Garland Publishing. p. 253–266. ISBN 0-8153-1790-5.

Jamieson, D. & Regan, T. 1994. On the ethics of the use of animals in science. In: Erwin, E., Gendin, S. & Kleiman, L. (eds.). *Ethical Issues in Scientific Research*. New York & London: Garland Publishing. p. 267–302. ISBN 0-8153-1790-5.

Pietarinen, J. 1991. Tiede moraalifilosofian valossa. In: Löppönen, P., Mäkelä, P.H. & Paunio, K. (eds.). *Tiede ja etiikka*. Porvoo: WSOY. p. 65–84. ISBN 951-0-17429-7.

– & **Launis, V.** 1997. Elämän patentoiminen. In: Launis, V. & Rääkkä, J. (eds.). *Geenit ja etiikka*. Helsinki: Edita. p. 108–120. ISBN 951-37-2114-0.

Reiss, M. & Straughan, R. 1996. *Improving Nature? The Science and Ethics of Genetic Engineering*. Cambridge: Cambridge University Press. 288 p. ISBN 0-521-45441-7.

Rollin, B.E. 1995. *The Frankenstein Syndrome: Ethical Issues in the Genetic Engineering of Animals*. Cambridge: Cambridge University Press. 240 p. ISBN 0-521-47807-3.

Singer, P. 1994. The significance of animal suffering. In: Erwin, E., Gendin, S. & Kleiman, L. (eds.). *Ethical Issues in Scientific Research*. New York & London: Garland Publishing. p. 233–243. ISBN 0-8153-1790-5.

Vilkkä, L. 1993. *Ympäristöetiikka*. Helsinki: Yliopistopaino. 238 p. ISBN 951-570-154-6.

Watson J.D. 1971. The future of asexual reproduction. *Intellectual Digest* 2: 115–125.

Uskomme suomalaiseseen kasvintuotantoon

Paavo Mäkinen

Ei saatavissa

Raskasmetalliriskit ja niiden hallinta maataloudessa

Ritva Mäkelä-Kurtto

Maatalouden tutkimuskeskus, Luonnonvarojen tutkimus, 31600 Jokioinen

Kadmium, lyijy ja elohopea ovat ympäristömyrkkijä, jotka saattavat heikentää maan tuotantokykyä, huonontaa maataloustuotteiden laatua ja kilpailukykyä, pilata vesiä, aiheuttaa terveydellistä haittaa ihmisille ja eläimille sekä vähentää eliöiden ja maisemien monimuotoisuutta ja siten myös ympäristön viihtyisyyttä ja kauneutta. Suomi on Euroopan edelläkävijämaa raskasmetalliriskien hallinnassa, sillä kasvintuotantomme suurimpia raskasmetallilähteitä on onnistuttu hillitsemään poikkeuksellisen tehokkaasti. Kotimaisen, lähes kadmiumvapaan raakafosfaatin saatavuus ja käyttöönotto fosforilannoitteiden valmistukseen 1980-luvun alussa johti siihen, että lannoitteis-

tamme peltoon tuleva kadmiumkuormitus on 1990-luvulla laskenut OECD-maiden alhaisimmaksi. Suomi on Euroopan maista ensimmäinen, jossa siirryttiin käyttämään lyijyttämätöntä polttoainetta kaikissa bensiinikäyttöisissä autoissa. Tämän seurauksena omat valtakunnalliset lyijypäästöt liikenteestä käytännöllisesti katsoen loppuivat vuonna 1994. Myös viljelymaiden pääasiallinen elohopeakuormitus loppui, kun elohopeapitoisten torjunta-aineiden käyttö kiellettiin vuonna 1992. Raskasmetalliriskien hallinta edistää kestävästä kehityksestä, maataloustuotannon ja -tuotteiden laatua sekä ihmisten ja luonnon hyvinvointia.

Avainsanat: elohopea, kadmium, kasvit, kuormitukset, lyijy, lähteet, päästöt, seuranta, säädökset, viljelymaa

Heavy metal risks and their management in agriculture

Abstract

Cadmium, lead and mercury are toxic elements which, at excessive levels, have harmful impacts on soil fertility, the quality of crops and waters, the diversity of living organisms and landscapes, and human and animal health. Finland's success in reducing emissions of heavy metals from their major sources makes us a foregoing country in the risk management of heavy metals in Europe. Thanks to the availability and use of domestic, almost cadmium-free raw phosphate for the production of phosphorus fertilizers in the early 1980s, the cadmium load from phosphorus fertilizers on cultivated soils is now lower than in any other

OECD country. Since 1994, when unleaded gasoline became available for all motor vehicles, lead emissions from traffic into the atmosphere virtually ceased. Since 1992, use of mercury-containing pesticides has been prohibited in agriculture, and mercury is therefore no longer added to soils with seed dressings. The risk management of heavy metals promotes sustainable development, the quality of agricultural production and products, and the well-being of humans and the environment.

Key words: cadmium, emissions, lead, loads, mercury, monitoring, plants, regulations, soil, sources

Johdanto

Maaperä on maatalouden perusvoimavara, sillä arvioiden mukaan 95 % ihmiskunnan käyttämästä ravinnosta on peräisin maasta ja vain loput 5 % vesistä (Botkin & Keller 1995). Maaperän säilyttäminen tuotantokykyisenä ja puhtaana on paitsi ravinnontuotannon niin myös ihmiskunnan ja luonnon säilymisen kannalta ratkaisevaa. Maaperän puhtautta uhkaavat kuitenkin monet saasteet, muun muassa haitalliset raskasmetallit, joiden viipymä maassa on yleensä satoja tai jopa tuhansia vuosia. Raskasmetallit ovat luonnollisia alkuaineita, joita esiintyy kaikkialla ympäristössämme. Eräät raskasmetalleista ovat vaarallisia ympäristömyrkyjä jo hyvinkin pieninä pitoisuuksina. Sellaisia ovat muun muassa kadmium, lyijy ja elohopea. Näiden raskasmetallien vaara piilee erityisesti siinä, että ne ovat luonnossa hajoamattomia ja kertyvät ympäristöön ja eliöihin. Monissa maissa tunnetaan syvää huolta maaperän, satojen ja ihmisten altistumisesta raskasmetalleille sekä pyritään löytämään keinoja metallien ympäristö- ja terveysvaarojen torjumiseen ja hallitsemiseen (OECD 1996a, OECD 1996b).

Raskasmetallilähteet

Raskasmetalleja joutuu ympäristöömme sekä luonnollisista lähteistä että ihmisen toiminnan tuloksena. Huomattavia raskasmetallipäästöjä on tullut ilmaan teollisuudesta, energiantuotannosta, liikenteestä ja jätteidenpoltosta. Ilmasta raskasmetallit laskeutuvat maahan ja kasveihin sekä saastuttavat maaperää ja satoja. Suurin lyijykuormitus viljelymaihin on tullut ilmasta (Mäkelä-Kurtto 1987). Ilmakehään lyijyä on joutunut huomattavia määriä liikenteen pakokaasuista, moottoriajoneuvoissa polttoaineena käytetystä lyijytetystä bensiinistä. Kaupungeissa ja yleensä tiheään asutuilla sekä tiheään autoistuneilla alueilla lyijy-

päästöt ovat suurimmillaan. Paikallisesti pahimpia lyijyasaastuttajia ovat olleet lyijysulattamat (Erviö & Lakanen 1973).

Viljelymaiden pääasiallinen kadmiumlähte Euroopassa (Eurostat, European Commission 1995), samoin kuin muualakin maailmassa (OECD 1996a, OECD 1996b), ovat olleet fosforilannoitteet. Kadmiumpitoisten fosforilannoitteiden haitalliset vaikutukset viljelymaan puhtauteen ovat tulleet selvästi esille myös Suomessa, kun peltomaiden liukoisen kadmiumin määrän todettiin lisääntyneen noin 30 % aikavälillä 1974–1987 (Erviö et al. 1990). Tuolloin fosforilannoitteemme sisälsivät poikkeuksellisen paljon kadmiumia, kun niiden valmistukseen oli käytetty afrikkalaista kadmiumpitoista raakafosfaattia. Myös maailmanlaajuinen selvitys (Sillanpää & Jansson 1992) osoittaa, että maaperän ja kasvien kadmiumpitoisuudet ovat yleensä korkeampia niissä maissa, joissa fosforilannoitteiden käyttömäärät ovat olleet suurimpia.

Myös karjanlannan merkitys peltojen kadmiumlähteenä saattaa olla huomattava, jos alueen kotieläintiheys on suuri, ja jos karjan rehuina on käytetty kadmiumia epäpuhtautena sisältäviä rehufosfaatteja (OECD 1996a). Maanviljelyssä voidaan hyödyntää myös monenlaisia orgaanisia ja epäorgaanisia jätteitä, kuten jätevesilietettä ja yhdyskuntien biojätteitä erilaisten käsittelyiden jälkeen sekä teollisuuden kuonia ja tuhkia (Mäkelä-Kurtto et al. 1992, Mäkelä-Kurtto & Sippola 1995, Mäkelä-Kurtto & Sippola 1996), jotka saattavat sisältää suuria määriä raskasmetalleja. Näiden jätteiden levittäminen viljelymaalle voi aiheuttaa paikallisesti suuria raskasmetallikuormituksia.

Siemenviljan peittaukseen käytetyt elohopeapitoiset torjunta-aineet ovat olleet viljelymaiden pääasiallisia elohopeakuormittajia. Peitatus siemenviljan mukana peltohehtaarille on joutunut vuosittain noin 5 g elohopeaa (Mäkelä-Kurtto 1987).

Raskasmetalliriskit

Maataloudelle suurin ja keskeisin vaara on siinä, että viljelymaiden raskasmetallipitoisuudet ovat nousseet ja tulevat useimmissa maissa edelleenkin nousemaan. Tämän seurauksena myös raskasmetallien aiheuttamat ympäristö- ja terveysriskit tulevat todennäköisesti lisääntymään.

Raskasmetallien kertyminen maahan aiheuttaa vaaraa paitsi maan puhtaudelle myös pieneliöstölle. Maan pieneliöt ovat hyvin herkkiä raskasmetalleille, erityisesti kadmiumille (de Vries & Bakker 1996). Jo melko alhaisetkin raskasmetallipitoisuudet pienentävät maassa olevien mikrobin biomassaa ja lajimäärää, mikä haittaa eloperäisen aineksen hajoamista ja typen vapautumista maassa. Metallien kertyminen pelto- maahan vähentää myös maassa elävien selkärangattomien eläinten, kuten kastematojen esiintymis- ja lajirunsausta. Tuore maa- ja metsätalousministeriön teettämä riskianalyysi (Ministry of Agriculture and Forestry 1997) osoittaa, että jo nykyiset viljelymaidemme kadmiumpitoisuudet aiheuttavat pienuudestaan huolimatta vaaraa maaperän pieneliöille kaikkialla muualla paitsi aivan pohjoisimmalla viljelyvyöhykkeellä, jossa kadmiumpitoisuudet ovat alhaisimmat. Maaperäeliöiden myrkyttyminen raskasmetalleilla on vakava uhka maan viljavuudelle ja tuotantokyvylle.

Suuri uhka viljelymaiden puhtaudelle tulevaisuudessa on lisääntyvä jäteaineiden hyötykäyttö maanviljelyssä. Raskasmetallipitoiset jätteet tai niistä valmistetut lannoitus- ja maanparannusaineet voivat lisätä viljelymaiden raskasmetallikuormitusta huomattavastikin. Kestävän kehityksen mukaisesti jätteiden hyötykäyttöä tulisi kuitenkin entisestään lisätä. Valtakunnallisten jättesuunnitelmien (Ympäristöministeriö 1995) mukaan jätteiden hyödyntämistä tulisi nostaa nykyisestä 47 %:sta 67 %:iin vuoteen 2005 mennessä. Tämä asettaa lisäpaineita myös jätteiden kierrättämiselle maataloudessa.

Kasvien sisältämät metallit ovat peräisin maasta ja ilmasta. Suurimman osan kadmiumistaan kasvit ottavat juurillaan maasta. Sen sijaan suurin osa kasvien lyijystä ja elohopeasta on peräisin kasvien maanpäällisille osille ilmasta tulleista metallilaskeumista. Näin ollen satojen kadmiumpitoisuus riippuu ennen kaikkea maaperän puhtaudesta, kun taas satojen lyijy- ja elohopeapitoisuudet riippuvat ilman puhtaudesta.

Kasvien metallien otto riippuu paitsi metallista myös kasvin, maaperän, ilman ja ilmaston ominaisuuksista sekä viljelytoimenpiteistä (Ministry of Agriculture and Forestry 1997, Grant et al. 1998). Lisäksi metallit kulkeutuvat eri tavalla kasvin eri osiin. Kasvien taipumus ottaa metalleja maasta riippuu ennen kaikkea kasvin perintötekijöistä. Taipumus voi olla hyvinkin erilainen eri kasvilajeilla ja jopa kasvilajikkeilla. Puutarhakasvien raskasmetallipitoisuudet ovat usein korkeampia kuin muiden viljelykasvien. Kasvihuoneissa kasvit ottavat metalleja maasta enemmän kuin avomaalla, sillä kosteus ja lämpö edistävät metallienottoa.

