

Geenikysymysten kehityspiirteitä tällä vuosituhanalla

J. Tammissola 20.8.2008

- I. Geenitaito muuttuvassa maailmassa
- II. Tehokkuutta bioenergian tuotantoon
- III. Biolääkkeitä kaikille kasvihuoneista?
- IV. Muuntogeeniset elintarvikkeet ja viljelykasvit – eurooppalaisten asenteet ja ostokäyttäytyminen

I. Geenitaito muuttuvassa maailmassa

Tällä vuosituhanalla maailman tilanteessa ja geenitekniikassa on tapahtunut suuria muutoksia.

Ravinnoksi käytettävistä kasvituotteista alkaa olla ajoittain niukkuutta maailmanmarkkinoilla, mikä on nostanut ruoan hintaa merkittävästi. Kun valtiot ovat asettaneet tavoitteita uusiutuviin liikennepolttoaineisiin siirtymiseksi, niiden tuotantoon käytettävät energiakasvit kilpailevat peltoalasta ravinnon tuotannon kanssa. Elintason noustessa lihan kysyntä kasvaa edelleen kehittyvissä maissa, mikä lisää rehujen tuotannon tarvetta.

Väestönkasvun jatkuessa viljaa tulisi tuottaa 50 prosenttia ja lihaa 85 prosenttia enemmän vuoteen 2030 mennessä (WB 2008). Köyhien ihmisten lukumäärä on kääntynyt nousuun, vaikka YK:n kehitystavoitteiden (Millennium Development Goal) mukaan sen tulisi puolittua vuoteen 2015 mennessä. Mikäli ilmasto muuttuu ennusteiden mukaisesti, maataloustuotanto kuitenkin heikkenee maailman tärkeimmillä viljelyalueilla.

Parantamalla tärkeiden ruokakasvien ravintoarvoa Maailman terveysjärjestön suositusten mukaisesti voitaisiin parhaiten kohentaa terveydelle välttämättömien ravinteiden saantia kolmannessa maailmassa, jossa puutostaudit yhä heikentävät terveyttä. Esimerkiksi kehitysmailla tärkeän kassavan huonoja ravinto-ominaisuuksia parannetaan geenimuuntelulla laajassa Bio Cassava Plus -jalostusohjelmassa. Tavoitteena on, että yksi aterialla riittäisi tyydyttämään päivän vitamiini-, mineraali- ja proteiinitarpeen (OSU 2008).

Haasteisiin vastaamiseksi tarvitaan suurta panostusta kasvilajikkeiden tehokkuuden ja ekologisen sietokyvyn parantamiseen. Keskeisiin viljelykasveihin on jalostettava varsinkin kuivan-, kuumien-, suolan-, ja tulvansietoa sekä taudin- ja tuholaiskestävyyttä (WB 2008). Kasvien tuottavuutta ja ekotehokkuutta täytyy parantaa erityisesti biopolttonesteiden tuotannossa (EPSO 2007).

Jalostukseen tarvittavaa geneettistä vaihtelua ei kuitenkaan ole yleensä riittävästi löydettävissä viljelykasvien jalostusaineistoista. Perinteiset jalostusmenetelmät eivät siksi riitä, vaan tärkeiden uusien ominaisuuksien jalostamisessa tarvitaan avuksi uutta geenitietoa ja -taitoa.

Geenitekniikan kehityssuuntia

Tuhansia kasvigeenejä on jo löydetty, joten niitä voidaan yhä useammin hyödyntää geenimuuntelussa. On ryhdytty muun muassa hienosäätämään kasvin omien geenien toimintaa.

Rna-häirinnällä voidaan vaimentaa tai sammuttaa valitun geenin toiminta. Menetelmä palkittiin lääketieteen nobelilla vuonna 2006. Sen avulla voidaan esimerkiksi sammuttaa kasvien myrkkyygeenejä tai jalostaa aromivehänä vaientamalla vehnän tuoksuttomuusgeenit. Kasvinsuojelussa kasvi voidaan geneettisesti ”rokottaa” rna-jaksoilla, jotka tehoavat vain kyseiseen kasvintuhoojaan (tiettyyn virus-, sieni-, bakteeri- tai tuhohyönteislajiin). Tällöin juuri tämä tuhooja ei pysty kasvia vahingoittamaan, mutta suuren tarkkuuden ansiosta torjunta ei haittaa muita eliöitä (GTN 2008).

Kasvin hyötygeenin toimintaa voidaan usein tehostaa jalostamalla siitä kasviin lisäkopio. Esimerkiksi satoisampi riisi kehitettiin tehostamalla jyvän täyttymisgeenin toimintaa (Wang ym. 2008).

Varustamalla geeni sopivalla säätelyosalla se saadaan toimimaan vain halutussa kasvinosassa tai toivottuna aikana. Syötävät puuvillansiemenet jalostettiin sammuttamalla puuvillan myrkkytuotanto valikoivasti vain siemenissä (Sunilkumar ym. 2006). Jyvän täyttymisgeenin toimintaa tehostettiin vain riisin kukassa – muualla kasvissa se olisi haitaksi. Suolankestävä riisi kerää maasta suolaa ja siirtää sen lehtisolujensa jätesäiliöihin (vakuolit), missä se ei kasvia haittaa (Zhao ja Zhang 2006, 2007). Sokeriruokoa jalostetaan sopivaksi selluloosaetanolin tuotantoon viemällä siihen selluloosaa hajottavan entsyymin geeni. Entsyymin tuotanto kasvissa käynnistetään vasta muutama päivä ennen sadonkorjuuta, jolloin se ei hidasta kasvin kasvua (Dale 2007).

Geenin kiinnittymispaikka kasviin voidaan eräissä tapauksissa jo valita ennakolta. Muuntogeeni voidaan myös ohjelmoida leikkautumaan pois kasvukromosomista tietyissä solukoissa, jolloin sitä ei esiinny lainkaan esimerkiksi syötävissä kasvinosissa tai kasvin jälkeläisissä (Ow 