Kasvit ovat eliöryhmistä vähiten herkkiä raskasmetalleille (de Vries & Bakker 1996). Kuitenkin maan liialliset raskasmetallipitoisuudet voivat aiheuttaa kasveillekin myrkytyksiä, joista osoituksena ovat juuriston ja maanpäällisten osien heikentynyt kasvu ja kehitys sekä lehtien kohonneet tärkkelys- ja sokeripitoisuudet ja alentuneet ravinnepitoisuudet (de Vries & Bakker 1996). Kasvien myrkyttyminen raskasmetalleilla on mahdollista erittäin saastuneilla alueilla.

Ihmiset saavat yleensä suurimman osan haitallisista raskasmetalleistaan ravinnosta. Elimistöömme tulleesta lyijystä ja kadmiumista suurin osa on peräisin kasvikunnan tuotteista: viljavalmisteista, vihanneksista, hedelmistä ja marjoista (Tahvonon 1994). Elohopea taas saadaan etupäässä kalasta. Jos maaperän ja sitä kautta satojen raskasmetallipitoisuudet kohoavat, lisää se ihmisten ja eläinten raskasmetallien saantia ravinnosta ja samalla myös terveydellisiä riskejä. Ihminen on eliöistä herkin raskasme-

talleille (de Vries & Bakker 1996). Ihmisellä, samoin kuin kotieläimilläkin, haitalliset raskasmetallit kertyvät maksaan, munuaisiin, keskushermostoon ja luustoon aiheuttaen vaurioita. Lisäksi kyseiset raskasmetallit saattavat aiheuttaa syöpää.

Maaperästä raskasmetallit voivat siirtyä vesiin (OECD 1996b). Liukoisessa muodossa olevat metallit voivat huuhtoutua pohjavesiin tai kulkeutua valumavesien mukana pintavesiin. Maahiukkasiin sitoutuneet raskasmetallit taas voivat kulkeutua pintavesiin eroosioaineksen mukana. Raskasmetallit ovat myrkyllisiä myös vesieliöille. Lisäksi raskasmetallit voivat pilata juomaveden.

Raskasmetallivaaraa lisää Suomessa vielä peltojemme happamuus. Mitä alhaisempi maan pH, sitä enemmän liukoisia raskasmetalleja on maavedessä kasvien käytettävissä ja huuhtoutumisvaaralle alttiina (Mäkelä-Kurtto 1994). Suomessa viljellään Pohjoismaiden, ellei peräti Euroopan happamimpia maita (Maaranen 1993). Peltojen metsitys saattaa muodostaa erityisen ympäristövaaran, sillä peltomaan mahdollisesti huomattava happamoituminen metsityksen seurauksena saattaa lisätä merkittävästi lähes kaikkien metallien liukoisuutta maaperässä. Kalkitus on yksi tehokkaimmista käytännön keinoista hallita tätä (Mäkelä-Kurtto 1994).

Raskasmetalleilla saastuneilla alueilla menestyvät yleensä vain niitä kestävästi eliöt. Näin ollen maaperän likaantuminen vähentää luonnon monimuotoisuutta supistamalla pieneliöiden, kasvien ja eläinten lajirunsausta. Tämä heijastuu myös maisemaan ja sen monimuotoisuuteen, mikä edelleen vaikuttaa ympäristön kauneuteen ja viihtyisyyteen.

Raskasmetalliriskien hallinta

Ilmansuojelutoimet

Suomessa maantieliikenteen lyijypäästöt ilmaan lähtivät laskuun jo 1980-luvulla, kun bensiinin suurinta sallittua lyijypitoisuutta ruvettiin vähitellen pienentämään, ja kun myös lyijytön bensiini tuotiin markkinoille. Liikenteemme omat lyijypäästöt loppuivat käytännöllisesti katsoen kokonaan huhtikuussa 1994, jolloin lyijytetyn bensiinin myynti lopetettiin (Mäkelä 1996). Suomi olikin Euroopan maista ensimmäinen, joka siirtyi käyttämään lyijytöntä bensiiniä yleisesti sekä uusissa että vanhoissa autoissa. Lyijyä tulee kuitenkin edelleen Suomen ilmakehään kaukokulkeutumana muualta, koska monissa maissa lyijytetyn bensiinin käyttö ajoneuvoissa on vielä varsin yleistä. Suunnitelmien mukaan Euroopan Unionin alueella lyijytetty bensiini katoaa huoltoasemilta vuoteen 2000 mennessä, poikkeuksena Etelä-Euroopan maissa toteutettava siirtymäkausivaihe. Tehokkaat ilmansuojelutoimenpiteet happamoittavien rikki- ja typpipäästöjen pienentämiseksi 1980- ja 1990-luvuilla ovat vähentäneet myös raskasmetallipäästöjä. Viimeisten vuosikymmenien aikana ilman laatu on huomattavasti parantunut.

Säädökset

Ihmisten ja ympäristön altistumista raskasmetalleille voidaan hallita myös lainsäädännön keinoin ja näin turvata yhteiskunnassa tietty puhtauden perustaso. Kansallisia raskasmetalleja koskevia säädöksiämme voidaan yleisesti pitää melko tiukkoina. Meillä on säädöksiä raskasmetallien enimmäispitoisuuksista lannoitteille (Maa- ja metsätalousministeriön päätös N:o 45/94), lannoitevalmisteille, joita ovat maanparannuskompostit, kalkit, teollisuuden kuonat ja tuhkat yms. (Maa- ja metsätalousministeri-

ön päätös N:o 46/94), maanviljelyssä käytettävälle jätevesiliettele ja lietteen levityskohteeksi joutuvalle peltomaalle (Valtioneuvoston päätös N:o 282/94) sekä rehuille (Maa- ja metsätalousministeriön päätös N:o 180/94), elintarvikkeille (Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös N:o 134/96) ja talusvedelle (Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön päätös N:o 74/94). Maaperän puhtauden arviointiin on käytettävissä suositusluontoiset kansalliset raskasmetallien ohjearvot (Assmuth 1997).

Tällä hetkellä pelto- ja puutarhalannoitteiden kadmiumin enimmäispitoisuus on 50 mg fosforikiloa kohti ja muille kuin fosforia sisältäville lannoitteille 3 mg kilossa kuiva-ainetta (Maa- ja metsätalousministeriön päätös N:o 45/94). Euroopan Unionissa lannoitteiden kadmiumpitoisuudelle ei ole ylärajaa. Euroopassa keskimääräinen fosforilannoitteiden kadmiumpitoisuus on 138 (OECD 1996 b) ja Suomessa 1–5 mg kilossa fosforia (Ministry of Agriculture and Forestry 1997). Fosforilannoitteistamme peltoon tuleva kadmiumkuormitus on tällä hetkellä hyvin pieni, sillä siilinjärveläisestä, lähes kadmiumvapaasta apatiitista valmistetut fosforilannoitteemme ovat puhtaudessaan maailman huippuluokkaa. Kuormitusta on alentanut myös se, että fosforilannoitteiden käyttö on noin 10 vuodessa alentunut lähes kolmannekseen.

Karjanlanta sisältää raskasmetalleja yleensä joko saman verran tai vähemmän kuin viljelymaa keskimäärin (Mäkelä-Kurtto & Kemppainen 1993). Jätevesilietteiden raskasmetallipitoisuudet ovat parin viime vuosikymmenen aikana oleellisesti pienentyneet. Lisäksi jätevesilietteiden käyttömäärää rajoittavat tehokkaasti paitsi raskasmetalleja koskevat viljelymaan kuormitusrajoitukset (Valtioneuvoston päätös N:o 282/94) myös maatalouden ympäristötuen perustukiehtojen mukaiset fosforinkäyttörajoitukset, jotka koskevat myös karjanlantaa (Maa- ja metsätalousministeriön yleiskirje N:o 85/97).

Torjunta-aineista viljelymaahan tuleva elohopeakuormitus loppui, kun torjuntaainelautakunnan päätöksen (13.6.1990)

mukaisesti elohopeapitoisten torjunta-aineiden valmistus, maahantuonti ja myynti kiellettiin Suomessa vuoden 1991 lopussa ja käyttö vuoden 1992 syyskuun lopussa.

Tutkimus

Suomalaisten viljelymaiden raskasmetallipitoisuuksia on kartoitettu sekä alueellisesti että valtakunnallisesti. Tiedossa on sekä raskasmetallien kokonaispitoisuudet (Mäkitie 1961, Sippola & Mäkelä-Kurtto 1986, Mäkelä-Kurtto & Sippola 1986) että helpoliukoisessa muodossa olevien metallien pitoisuudet (Erviö et al. 1990). Viljelymaiden raskasmetallipitoisuuksia on kartoitettu myös maailmanlaajuisesti 30 valtion viljelymaista (Sillanpää & Jansson 1992). Kartoituksen tuloksena Maatalouden tutkimuskeskuksessa (MTT) on nyt käytettävissä ehkä alueellisesti maailman laajin tulosaineisto viljelymaiden raskasmetallipitoisuuksista sekä maanäyteaineisto.

Seurantatutkimukset tuottavat oleellista, luotettavaa, paikkaan ja aikaan sidottua sekä myös ajantasaista tietoa peltojen tuotantokyvystä ja puhtaudesta, niiden kehityssuunnasta sekä muutosten syy- ja seuraussuhteista. Lainsäätäjät ja poliittiset päättäjät tarvitsevat näitä tietoja taustatuekseen. Suomessa on Pohjoismaiden pitkäaikaisin maatalousmaan tilan valtakunnallinen seuranta, jonka MTT aloitti vuonna 1974 (Sippola & Tares 1978). Viljelijöiden pelloilla sijaitsevat näytepisteet tutkitaan uudelleen runsaan 10 vuoden välein (Erviö et al. 1990). Tänä vuonna kerätään näytteet kolmannen kerran samoilta, noin 750 peltolohkolta. Toisen seurantaverkoston muodostaa MTT:n tutkimusasemien pelloilla olevat 150 näytepistettä (Urvas 1995). Nämä tutkitaan viiden vuoden välein. Seurantatutkimusten avulla on todettu selviä muutoksia peltojen happamuudessa, ravinteikkuudessa ja puhtaudessa (Erviö et al. 1990).

Maaperän puhtauden kehitystä voidaan seurata ja ennakoida myös taselaskelmilla (Moolenaar 1998). Taloudellisen kehityk-

sen ja yhteistyön järjestön, OECD:n, vuonna 1995 tekemän selvityksen (OECD 1996b) mukaan Suomi on jäsenmaista ensimmäisenä saavuttamassa kestävä kehityksen edellyttämän tasapainon maaperän kadmiumkuormitusten ja kadmiumpoistumien välillä. Viljelymaidemme kadmiumpitoisuuksien nousu on pysähtymässä. Suomen kadmiumkuormitukset ovat OECD-maiden pienimmät.

MTT on tehnyt tutkimuksia kasvisatojen raskasmetallipitoisuuksista tavanomaisilla viljelymailla (Sillanpää et al. 1988, Sillanpää & Jansson 1991), saastuneilla maa-alueilla (Erviö & Lakanen 1973, Sippola & Erviö 1986) sekä keinotekoisesti saastutetuilla mailla astiakokeissa. Lisäksi timotein raskasmetallipitoisuuksia on seurattu ja seurataan edelleenkin valtakunnallisen viljelymaiden tilan seurantahankkeen yhteydessä. Seurantatutkimus on osoittanut, että timotein lyijypitoisuudet pienenevät keskimäärin 45 % 1974–1987 liikenteen lyijypäästöjen vähentymisen myötä (Mäkelä-

Kurto et al. 1993). Samasta syystä myös männyn neulasten lyijypitoisuuksien on todettu vähentyneen kolmannekseen 1970–1986 (Mäkelä-Kurto & Tares 1987). Tulokset osoittavat, että ilmansuojelutoimpiteillä voidaan nopeasti vaikuttaa kasvien raskasmetallipitoisuuteen ja parantaa satojen laatua.

MTT tutkii myös elintarvikkeiden puhautta ja raskasmetallien saantia ravinnosta. Suomalaisväestön raskasmetallien saanti on vähäistä ja kaukana kansainvälisestä enimmäissuosituksesta (Kumpulainen et al. 1993). Lisäksi elintarvikkeidemme kadmiumin ja lyijyn pitoisuudet ja niiden saanti ravinnostamme ovat vähentyneet (Tahvonen & Kumpulainen 1996), mikä myös osaltaan osoittaa suomalaisen maatalousympäristön puhdistuneen. Viime vuonna Euroopan Unionia varten tehdyn riskianalyysin (Ministry of Agriculture and Forestry 1997) mukaan kadmiuminsaanti ravinnosta ei aiheuta Suomessa terveysriskiä.

Kirjallisuus

Assmuth, T. 1997. Selvitys ja ehdotuksia ympäristövaarallisten aineiden pitoisuuksien ohjearvoista maaperässä - tiedolliset perusteet, määrittelyperiaatteet, soveltaminen, kehittäminen. Suomen ympäristökeskuksen moniste 92. 56 p. ISBN 952-11-0161.X.

Botkin, D. & Keller, E. 1995. Environmental Science - Earth as a Living Planet. New York: John Wiley & Sons, Inc. 627 p. ISBN 0-471-54548-1.

Erviö, R. & Lakanen, E. 1973. Maan lyijyasaastuminen sulattamon ympäristössä Tikkurilassa. *Annales Agriculturae Fenniae* 12: 200–206.

–, **Mäkelä-Kurto, R. & Sippola, J.** 1990. Chemical characteristics of Finnish agricultural soils in 1974 and in 1987. In: Kauppi, P. et al. (eds.). *Acidification in Finland*. Berlin: Springer-Verlag. p. 214–234.

Eurostat, European Commission. 1995. Europe's Environment, Statistical Compendium for the Dobris Assessment. Brussels. 455 p.

Grant, C.A., Buckley W.T., Bailey, L.D. & Selles, F. 1998. Cadmium accumulation in crops. *Canadian Journal of Plant Science* 78(1): 1–17.

Kumpulainen, J. Hietaniemi, V. & Tahvonen, R. 1993. Elintarvikkeiden ja ravinnon vierasainepitoisuudet - kansainvälistä vertailua. *Kemia-Kemi* 20(9-10): 840-846.

Maaranen, A. 1993. Suomessa Euroopan happamimmat pellot - kalkinpuute estää huippusadot. *Käytännön maamies* 2: 8–9.

Ministry of Agriculture and Forestry. 1997. Cadmium in Fertilizers. Risks to Human Health and the Environment. Publications of the Ministry of Agriculture and Forestry 9/1997. 93 p. ISSN 1238-2531, ISBN 951-53-1461-5.

- Moolenaar, S. W.** 1998. Sustainable management of heavy metals in agro-ecosystems. Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands. Academic dissertation. 191 p. ISBN 90-5485-835-4.
- Mäkelä, K.** 1996. Suomen tieliikenteen pakokaasupäästöjen kehitys. Ympäristökatsaus 3: 8–12.
- Mäkelä-Kurto, R.** 1987. Viljelytoimenpiteiden vaikutus maan raskasmetallipitoisuuteen. Koetoiminta ja käytäntö 44(15.12.1987): 67.
- 1994. Viljelymaan happamuuden vaikutus haitallisten metallien saatavuuteen. Koetoiminta ja käytäntö 51(30.8.1994): 32.
- , **Erviö, R. & Sippola, J.** 1993. Macro- and microelement concentrations of Finnish timothy in 1974 and 1987. *Agricultural Science in Finland* 2: 337–344.
- & **Kempainen, E.** 1993. Karjanlannassa vähäisiä määriä raskasmetalleja. Koetoiminta ja käytäntö 50(30.3.1993): 7.
- & **Sippola, J.** 1986. Viljelymaittemme elohopeapitoisuus. Koetoiminta ja käytäntö 43 (18.2.1986): 9.
- & **Sippola, J.** 1995. Erilliskerätyn biojättekemoston lannoitusvaikutus. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1995: 18. 46 p.
- & **Sippola, J.** 1996. "Kasvu-Yty" -komposti vihannesviljelyssä. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1996: 5. 37 p.
- , **Sippola, J. & Jokinen, R.** 1992. Teollisuuden jätevesilietteet ja niiden hyötykäyttö maataloudessa. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 6/92. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 40 p. ISSN 0359-7652.
- & **Tares, T.** 1987. Männyn neulasten lyijypitoisuudet Helsingin seudulla 1970 ja 1986 (Lead contents of pine needles around Helsinki in 1970 and 1986). *Aquilo, Ser. Botanica* 1: 75–81.
- Mäkitie, O.** 1961. Eräiden hivenaineiden esiintymisestä viljelysmaissamme (The occurrence of some trace elements in arable soil in Finland). *Agrogeologia julkaisuja (Agrogeological publications)* 78: 1–25.
- OECD. 1996a. Sources of cadmium in the environment. OECD Proceedings. 482 p. ISBN 92-64-15343-8.
- OECD. 1996b. Fertilizers as a source of cadmium. OECD Proceedings. 252 p. ISBN 92-64-15342-X.
- Sillanpää, M., Ylärinta, T. & Jansson, H.** 1988. Lead contents of different plant species grown side by side. *Annales Agriculturae Fenniae* 27: 39–43.
- & **Jansson, H.** 1991. Cadmium and sulphur contents of different plant species grown side by side. *Annales Agriculturae Fenniae* 30: 407–413.
- & **Jansson, H.** 1992. Status of cadmium, lead, cobalt and selenium in soils of thirty countries. *FAO Soils Bulletin* 65. 195 p. ISBN 92-5-103238-6.
- Sippola, J. & Erviö, R.** 1986. Raskasmetallit maaperässä ja viljelykasveissa Harjavallan tehtaiden ympäristössä. *Ympäristö ja terveys* 5: 270–275.
- & **Mäkelä-Kurto, R.** 1986. Cadmium in cultivated Finnish soils. *Annales Agriculturae Fenniae* 25: 255–263.
- & **Tares, T.** 1978. The soluble content of mineral elements in cultivated Finnish soils. *Acta Agriculturae Scandinavica Suppl.* 20: 11–25.
- Tahvonen, R.** 1994. Contents of lead and cadmium in foods in Finland. Turku: University of Turku, Department of Biochemistry and Food Chemistry. 115 p. Academic dissertation. ISBN 952 90-6323-7.
- & **Kumpulainen, J.** 1996. Contents of lead and cadmium in foods in Finland. In: Kumpulainen, J. (ed.). Proceedings of the technical workshop on trace elements, natural antioxidants and contaminants in European foods and diets, Helsinki, Espoo, August 25-26, 1995. Roma: FAO. *Reu Technical series* 49: 139–155. ISSN 1020-3737.
- Urvas, L.** 1995. Viljelymaan ravinne ja raskasmetallipitoisuuksien seuranta. (Summary: Monitoring nutrient and heavy-metal concentrations in cultivated land.) Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 15/95. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 23 p. + 5 liitettä. ISSN 0359-7652.
- de Vries, W. & Bakker, D.J.** 1996. Manual for calculating critical loads of heavy metals for soils and surface waters. Preliminary guidelines for environmental quality criteria, calculating methods and input data. Wageningen (The Netherlands), DLO Winand Staring Centre. Report 114. 173 p. ISSN 0927-4537.
- Ympäristöministeriö. 1995. Valtakunnallinen jättesuunnitelma vuoteen 2005. Luonnos 29.12.1995. 285 p.

Huuhoutumismallilla torjunta-ainepäästöjä ennustamaan

Pirkko Laitinen¹ ja Hanna-Riikka Tuhkanen²

¹ *Maatalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, 31600 Jokioinen*

² *Maatalouden tutkimuskeskus, Luonnonvarojen tutkimus, 31600 Jokioinen*

PESSI (Pestisidien simulointi) on tietokone-ohjelma, joka havainnollistaa torjunta-aineiden kulkeutumista ja pysyvyyttä pellossa. Ohjelmassa, josta on tarkoitus kehittää opetus- ja neuvontaväline, kuvataan torjunta-aineiden käyttäytymiseen vaikuttavia tekijöitä. Tässä esiteltävä ensimmäinen versio sisältää noin 300 esimerkkikuvaa ja lyhyet selostukset siitä, miten maan ja torjunta-aineiden ominaisuudet, viljelymenetelmät ja sää vaikuttavat torjunta-aineiden kulkeu-

tumiseen ja hajoamiseen maassa. Esimerkit ovat ICECREAM-mallilla tehtyjä simulointeja, jotka on tehty käyttäen paikallisia maalaji- ja säätietoja. PESSI:n käyttäjä voi valita ohran, perunan tai sokerijuurikkaan viljelyn savi- tai hietamaalla. Kasveille on valittavana yleisimmin käytettyjä rikkakasvien, kasvitautien ja tuhohyönteisten torjunta-aineita. Sääaineistoksi voi valita joko sateisen ja kylmän tai kuivan ja lämpimän kesän

Avainsanat: huuhoutuminen, obra, peruna, PESSI (Pestisidien simulointi), sokerijuurikas, torjunta-aineet

Predicting pesticide discharges by the transport model

Abstract

PESSI (Pesticide Simulation) is a computer program illustrating pesticide runoff and persistence in arable soil. Its purpose is to improve our understanding of pesticide behaviour on fields and to produce material for instructors, advisors and farmers. The factors that affect pesticide behaviour in the soil (soil and pesticide properties, cultivation methods and climatic conditions) are illustrated by around 300 graphic examples.

These are one-year period simulations made by the ICECREAM model using local soil and climatic data. Users of PESSI can select barley, potato or sugarbeet cultivated in clay or sandy soil. The two most commonly used herbicides, fungicides and insecticides are available for each crop, and there are two weather-type alternatives, dry or rainy weather.

Key words: barley, demonstration, PESSI (Pesticide Simulation), potato, runoff, soil, sugarbeet

Johdanto

Torjunta-aineista puhuminen herättää usein pelkoja ja epävarmuutta. Takavuosien usko siihen, että torjunta-aineet katoavat ympäristöstä nopeasti ja jälkeä jättämättä, on tiedon lisääntyessä kadonnut. Samaa tietä on käytöstä kadonnut lukuisa määrä hyvin myrkyllisiä, mutta vieläkin ympäristöstä löytyviä yhdisteitä. Vaikka nykyisin käytössä olevat torjunta-aineet ovat turvallisempia ja yleensä nopeammin hajoavia, on niiden joukossa myös pysyviä yhdisteitä. Koska torjunta-aineiden ympäristövaikutuksista tiedetään edelleen aivan liian vähän, on järkevää pyrkiä minimoimaan niiden, samoin kuin muidenkin ympäristölle vieraiden aineiden päästöjä.

Viljelijöitä vaaditaan entistä enemmän huomioimaan ja vähentämään viljelystä aiheutuvaa ympäristökuormitusta. Viranomaisten antamia torjunta-aineiden käyttöä koskevia rajoituksia ja suosituksia ei ole aina helppo ymmärtää ja ne saatetaan kokea jopa turhauttavina. Lisänä ovat kuluttajien odotukset sekä tuotannon että tuotteen turvallisuudesta. Paineita kasvat- taen vielä viljelijöiden oma huolestuminen sekä ympäristöstä että pellon kasvukunnosta.

Mitä torjunta-aineille tapahtuu maassa, kertyykö niitä maaperään tai kulkeutuuko pinta- ja pohjavesiin, millaisia ympäristövaikutuksia niillä on ja miten pelloilta lähtevää kuormitusta voitaisiin vähentää, ovat kysymyksiä, jotka toistuvat viljelijöiden kanssa keskustellessa. Tarve ymmärtää torjunta-aineiden käyttäytymistä ja siihen vaikuttavia tekijöitä on ilmeinen. Vaikka ymmärtämiseen tarvittavaa tietoa onkin saatavilla, se on usein vaikeaselkoista ja hankalasti tavoitettavissa. Tiedon avulla on mahdollista päästä parempaan ja mielekkäämpänä koettuun riskienhallintaan kuin mihin pelkällä rajoitusten tunnollisella noudattamisella ilman niiden syiden ymmärtämistä voidaan yltää.

PESSI

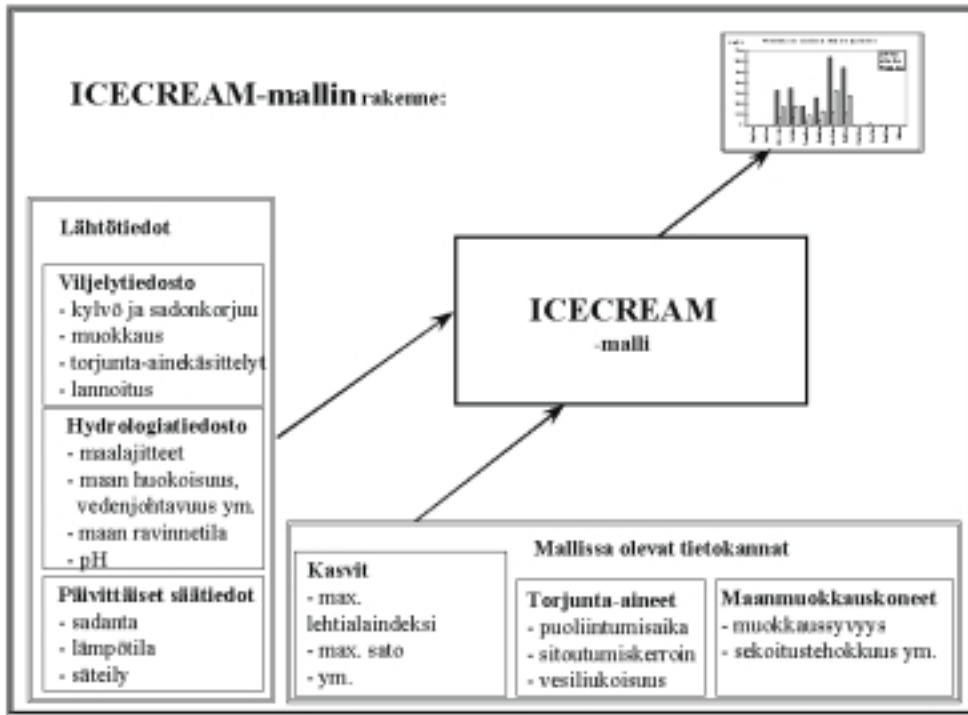
Matemaattiset mallit on nähty yhtenä välineenä torjunta-aineiden käytöstä mahdollisesti aiheutuvan ympäristökuormituksen arvioimiseen. Torjunta-aineiden matemaattisella huuhtoutumismallilla tehtyihin simulointeihin perustuvan PESSI-ohjelman (Pestisidien simulointi – torjunta-aineiden kulkeutumisen havainnollistaminen) tavoitteena on havainnollistaa torjunta-aineiden käyttäytymistä pellossa ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Ohjelma on kehittävyvaiheessa ja tavoitteena on tehdä siitä opetus- ja koulutusväline. Tässä esiteltävä versio sisältää noin 300 valmista simulointia.

PESSI:n käyttäjä voi valita viljelykasveista ohran, perunan tai sokerijuurikkaan, muokkausmenetelmistä kynnön tai kyntämättä jättämisen, maalajeista hiedan tai saven ja sääolosuhteista kuivan tai sateisen kesän. Viljalle on valittavana kaksi rikkakasvien-, kasvitautien- ja tuhohyönteisten torjuntaan yleisimmin käytettyä torjunta-ainetta. Perunalle on valittu kaksi kasvitautien torjunta-ainetta ja sokerijuurikkaalle kaksi rikkakasvien ja kaksi tuhohyönteisten torjunta-ainetta. Viljelytapahtumat on asetettu mahdollisimman todelliseksi. Simulointiaika on yksi vuosi ja tulokset on esitetty kuukauden jaksoissa.

PESSI:n käyttöliittymässä on valikot maalajille, viljelykasville ja torjunta-aineille, säälle ja halutulle tulostukselle (kuva 1). ”Valitse ulostulo” -valikossa voidaan valita joko pintavalunnan mukana tulevat torjunta-aineet tai maan torjunta-ainepitoisuudet. ”Opasta” - painike tuo näyttöön lyhyen selostuksen siitä, miten valittavana olevat toiminnot vaikuttavat torjunta-aineiden käyttäytymiseen. Kun kaikki valinnat on tehty, saadaan ”Näytä”-painiketta näpäyttämällä simuloinnin tulostus pylväskuviona. ”Oletusasetus”-painikkeella palataan ohjelman alkuun.



Kuva 1. PESSIn käyttöliittymä.



Kuva 2. ICECREAM-mallin rakenne.

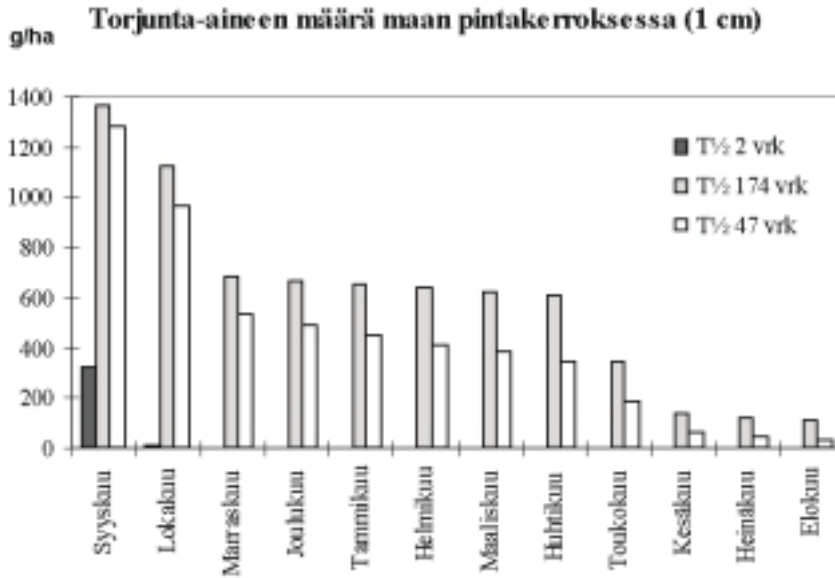
ICECREAM

PESSI:n simuloinnit on tehty Suomen ympäristökeskuksessa kehitetyllä ICECREAM-mallilla (Rekolainen & Posch 1993, Salo et al. 1993). Maatalouden tutkimuskeskuksessa mallia on testattu omilla huuhtoutumiskenttäkokeista saaduilla tutkimusaineistoilla (Laitinen 1997, Laitinen et al. 1998, Siimes 1998). Mallia on käytetty myös maan ravinnetilan mallintamiseen (Tuhkanen 1998).

ICECREAM on tietokoneohjelma, joka koostuu tietokannoista ja laskentaohjelmasta (kuva 2). Jotta mallia pystytään käyttämään, sille on annettava erilaisia lähtötietoja. Viljelytiedostossa määritetään, milloin ja miten maa muokataan ja lannoitetaan, viljelykasvi kylvetään ja sato korjataan.

Myös torjunta-ainekäsittelyt ja niiden ajankohdat annetaan viljelytiedostossa. Hydrologiatiedostossa mallille annetaan veden liikkeisiin vaikuttavia, maan ominaisuuksia kuvaavia lukuarvoja sekä maan happamuus ja ravinnetila. Lisäksi lähtötiedoissa annetaan päivittäiset lämpötila-, sadanta- ja säteilytiedot.

Ohjelma sisältää tietokannat kasveille, torjunta-aineille ja maanmuokkaukselle. Kasvitietokannassa on kasvin ominaisuuksia ja kasvua kuvaavia arvoja, kuten maksimilehtialaindeksi ja -sato. Maanmuokkautietokannassa on lueteltu Suomessa yleisimmin käytetyt äkeet ja aurat, joille on määritetty muokkaussyvyys ja sekoittamista kuvaavat vakiot. Torjunta-ainetietokannassa on torjunta-aineiden fysikaalisia ja kemiallisia ominaisarvoja, kuten puoliintumisaika maassa ja lehvästössä, sitoutumiskerroin maahan ja aineen vesiliukoisuus.



Kuva 3. Puoliintumisajan ($T_{1/2}$) vaikutus maan pintakerroksen torjunta-ainepitoisuuteen. Kerroksen syvyys on 1 cm.

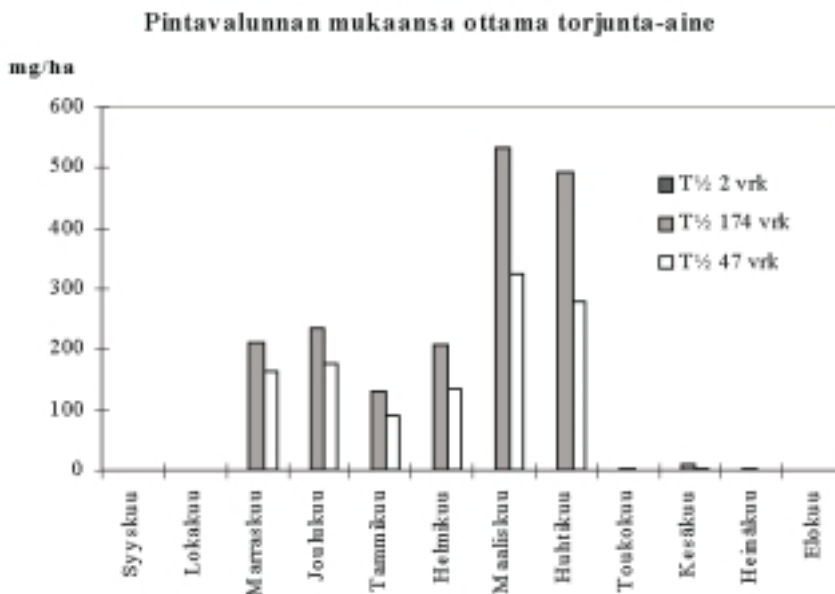
Torjunta-aineen hajoamisnopeutta kuvataan puoliintumisajalla ($T_{1/2}$). Lämpötila vaikuttaa hajoamisnopeuteen. Mallille annetaan puoliintumisajan arvo 20 °C :ssa. Päivittäisen puoliintumisajan laskemiseen malli käyttää Arrheniuksen yhtälöä, jonka mukaan hajoamisaika kasvaa noin kaksinkertaiseksi, kun lämpötila laskee 10 °C :een ja on noin viisinkertainen lämpötilan ollessa 0 °C .

Sitoutumiskerroin maan orgaaniseen ainekseen (Koc) kuvaa torjunta-aineen kulkeutuvuutta. Heikosti maahan sitoutuva aine liukenee veteen ja kulkeutuu joko syvemmälle maahan tai poistuu pelloilta pintavaluntaveden mukana. Voimakkaasti maahan sitoutuva aine kiinnittyy maan pintakerrokseen ja lähtee pelloilta maa-aineksen mukana. Muokkauksessa torjunta-aine sekoittuu maahan ja sen kulkeutuminen syvemmälle mahdollistuu. Tällöin pintavalunnan mukaan lähtee torjunta-ainetta vähemmän. Koska aineet sitoutuvat pääasias-

sa orgaaniseen ainekseen, ne liikkuvat vähähumuksisessa jankossa herkemmin kuin muokkauskerroksessa ja voivat kulkeutua salaojavesiin saakka.

Monimutkaisen laskennan tuloksena saadaan päivittäiset arvot valituille ulostuloille. Ulostuloksi voidaan valita esim. pinta- ja salaojavalunnan mukana kulkeutuvan torjunta-aineen määrä ja torjunta-aineen määrä maan eri syvyyksissä.

Monet tekijät vaikuttavat torjunta-aineiden käyttäytymiseen maassa. Mallin antamiin tuloksiin on suhtauduttava kriittisesti. Prosessit ovat monimutkaisia ja mallintaja joutuukin usein toteamaan mallinsa ja omien tietojensa puutteellisuuden. Vaikka mallit eivät aina anna kokeellisesti vahvistettua tulosta, ne mahdollistavat eri aineiden ja erilaisten olosuhteiden välisen vertailun. Mallit myös auttavat hahmottamaan ja ymmärtämään eri tekijöiden välisiä riippuvuuksia.



Kuva 4. Puoliintumisaian ($T_{1/2}$) vaikutus torjunta-aineen huuhtoutumiseen pintavaluntaveden mukana.

Esimerkki puoliintumisaian vaikutuksesta

Seuraava simulointi havainnollistaa puoliintumisaian vaikutusta torjunta-aineen pysyvyyteen ja huuhtoutumiseen pellolta (kuvat 3 ja 4). Esimerkissä on käytetty kolmea torjunta-ainetta syyskuun alussa kaksi viikkoa puinnin jälkeen sängelle. Tehoainemäärä on kaikilla aineilla sama 1,4 kg/ha. Pello on kynnetty lokakuussa ja äestetty toukokuussa. Puoliintumisaajat ($T_{1/2}$) ovat 2 vrk, 47 vrk ja 174 vrk.

Torjunta-aine, jolla on lyhyin puoliintumisaika, hajoaa kokonaan lokakuun loppuun mennessä. Puoliintumisaian ollessa 47 vuorokautta torjunta-ainetta on jäljellä vuoden kuluttua 30 g/ha eli 2 % käyttömäärästä. Kun puoliintumisaika on 174 vrk, maassa on torjunta-ainetta vuoden kuluttua 110 g/ha eli 8 % käyttömäärästä (kuva 3). Kynnön ja kevätmuokkauksen

vaikutukset näkyvät maan pintakerroksen torjunta-ainemäärien nopeana vähenemisenä.

Käsittelyä seuraa kuiva syksy ja torjunta-aine, jonka puoliintumisaika on lyhyin eli 2 vrk, ehtii hajota ennen pinta-valuntaa aiheuttavaa sadetta. Puoliintumisaicaltaan suurinta torjunta-ainetta on maassa eniten, jolloin sitä myös lähtee pintavalunnan mukana eniten (kuva 4).

PESSI:n tulevaisuus

Tällä hetkellä PESSI ennustaa pellossa olevien ja sieltä pintaveden mukana poistuvien torjunta-aineiden määriä. Myöhemmin ohjelma on tarkoitus liittää huuhtoutumismallin yhteyteen, tällöin myös viljelijän omat lohko-kohtaiset simuloinnit mahdollistuvat. Tulevissa versioissa ennustetaan myös torjunta-aineiden kulkeutumista juuriston alapuolelle. Tulevaisuudessa PESSI ottaa kantaa myös torjunta-aineiden ympäristövaikutuksiin.

Kirjallisuus

Laitinen, P. 1997. Toholammin huuhtoutumiskentän torjunta-ainetutkimus. In: Karjatalouden vesistökuormitus: tutkimukset Toholammin huuhtoutumiskentällä, tutkimusseminaari, Toholampi, 5.6.1997. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. p. 8–9.

-, Kurppa, S.-A., & Siimes, K. 1998. Methods for the assessment of the run-off and the leaching of pesticides: a leaching field study. In: Jamet, P. (ed.). Book on Methodology (COST66). (Manuscript)

Rekolainen, S. & Posch, M. 1993. Adapting the CREAMS model for Finnish conditions. *Nordic hydrology* 24: 309–322.

Salo, S., Posch, M. & Rekolainen, S. 1993. PESTYM torjunta-ainemallin käyttöjäopas. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nro 504. 29 p.

Siimes, K. 1998. Torjunta-aineiden huuhtoutumismallin testaus. Pro gradu -tutkielma. Oulun Yliopisto, Fysikaalisten tieteiden laitos, Biofysiikka. 95 p + 20 app.

Tuhkanen, H.-R. 1998. Maan orgaanisen fosforin simulointi ICECREAM-mallilla. Pro gradu -tutkielma. Oulun Yliopisto, Fysikaalisten tieteiden laitos, Biofysiikka. 76 p + 41 app.

Kauran laatu ja lajikejalostus: kauran uudet käyttömuodot teollisuuden eri sektoreilla

Marketta Saastamoinen

Ei saatavissa

Uusia välineitä kauranjalostukseen: kaksoishaploidien tuotanto kauralla

Elina Kiviharju

Maatalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, 31600 Jokioinen

Ominaisuuksiensa suhteen muuntelevasta risteytysjälkeläistöstä voidaan tuottaa yhdessä sukupolvessa täysin puhtaita linjoja soveltamalla kaksoishaploidiaa. Tavallisimmat kaksoishaploidien tuottomenetelmät ovat heteiden ponsien tai eristettyjen siitepölyhiukkasten esivaiheiden (mikrosporien) viljely sekä etäisristeytykset. Menetelmät perustuvat siihen, että tuotetaan kasvi, jolla on sukusolun yksinkertainen eli haploidi perimä. Kun perimä kahdennetaan normaaliksi diploidiksi perimäksi, lopputuloksena on täysin homotsygootti kasvi.

Haploidiajalostuksella on jalostettu lajikkeita yksisirkkaisista lajeista ohralla, vehnällä ja riisillä. Kaksoishaploideja soveltamalla voidaan aikaavievää lajikejalostusohjelmaa lyhentää useilla vuosilla. Jalostus tehostuu myös, koska väistyvätkin geenit dominanssivaihtelun puuttuessa näkyvät ilmiänsä heti. Kaksoishaploidit ovat lisäksi erinomaista materiaalia ominaisuuksien pe-

riytymistä selvittäviin tutkimuksiin sekä kohdesolukoiksi geeninsiirtoon.

Kansallisesti tärkeälle kauralle ei ole ollut saatavissa luotettavaa ponsiviljelymenetelmää kaksoishaploidien tuottoon. Ensimmäiset edistysaskeleet kauran ponsiviljelytutkimuksissamme saavutettiin kauran viljellä sukulaisella, ns. susikauralla. Nyt taimien tuotto onnistuu toistettavasti myös viljellyllä kauralla. Jotta kaksoishaploideja voitaisiin soveltaa kasvinjalostusohjelmassa, täytyy taimien tuottotehokkuutta nostaa ja saada menetelmä kattamaan mahdollisimman laajan genotyypivalikoiman. Tavoitteena on, että soveltamalla kaksoishaploideja tulevaisuudessa voitaisiin lisätä myös kauran lajikejalostuksen valmiutta reagoida viljelijöiltä, teollisuudelta ja kuluttajilta tuleviin uusiin haasteisiin ja vaatimuksiin.

Avainsanat: Avena sativa, haploidi, haploidiajalostus, bedeviljely, ponsiviljely, mikrospori, solukkoviljely

New tools for oat variety breeding: production of doubled haploids in oats

Abstract

The doubled haploid method enables pure homozygous lines to be produced from heterozygous crossing progeny in one generation. Commonly used methods for producing doubled haploids include anther or microspore culture and wide crosses, in which the haploid plant is regenerated from the sex cell of only one parent. A fully homozygous plant is then obtained by doubling the genome.

New cultivars have been bred using haploid breeding in cereals such as barley, wheat and rice. The approach shortens the time needed to breed cultivars through immediate fixation of the genotypes. Some improvement in breeding efficiency may also

be achieved. Moreover, doubled haploids can be used in breeding research and gene technology approaches.

No reliable and efficient method is yet available for producing doubled haploids in oats. In our study, we have initiated green plants from the anther cultures of cultivated oats. Efforts continue to improve the efficiency of plant production and to overcome the strong genotype dependency of the method. The goal is that breeders of oats will eventually be able to exploit the efficiency of haploid breeding to respond to the demands of farmers, industry and consumers in long-term breeding work.

Key words: anther culture, Avena sativa, haploid, haploidy breeding, microspore culture, tissue culture

Johdanto

Tänä päivänä biotekniikka tarjoaa uusia välineitä kasvinjalostuksen avuksi. Yksi jo laajasti käytetty menetelmä on kaksoishaploidien soveltaminen. Niin sanotun haploidiajalostuksen avulla uusien lajikkeiden tuottamista on mahdollista nopeuttaa ja tehostaa huomattavasti. Yksisirkkaisilla lajeilla lajikkeita on tuotettu haploidiajalostusta hyväksikäyttäen mm. ohralla (Ho & Jones 1980), vehnällä (De Buyser et al. 1987, Pauk et al. 1995) ja riisillä (Croughan et al. 1985). Kotimainen Boreal Suomen Kasvinjalostus hyödyntää kaksoishaploideja ohran ja vehnän lajikkeenjalostusohjelmassa.

Mitä kaksoishaploidit ovat?

Haploidit ovat kasveja, joilla on ainoastaan toisen vanhemman sukusolusta peräisin oleva yksinkertainen perimä. Kaksoishaploideja saadaan, kun tämä haploidi perimä kahdennetaan. Tällöin kromosomiluku palautuu normaaliksi (diploidi) ja saadaan kasvi, jonka vastinkromosomeissa on täsmälleen samanlaiset perintötekijät. Kaksoishaploidit ovat siis perimältään täysin yhtenäisiä (homotsygootteja).

Kaksoishaploidien tuottomenetelmät

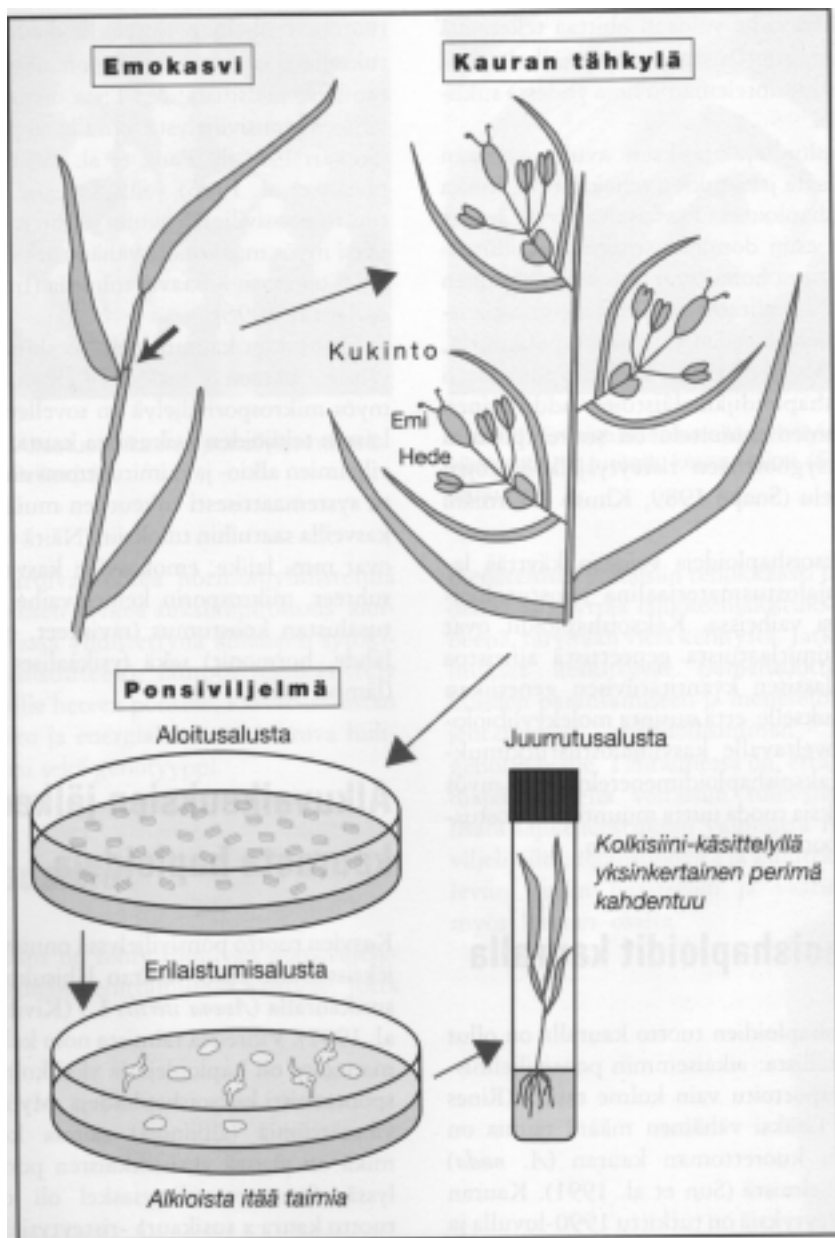
Sukusolut sisältävät vain puolet normaalista perintöainemäärästä ennen yhtymistään hedelmöityksessä. Haploideja kasveja voidaan tuottaa varhaisen kehitysvaiheen siitepölyhiukkasista (ponsiviljely tai mikrosporiviljely) tai munasoluista keinotekoisilla ravintoalustoilla.

Ponsiviljelyssä siitepölyhiukkasten esivaiheita eli mikrospreja sisältävät heteen ponnet eristetään ravintoalustalle, jolla mikrospreista kehittyvä siitepölyhiukkasen sijasta alkioita (kuva 1). Tämä perustuu kasvisolujen kaikkivoipaisuuteen: jokainen yksittäinen solu sisältää informaation kokonaisen kasvin kasvattamiseksi. Mikrosporeista kehittyneet, haploidin perimän sisältävät alkiot siirretään ravintoalustoille, jotka edistävät alkioiden itämistä taimiksi. Taimet juurrutetaan vielä juurrutusalustalla ja siirretään sen jälkeen multaan kasvihuoneeseen kasvamaan. Perimä voi tullaantua itsestään, jolloin saadaan suoraan kaksoishaploideja, muussa tapauksessa se kahdennetaan käsittelemällä nuoret taimet kolkisiinilla. Niin sanotussa mikrosporiviljelyssä mikrosporit eristetään heteen ponista ja viljellään nestemäisessä ravintoalustassa.

Kaksoishaploideja tuotetaan myös niin sanottujen etäisristeytysten avulla. Pölytys vieraalla lajilla käynnistää alkionkehityksen, mutta siitepölyn perimä eliminoituu jatkossa jättäen kehittyvälle alkiolle vain munasolun haploidin perimän. Esimerkiksi ohralla haploideja/kaksoishaploideja voidaan tuottaa villiohraristeytyksin (*Hordeum bulbosum* L.) (Kasha & Kao 1970), vehnällä ja kauralla maissiristeytyksin (Laurie et al. 1990, Rines & Dahleen 1990).

Kaksoishaploidien käyttö lajikejalostuksessa

Kun risteytetään kaksi eri lajikkeen kasvia keskenään, kehittyvään siemenalkioon tulee puolet perintötekijöistä (haploidi annos) siitepölyhiukkasesta ja vastaava annos munasolusta. Muodostuva jälkeläinen saa siis perintötekijöitä sekä isältä että äidiltä, jolloin siitä tulee perimältään heterotsygootti, jonka jälkeläiset vaihtelevat vanhemmilta saatujen ominaisuuksien suhteen. Tällä tavalla luodaan muuntelua jalostusaineistoon.



Kuva 1. Kauran ponsiviljelyn vaiheet. Heteen ponnet eristetään ravinne- ja hormonipitoisuuksiltaan optimoidulle aloituslustralle. Muodostuvat alkioit idätetään taimiksi erilaistumisalustoilla ja juurrutetaan hormonittomalla juurutusalustalla. Perimä kahdennetaan kolkisiinikäsittelyllä, ellei spontaania kahdentumista ole tapahtunut. (Elintarviketuotanto & ympäristö 1998, Piirros: Liisa Kallio.)

Itsesiittoisen lajikkeen täytyy kuitenkin olla perimältään yhtenäinen (homotsygootti) eli puhdas linja. Perinteisessä kasvinjalostuksessa halutut ominaisuudet omaavia risteytysjälkeläisiä lisätään (itsesiitetään) 4–6

vuotta perimän yhtenäistämiseksi. Jokaisessa itsesiitossukupolvessa perimän heterotsygotia vähenee puolella. Kaksoishaploidien kasvinjalostusta tehostava vaikutus perustuu pääosin siihen, että tämä sukupol-

vikasvatusvaihe voidaan ohittaa tekemällä heterotsygoottisista risteytysjälkeläisistä puhdas muuntelematon linja yhdessä sukupolvessa.

Haploidiajalostuksen avulla voidaan myös lisätä jalostuksen tehokkuutta, koska kaksoishaploidissa kasvissa väistyvät geenit tulevat esiin dominanssivaihtelun puuttessa. Nopea homotsygotian saavuttaminen lisää sekä kvalitatiivisten että kvantitatiivisten ominaisuuksien valinnan tehokkuutta, koska absoluuttisen homotsygoottisten kaksoishaploidijälkeläistojen additiivinen geneettinen muuntelu on suurempi kuin heterotsygoottisten risteytysjälkeläistojen muuntelu (Snape 1989, Khush & Virmani 1996).

Kaksoishaploideja voidaan käyttää lajikkeenjalostusmateriaalina jalostusohjelman eri vaiheissa. Kaksoishaploidit ovat myös ainutlaatuista geneettistä aineistoa sekä klassisen kvantitatiivisen genetiikan tutkimukselle että uusinta molekyylibiologiaa soveltavalle kasvinjalostustutkimukselle. Kaksoishaploidimenetelmä lisää myös valmiuksia tuoda uutta muuntelua jalostusaineistoon bioteknisin keinoin.

Kaksoishaploidit kauralla

Kaksoishaploidien tuotto kauralla on ollut ongelmallista: aikaisemmin ponsiviljelmistä on raportoitu vain kolme tainta (Rines 1983). Lisäksi vähäinen määrä taimia on tuotettu kuorettoman kauran (*A. nuda*) ponsiviljelmistä (Sun et al. 1991). Kauran etäisristeytyksiä on tutkittu 1990-luvulla ja haploideja/kaksoishaploideja taimia on onnistuttu tuottamaan toistettavasti käyttäen maissia pölyttäjänä, tosin onnistumisprosentit ovat myös etäisristeytyksissä olleet alhaisia (Rines & Dahleen 1990).

Maatalouden tutkimuskeskuksen (MTT) kasvinjalostajat ovat tehneet kaksoishaploiditutkimusta yhteistyössä Boreal Suomen Kasvinjalostuksen ja Helsingin yliopiston kasvintuotantotieteen laitoksen tutkijoiden kanssa. Tavoitteena on ollut

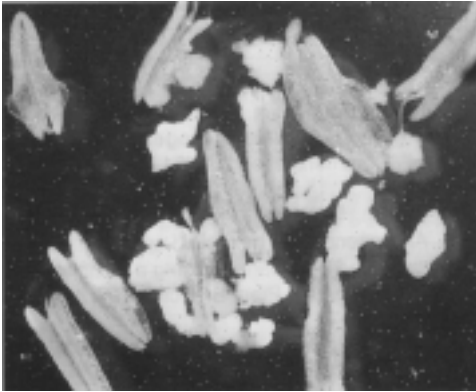
tuottaa työkalu perinteiselle kauranjalostukselle ja siten tehostaa suomalaisen kauran lajikejalostusta. MTT:ssa on perinteitä viljojen ponsiviljelystä ohralla ja vehnällä (Sorvari 1986ab, Pauk et al. 1991, Puolimatka et al. 1996), joilla kaksoishaploidituotto ponsiviljelyn avulla toimii hyvin. Lisäksi myös maailmalla vähän tutkitulla rukiilla on saatu lupaavia tuloksia (Immonen & Anttila 1996).

Työssä on kauran osalta keskitytty erityisesti heteen ponsien viljelyyn, mutta myös mikrosporiviljelyä on sovellettu. Eri laisten tekijöiden vaikutusta kauran ponsiviljelmien alkio- ja taimituottoon on tutkittu systemaattisesti tukeutuen muilla viljakasveilla saatuihin tuloksiin. Näitä tekijöitä ovat mm. lajike, emokasvien kasvatusolosuhteet, mikrosporin kehitysvaihe, kasvatusalustan koostumus (ravinteet, energialähde, hormonit) sekä fyysikaaliset tekijät (lämpö, valo).

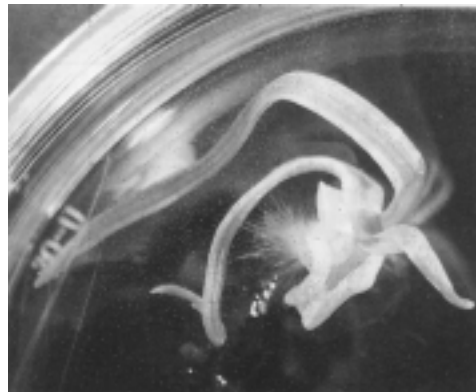
Alkuvaikeuksien jälkeen kaurasta haploideja

Kasvien tuotto ponsiviljelyssä onnistui projektissamme ensin kauran lähisukulaisella susikauralla (*Avena sterilis* L.) (Kiviharju et al. 1997). Vihreistä taimista noin kaksi kolmannelta oli haploideja ja yksi kolmannes spontaanisti kaksoishaploideja. Myös lehtivihreättömiä (albiinoja) taimia kehittyi, mikä on yleistä yksisirkkaisten ponsiviljelyssä. Seuraava edistysaskel oli taimien tuotto kaura x susikaura -risteytysjälkeläisten ponsiviljelmistä. Lisätietoa kertyi, mutta varsinaisia kauran ponsiviljeltyjä taimia saatiin odottaa viime vuodenvaihteeseen saakka. Ongelmana oli erityisesti ponsiviljelyllä tuotettujen alkioiden itäminen taimiksi (kuva 2). Nyt taimien tuotto on toistettu norjalaisella Kolbu-lajikkeella (kuva 3) ja lisäksi kahdella muulla lajikkeella on tuotettu ensimmäiset taimet.

Menetelmä on monen tekijän summa. Tärkeiksi vaiheiksi kauran ponsiviljelyssä



Kuva 2. Alkiotuotto kauran ponsiviljelmässä. (Elina Kiviharju)



Kuva 3. Erilaistumisalustalla kehittyvä ponsiviljelyn kautta tuotettu kauran taimi. (Elina Kiviharju)

osoittautuivat oikea hormoniyhdistelmä (suhteellisen korkea auksiinipitoisuus aloitus- alustassa yhdistettynä alhaiseen sytokiini- niinipitoisuuteen), lämpöstressikäsittely eristetyille heteen ponsille, kasvatusalustan olomuoto ja energialähteenä toimiva hiili- hydraatti sekä genotyyppi.

Loppusanat

Päänavaus on tehty toimivan ponsiviljely- menetelmän kehittämisessä kauralle. Jotta

menetelmää voitaisiin tehokkaasti ja talou- dellisesti käyttää lajikkeenjalostuksen väli- neenä, tarvitaan vielä kehitystä. Jatkotutki- mukset keskittyvät taimentuottotehok- kuuden parantamiseen ja menetelmän laa- jentamiseen mahdollisimman monille genotyypeille. Tähtäimessä on, että haploi- diajalostuksella voitaisiin tulevaisuudessa lisätä lajikejalostuksen valmiutta reagoida viljelijöiltä, teollisuudelta ja kuluttajilta tu- leviin uusiin haasteisiin ja vaatimuksiin myös kauran osalta.

Kirjallisuus

- Croughan, T. P., McKenzie, K. S. & Pizzolatto, M. M.** 1985. The use of anther culture to expedite the breeding and release of new variety of rice. Louisiana: Agricultural Experimental Station. Annual ProgressReport 77: 64–65.
- De Buyser, J., Henry, Y., Lonnet, P., Herzog, R. & Hespel, A.** 1987. 'Florin': A doubled haploid wheat variety developed by the anther culture method. *Plant Breeding* 98: 53–56.
- Elintarviketuotanto & ympäristö 1998. Biotekninen läpimurto Jokioisissa. Terveyskaura hypähti jo vuosia lähemmäs kuluttajaa. 1/1998: 18.
- Ho, K.M. & Jones, G.E.** 1980. Mingo barley. *Canadian Journal of Plant Science* 60: 279–280.
- Immonen, S. & Anttila, H.** 1996. Success in anther culture of rye. *Vorträge für Pflanzenzüchtung* 35: 237–244.
- Kasha, K.J. & Kao, K.N.** 1970: High frequency of haploid production in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Nature* 225: 874–876.
- Kiviharju, E., Puolimatka, M. & Pehu, E.** 1997. Regeneration of anther-derived plants of *Avena sterilis*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 48: 147–152.
- Khush, G.S. & Virmani, S.S.** 1996. Haploids in plant breeding. In: Jain, S.M., Sopory, S.K. & Veilleux, R.E. (eds.). *In Vitro* haploid production in higher plants. The Netherlands. Kluwer Academic Publishers. 1: 11–33. ISBN 0-7923-3577-5.
- Laurie, D.A., O'Donoghue, L.S. & Bennett, M.D.** 1990. Wheat x maize and other wide sexual hybrids. In: Gustafson, J.P. (ed.). *Gene manipulation in plant improvement II. Proceedings of the 19th Stadler Genetics Symposium*, Columbia, Missouri, USA, March 13-15 1989. New York, Plenum Press. p. 95–125.
- Pauk, J., Kertesz, Z., Beke, B., Bona, L., Csösz, M. & Matuz, J.** 1995. New winter wheat variety: 'GK Délibáb' developed via combining conventional breeding and *in vitro* androgenesis. *Cereal Research Communication* 23: 251–256.
- , **Manninen, O., Mattila, I., Salo, Y. & Pulli, S.** 1991. Androgenesis in hexaploid spring wheat F₂ populations and their parents using a multiple-step regeneration system. *Plant Breeding* 107: 18–27.
- Puolimatka, M., Laine, S. & Pauk, J.** 1996. Effect of ovary co-cultivation and culture medium on embryogenesis of directly isolated microspores of wheat. *Cereal Research Communications* 24: 393–400.
- Rines, H.W.** 1983. Oat anther culture: Genotype effects on callus initiation and the production of a haploid plant. *Crop Science* 23: 268–272.
- & **Dahleen, L.S.** 1990. Haploid oat plants produced by application of maize pollen to emasculated oat florets. *Crop Science* 30: 1073–1078.
- Snape, J.W.** 1989. Doubled haploid breeding: theoretical basis and practical applications. In: Mujeeb-Kazi, A. & Sitch, L.A. (eds.). *Review of advances in plant biotechnology, 1985-88. 2nd International Symposium on Genetic Manipulation in Crops*, Mexico, D. F. Mexico and Manila, Philippines: CIMMYT and IRRI. p. 19–30. ISBN 968-6127-34-8.
- Sorvari, S.** 1986a. The effect of starch gelatinized nutrient media in barley anther cultures. *Annales Agriculturae Fenniae* 25: 127–133.
- 1986b. Comparison of anther cultures of barley cultivars in barley-starch and agar gelatinized media. *Annales Agriculturae Fenniae* 25: 249–254.
- Sun, J.-S., Lu, T.G. & Söndahl, N.R.** 1991. Anther culture of naked oat and the establishment of its haploid suspension cell. *Acta Botanica Sinica* 33 (6): 417–420.

Kestääkö maa?

Viljelyvarmuus ja maan rakenne

Erkki Aura

Maatalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, 31600 Jokioinen

Viljelyn tehostuessa ja satotason noustessa on maan rakenteen merkitys tullut peltoviljelyssä yhä keskeisemmäksi. Yksipuolinen viljan viljely ja koneiden jatkuva painon nousu tehokkuusvaatimusten voimistuessa lisäävät riskiä, että makrohuokoston tilavuus ja tiheys peltomaassa pienenee. Makrohuokosten määrän väheneminen huonontaa juuriston kasvua, heikentää kasvin veden ottoa ja alentaa lannoitteena annettujen ravinteiden hyväksikäyttöastetta. Hyvin kehittyneellä makrohuokostolla on keskeinen merkitys maan kaasun vaihdolle kosteissa oloissa ja salaojien kyvyllä kuivattaa maasta pois liika vesi. Makrohuokosto säätelee sateisena aikana veden liikeratoja

maassa ja samalla veden pintavirtausten määrää. Siten makrohuokoston laatu vaikuttaa maan kykyyn toimia ravinteiden ja erodoituneen maa-aineksen suodattimena. Makrohuokoston huononemista voidaan estää pienentämällä koneista maahan kohdistuvaa räsitusta yhdistelmäkoneratkaisuin, vähentämällä renkaiden pintapainetta ja välttämällä hyvin suuria akselipainoja. Erityistä huomiota on kiinnitettävä lierojen ja eri kasvien juuriston maata muokkaavaan vaikutukseen. Siirryttäessä vähennettyyn muokkaukseen joudutaan turvautumaan entistä enemmän maan omiin prosesseihin maan huokoston kunnan ylläpidossa.

Avainsanat: maan tiivistyminen, makrohuokosto, ravinteiden hyväksikäyttö, salaojasto, vähennetty muokkaus

Maintenance of soil structure in intensive cultivation

Abstract

Intensive cultivation emphasizes the role of soil structure in determining the yield levels and profitability of Finnish agriculture. Crop production without plant rotation, coupled with the increasing weight of farm machinery, increases the risk of soil structural degradation. The decrease in the volume and density of soil macropores impairs root growth, reduces water uptake by plants and results in lower recovery of applied nutrients. In moist conditions, aeration of the soil and oxygen intake by the root system depend on soil macroporosity. Soil structure affects the efficacy of the drainage system. During rainy weather, macropores determine the routes of water

streaming through the soil and hence the abundance of surface water affecting the leaching of plant nutrients and erosion. Soil macroporosity can be improved by reducing the number of passes made by the tractor, for instance, by using combine machines for tillage, fertilizer application and sowing. Soil structure can be preserved by the use of tyres with low ground contact stress and by avoiding high axle loads. Natural amelioration of the soil structure by biological tillage, employing earthworms and cultivation of plants with deep root systems merits more attention in research and in practice.

Key words: drainage, macroporosity, nutrient uptake, reduced tillage

Johdanto

Sadon suuruus ja laatu riippuvat paljolti veden, hapen ja mineraaliravinteiden kulkeutumisesta kasvualustassa kasvin juuristoon. Raaka-aineiden riittävä virtaaminen juuristoon on mahdollista vain maassa, jonka rakenne on säilynyt hyvänä. Jos maassa on epäedullinen huokosjakautuma, maan mekaaninen vastus estää juuriston kehittymisen normaalisti. Kasvi kärsii huonon maan rakenteen vuoksi kosteana aikana hapen puutteesta ja kuivana aikana veden puutteesta.

Suomen maaperä sisältää luonnostaan vähän kasveille käyttökelpoisia ravinteita ja vaatii monasti kalkitusta happamuuden vähentämiseksi. Tämän vuoksi maaperätutkimuksissa Suomessa kiinnitettiin aluksi huomio lähinnä maan pH-arvoon ja ravinteisiin. Vasta Heinosen toimesta Suomessa alettiin 1950- ja 1960-luvuilla tutkia systemaattisesti viljelymaan rakennetta. Heinosen ensimmäinen laaja työ koski veden energiasuhteita ja huokosrakennetta suomalaisissa viljelymaissa (Heinonen 1954). Hyvin merkittävä oli Pohjanheimon ja Heinosen (1960) tutkimus, jossa osoitettiin, että hieta- ja hiesusavimailla kilpajuoksu kevätiljan juuriston kasvun ja savimaan kuivumisen välillä määrää Etelä-Suomessa suuressa määrin satotason. Maan kuivuessa mekaaninen vastus estää helposti juuriston kasvun. Nimenomaan riittävän aikaisin tehty onnistunut kylvö tuottaa savimailla hyvän tuloksen. Myöhemmin Heinonen selvitti Ruotsissa monipuolisesti, kuinka viljelytekniikkaa kehittämällä voidaan parantaa savimaissa viljeltävien kasvien vesitaloutta ja samalla lannoitteena annettujen ravinteiden hyväksikäyttöä (Heinonen 1985). Hyvällä syyllä voidaan maan rakennetta tarkasteltaessa puhua Heinosen kylvöalustamallista. Suomessa Heinosen töitä jatkoi Elonen (Elonen et al. 1967), joka tutki nimenomaan maan kosteuden merkitystä kevätiljojen kasvulle ja ravinteiden saannille. Kylvötekniikan kehittyminen ja sijoituslannoituksen yleistyminen 1970-lu-

vulla olivat suuria edistysaskeleita käytännön viljanviljelyssä Suomessa. Maan rakenteen ja maaperäfyysiikan tutkiminen jäivät aluksi vähemmälle huomiolle. Viljelytekniikan edelleen kehittyessä alettiin kuitenkin uudestaan oivaltaa maan rakenteen keskeinen merkitys kasvintuotannossa.

Monokulttuuri ja koneellistuminen aiheuttavat ongelmia

Sokerijuurikkaan tutkimuskeskuksessa kiinnitettiin jo 1970-luvun alussa huomiota koneiden maata tiivistävään vaikutukseen ja vuoroviljelyn merkitykseen (Aura 1974). Tutkimusten perusteella päädyttiin suosittelemaan paripyörien käyttöä traktoreissa sokerijuurikkaan kevätkuokkauksessa ja -kylvössä. Sokerijuurikkaan tutkimuskeskuksessa kehitettiin myöhemmin yhden ajokerran systeemi (muokkaus, lannoitus ja kylvö) sokerijuurikkaan kevättöihin. Menetelmä vähentää tehokkaasti koneiden maata tiivistävää vaikutusta (Raininko 1988, Erjala 1991). Myös kevätiljalla alettiin selvittää traktorin tiivistävää vaikutusta kevättöissä (Elonen 1978). Tuloksena oli, että normaali traktorilla ajo laskee jonkun verran satotasoa savimailla, mutta maa toipuu pian tallaamisesta. Myöhemmin 1970-luvulla suoritettiin Maatalouden tutkimuskeskuksen (MTT) tutkimusasemilla laajat tiivistämiskokeet käyttäen kevättöissä noin 3000 kg:n painoisia traktoreita. Samalla tutkittiin leveikepyörien vaikutusta maan rakenteeseen (Aura 1983). Huokosmittaukset osoittivat, että tehtäessä kevättyöt normaaliin aikaan silloista konetekniikkaa käyttäen, tiivistyy lähinnä vain ruokamultakerros, joka elpyy nopeasti tiivistämisestä. Paripyörillä voidaan kuitenkin välttää maan pintakerrosten tiivistymistä. Tutkimukset vaikuttivat osaltaan paripyörien käytön yleistymiseen sokerijuurikkaan vil-

jelyssä 1970-luvulla ja viljan viljelyssä 1980-luvulla.

Vaikka maan tiivistyminen ei aluksi näyttänyt pahalta ongelmalta, epäiltiin kuitenkin suurten akselipainojen (yli 8 Mg) vahingoittavan pysyvästi maan rakennetta. Suuret akselipainot tiivistävät ruokamultakerroksen lisäksi myös pohjamaata voimakkaasti. MTT:ssa kansainvälisenä yhteistyönä tehdyt kenttäkokeet osoittivat, että maan sadontuottokyky toipuu suurten akselipainojen rasituksesta hyvin hitaasti (Häkansson et al. 1987). Pelloilla voidaan ajaa varomattomasti peräkärryn tai lannanlevittimen kanssa, jolloin suuret kuormat vahingoittavat maan rakennetta. Myöhemmin Alakukku (1997) selvitti MTT:ssa perusteellisesti suurten akselipainojen pitkäaikaisista vaikutuksista pohjamaan rakenteeseen. Maan rakennemittaukset vahvistivat käsitystä, että pohjamaa toipuu hyvin hitaasti tiivistymisvaurioista. Koneiden jatkuva painon lisäys voi tulevaisuudessa olla kehittyneissä maissa merkittävä peltomaiden kunnon heikentäjä. Myös vihannesviljelyssä epäiltiin koneiden tiivistävän maata liian paljon. Tämän vuoksi MTT:ssa tehtiin laajakohtainen tutkimus yhteistyössä Helsingin yliopiston kanssa maan tiiviyksasteen vaikutuksesta porkkanan kehitykseen ja laatuun. Tulosten mukaan lievällä maan tiivistymisellä on edullinen vaikutus porkkanan kehittymiseen, mutta voimakasta maan tiivistämistä on vältettävä, koska se lisää epämuodostuneiden porkkanoiden osuutta juuressadossa (Pietola 1995).

Suomessa salaojatyö on ollut perinteisesti korkealaatuista. Kuitenkin viljelijät alkoivat 1980-luvulla valittaa salaojien huonoa toimivuutta. Osasyynä salaojien hitaaseen kuivatustehoon epäiltiin maan tiivistymistä. MTT:ssa alettiin 1980-luvun puolivälissä tutkia kenttäkokein ojataknisten ratkaisujen lisäksi maan rakenteen vaikutusta salaojien toimintaan. Tutkimuksissa todettiin, että erityisesti salaojakaivannon peitemaan rakenteella on ratkaiseva vaikutus ojien kykyyn kuivattaa maa liiasta vedestä (Aura 1989). Myös turvemaidella on ongelmia salaojien toimivuudessa (Mylly

1998). Turve pystyy varastoimaan runsaasti vettä verrattuna muihin maalajeihin. Tämän vuoksi turvemaa on sateisena kesänä helposti liian märkää eikä kanna maatalouskoneita. Pitkälle hajonneissa turpeissa voi vedenjohtokyky olla alhainen, mikä hidastaa veden valumista ojiin. Turvemaidelle sopii parhaiten viljeltäväksi monivuotinen nurmi, joka jo kasvukauden alussa kuivattaa tehokkaasti kasvualustaa.

Viljelyongelmien ratkaiseminen näkemällä maan rakenne osana kokonaisuutta

Laskennan tehostuessa tietokoneiden ansiosta on ollut mahdollista kytkeä maaperäfyysiikka entistä paremmin kasvifysiologiaan. Karvonen (1988) liitti Suomessa ensimmäisenä matemaattisen mallintamisen avulla kvantitatiivisesti toisiinsa salaojatekniikan, maan fysikaaliset ominaisuudet ja kasvin sadonmuodostuksen. Myös MTT:n salaojatuutkimuksissa teknisten ratkaisujen (ojaetaisyys ja -syvyys) ja maan rakenteen vaikutukset (vedenjohtokyky ja makrohuokokset maan eri kerroksissa) pystyttiin kvantitatiivisesti yhdistämään elementtilaskennan avulla (Aura 1995). Mallintaminen selkeytti huomattavasti kuvaa eri tekijöiden merkityksestä salaojien toimintahäiriöissä. Suuri edistysaskel maan rakennemittauksissa oli rakennenyttöiden ottoon tarkoitettujen traktorikäyttöisen laitteiston kehittäminen (Pöyhönen et al. 1997a). Fysikaalisia mittauksia varten näytteet on kaivettava muuttamatta maan rakennetta. Koska maa on hyvin heterogeeninen huokoston suhteen, näytteen koon on oltava riittävän suuri.

Minimimuokkausta on MTT:ssa tutkittu laajasti jo 1980-luvulla. Kustannuspaineet viljanviljelyssä ja uudet ympäristötutkimukset 1990-luvulla vaikuttivat minimimuokkauksen leviämiseen Suomessa. Tut-

kimuksessa tiedostettiin pitkäaikaisen aurattoman viljelyn mahdollinen hyödyllinen tai haitallinen vaikutus maan rakenteeseen. Murujen kestävyystestit osoittivat maan pintakerroksen murujen stabiilisuuden lisääntyvän monivuotisen minimimuokkauksen ansiosta verrattuna kyntämällä viljelyyn (Pitkänen 1988). Matalalla minimimuokkauksella on toisinaan negatiivinen vaikutus ruokamultakerroksen kokonaisuukoisuuteen ja makrohuokosten tilavuuteen. Suomessa minimimuokkaus ei kuitenkaan keskimääräisesti laskenut satotasoa, jos juolavehänä pidettiin kemiallisesti kurissa. Pitkäaikaisten kokeiden tärkeä tulos oli kevätiljan parempi kasvu minimimuokatussa maassa kuivana kesänä kynnettyyn maahan verrattuna (Pitkänen 1994). Toisaalta märkinä vuosina aurattomalla viljelyllä oli negatiivinen vaikutus satotasoon. Kustannuksia säästävä minimimuokkaus onnistuu parhaiten, kun maassa on luonnostaan hyvä rakenne. Tähän on käytännössä kiinnitetty aivan liian vähän huomiota. Muokkausta vähennettäessä joudutaan turvautumaan entistä enemmän maan omiin prosesseihin rakenteen hoidossa. Tämän vuoksi muokkaustutkimuksen painopiste on MTT:ssa siirtynyt maan makrohuokoston ja vedenvirtausominaisuuksien mittaamiseen. Koska lierot ovat tärkeä maan makrohuokostoon positiivisesti vaikuttava tekijä, kiinnitettiin huomiota niiden tekemiin huokosiin (Pitkänen & Nuutinen 1995).

Myös MTT:n töissä, joissa selvitettiin raskaiden koneiden vaikutuksia maahan ja sadontuottoon, maan omat huokoisuutta lisäävät prosessit ovat olleet tärkeä tutkimuskohde. Tiiviin maan kuohkeuttaminen mekaanisesti ei osoittautunut Suomen oloissa toimivaksi menetelmäksi (Alakukku & Elonen 1997). Tiivistämistutkimuksissa mitattiin maan biohuokosia eli lierojen ja kasvien juurien tekemien huokosten tiheyttä. Tulosten mukaan suurten akselipainojen haitallinen vaikutus näkyy biohuokosten tiheydessä selvästi vielä 9 vuotta tiivistämisen jälkeen. Vuorottelemalla viljaa nurmen

kanssa voidaan maan elpymistä nopeuttaa (Alakukku 1996).

Traktorin rengasmallien tarjonnan monipuolistuminen on luonut tarpeen selvittää rengasratkaisujen merkitystä maan tiivistymisessä. Maan rakennetta ei heikennä yksinomaan maan pintaan alaspäin kohdistuva paine, vaan pyörien luisto tahtaamalla huonontaa maan pintaosan rakennetta. Koska tehtaot ovat kehittäneet renkaita maan liiallisen tiivistymisen välttämiseksi, on MTT:n rengastutkimuksissa mitattu renkaiden teknisten ominaisuuksien lisäksi koemaan maaperäfysikaalisia ominaisuuksia (Elonen et al. 1995). Tavoitteena on ollut mahdollisimman matala renkaista maahan kohdistuva pintapaine sekä vähäinen pyörien luisto.

Kannattavuuskriisi ja ympäristöongelmat luovat lisää paineita maan rakennetutkimukselle

Nykyinen alhainen tuottajahintataso luo erityisiä paineita maan rakennetutkimukselle. Enää ei sadonmuodostuksen riskitutkimuksessa voida tyytyä selvittämään pelkästään ilmasto- ja maaperätekijöiden tilastollista suhdetta sadon kehitykseen. Nykyaikainen instrumentti- ja laskentateknikka tekevät mahdolliseksi kehittää mekanistisen riskiteorian, joka perustuu aineiden ja energian liikkumiseen ja varastoitumiseen maa-kasvi-ilma -systeemissä. Nykyinen kasvifysiologinen tutkimus on osoittanut kasvin aistivan herkästi maassa alkavan vesipulan tai epäedullisen huokosrakenteen (Tardieu 1994). Sadon tuoton optimointia tarvitaan paitsi viljan, myös heinän viljelyssä.

Paitsi kasvifysiologian, myös tekniikan kehitys vaikuttaa maan rakennetutkimukseen. Tulevaisuudessa satelliittipaikantami-

seen perustuvassa satokarttajärjestelmässä voidaan saada kuva kemiallisen viljavuuden lisäksi maan fysikaalisesta toimivuudesta. Huokossuhteitakin voidaan ehkä mitata nopeasti maatutkan avulla (Haapala 1998). Alhaiset tuottajahinnat pakottavat kehittyneiden maiden viljelijät jatkuvasti suurentamaan koneiden kokoa, mistä voi aiheutua pysyvä maan rakenteen vaurioituminen. Aivan uudenlaisen traktoriteknikan kehittäminen on kuitenkin mahdollista. MTT:ssa on yhdessä Modulaire Oy:n kanssa tutkittu hyvin kevyen, miehittämättömän traktorin käyttöä peltotöissä (Pöyhönen et al. 1997b). Tarkoituksena on kokeilla tekniikkaa, jossa maanviljelijä voisi satelliittipaikannuksen avulla käyttää pellolla yhtä aikaa useata pientä konetta, jolloin työtehon lisääminen ei tuottaisi vaurioita maalle.

Maatalouden luonnolle aiheuttaman kuormituksen vähentämisessä on otettava huomioon maan huokosrakenne. Tämä ohjaa veden liikkumista maassa ja samalla ravinteiden ja eroosioaineksen kulkeutumisen reittejä. Varsinkin pintavirtaukset ovat ympäristölle haitallisia, koska maan huokosten vettä suodattava vaikutus jää pieneksi pintavirtauksessa. Jos pohjamaan makrohuo-

kosto on harva, kuiva maa imee epätasaisesti vettä sateen aikana ja tuloksena voi olla niin sanottu ohivirtaus. Tällöin ravinteet ja eroosioaines kulkeutuvat makrohuokosia pitkin nopeasti ojiin ilman tehokasta suodattusta. Muokkaustapa ilmeisesti vaikuttaa makrohuokoston laatuun ja samalla veden kulkutapaan maassa (Pitkänen 1997). Makrohuokoston hienorakenteeseen on kiinnitettävä erityistä huomiota ympäristötutkimuksessa. Tiheä juurikanava- tai mikrohalkeamaverkosto jakaa veden tasaisesti maahan. Ympäristön kannalta hyvä makrohuokosto on edullinen myös kasvin kehitykselle, koska tiheä makrohuokosto toimii tehokkaana reittinä kaasujen vaihdossa ja tekee mahdolliseksi tiheän juuriston kehityksen. Hyvin kasvanut juuristo parantaa lannoitteena annettujen ravinteiden hyväksikäyttöä vähentäen näin huuhtoutumisriskiä. Tähänastisten kokemusten mukaan maan rakennetutkimukseen panostamalla voidaan ratkaista syntyneitä ongelmia. Tekniikan kehittyessä ja taloudellisen tilanteen muuttuessa nopeasti on tutkijoiden oltava valppaina ja luotava uudenlaisia vastauksia käytännön tarpeisiin.

Kirjallisuus

- Alakukku, L.** 1996. Persistence of soil compaction due to high axle load traffic. II. Long-term effects on the properties of fine-textured and organic soils. *Soil & Tillage Research* 37: 223–238.
- 1997. Long-term soil compaction due to high axle load traffic. 55 p. Academic Dissertation. ISBN 951-729-485-9.
- & **Elonen, P.** 1997. Tiiviin maan syväkuohkeutus. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 30. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 22 p. ISBN 951-729-504-9, ISSN 1238-9935.
- Aura, E.** 1974. Juurikasmaan rakenteen parantaminen. 1. Sokerijuurikkaan menestyminen riippuu suuresti fysikaalisista tekijöistä. *Sason Uutiset* 16(1): 8–10.
- 1983. Soil compaction by the tractor in spring and its effect on soil porosity. *Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland* 55: 91–107.
- 1989. Salaojaston toimivuus savimaissa. Koetoiminta ja käytäntö 46(28.2.1989): 6.
- 1995. Finite element modeling of subsurface drainage in Finnish heavy clay soils. *Agricultural Water Management* 28: 35–47.
- Elonen, P.** 1978. Savimaat talleamiselle arkoja. Koetoiminta ja käytäntö 35(25.4.1978): 20.
- Elonen, E., Alakukku, L. & Koskinen, P.** 1995. Renkaiden vaikutus traktorin vetokykyyn ja maan tiivistymiseen. Vakolan tiedote 69/95. Vihti: Maatalouden tutkimuskeskus, Maatalousteknologian tutkimuslaitos. 28 p. ISSN 0355-1415.
- , **Nieminen, L. & Kara, O.** 1967. Sprinkler irrigation on clay soils in southern Finland. II. Effect on the grain yield of spring cereals. *Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland* 39: 78–89.
- Erjala, M.** 1991. One pass method-the effect on quantity, quality and profitability of sugar beet yield. In: International Institute for Sugar Beet Research. 54th Winter Congress, Bruxelles, 20-21 February 1991. Bruxelles: International Institute of Sugar Beet Research. p. 71–83. ISBN 0367-096X.
- Haapala, H.E.S.** 1997. A radar based method for the measurement of soil properties in site-specific farming. In: 1st European Conference on Precision Agriculture, Warwick, 8-10 September 1997. Warwick: Warwick University. Programme Abstracts (Poster Session 2).
- Heinonen, R.** 1954. Multakerroksen kosteus-suhteista Suomen maalajeissa. *Agrogeologia* Julkaisuja 62: 1–82.
- 1985. Soil magement and crop water supply. 4th ed. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences. 105 p. ISBN 91-576-0052-X.
- Håkansson, I., Voorhees, W.B., Elonen, P., Raghavan, G.S.V., Lowery, B., Wijk A.L.M. van, Rasmussen, K. & Riley, H.** 1987. Effect of high axle-load traffic on subsoil compaction and crop yield in humid regions with annual freezing. *Soil & Tillage Research* 10: 259–268.
- Karvonen, T.** 1988. A model for predicting the effect of drainage on soil moisture, soil temperature and crop yield. Helsinki University of technology, Publications of the Laboratory of Hydrology and water Resources Engineering. 1988/1. 215 p. ISBN 951-754-319-0.
- Myllys, M.** 1998. Soiden viljely. In: Vasander, H. (ed.). Suomen suot. Helsinki: Suoseura ry. p. 64–71. ISBN 951-97826-0-5.
- Pietola, L.** 1995. Effect of soil compactness on the growth and quality of carrot. *Agricultural Science in Finland* 4: 1–237.
- Pitkänen, J.** 1988. Aurattoman viljelyn vaikutukset maan fysikaalisiin ominaisuuksiin ja maan viljavuuteen. Maatalouden tutkimuskeskus. Tiedote 21/88. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. p. 62–162. ISSN 0359-7652.
- 1994. Along-term comparison of ploughing and shallow tillage on the yield of spring cereals in Finland. In: Jensen, H.E. et al. (eds.). Soil tillage for crop production and protection of the environment. Proceedings of the 13th Conference of International Soil Tillage Research Organisation, Aalborg, Denmark, July 24-29.1994. Copenhagen: The Royal Veterinary and Agricultural University and The Danish Institute of Plant and Soil Science. p. 709–716.
- 1997. Water movement trough ploughed and shallow tilled soil blocks. In: *Bibliotheca Fragmenta Agronomica, Agroecological and Ecological Aspects of Soil Tillage* 2B/97: 535–538. PL ISSN 0860-4088.
- & **Nuutinen, V.** 1995. Soil macropores, saturated hydraulic conductivity and earthworm activity on two soils under long-term reduced tillage in southern Finland. *Acta Zoologica Fennica* 196: 251–253.

Pohjanheimo, O. & Heinonen, R. 1960. The effect of irrigation on root development, water use, nitrogen uptake and yield characteristics of several barley varieties. *Acta Agraria Fennica* 95(6): 1–20.

Pöyhönen, A., Alakukku, L. & Pitkänen, J. 1997a. Maanäytteenoton koneellistaminen ja työntutkimus. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 22. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 39 p. ISBN 951-729-489-1, ISSN 1238-9935.

–, **Alakukku, L., Ahokas, J. & Sampo, M.** 1997b. Stresses and compaction caused by a light and conventional tractor in two tillage systems. In: *Bibliotheca Fragmenta Agronomica*,

Agroecological and Ecological Aspects of Soil Tillage 2B/97: 543–546. PL ISSN 0860-4088.

Raininko, K. 1988. Seed bed preparation and simultaneous placement of fertilizer at drilling in one operation to save costs and increase yield. In: *International Institute for Sugar Beet Research, 51st Winter Congress, Bruxelles, 10-11 February 1988*. Bruxelles: International Institute for Sugar Beet Research. p. 23–32. ISSN 0367-096X.

Tardieu, F. 1994. Growth and functioning of roots and of root systems subjected to soil compaction. Towards a system with multiple signalling. *Soil & Tillage Research* 30: 217–243.

Julkaisija



31600 JOKIOINEN

Julkaisun sarja ja numero
Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja.
Sarja A 38

Julkaisuaika (kk ja vuosi)
Elokuu 1998

Tekijä(t)
Riitta Salo (toim.)

Tutkimushankkeen nimi

Toimeksiantaja(t)
Maatalouden tutkimuskeskus

Nimike
Sata vuotta maataloustutkimusta – Mihin tutkimus ohjaa tuotantoa?
Maatalouden tutkimus- ja tuotantopäivät, Jokioinen. 12.–13.8.1998. Esitelmät

Tiivistelmä

Avainsanat

Toimintayksikkö

ISSN 1238-9935
ISBN 951-729-516-2

Tuloksia voi soveltaa luomuviljelyssä

Myynti: MTT tietopalveluyksikkö, 31600 JOKIOINEN
Puhelin (03) 4188 7502
Telekopio (03) 418 8339

Sivuja
87 s.

Hinta
92,60 + alv

Yliopistopaino 1998
ISBN 951-729-516-2
ISSN 1238-9935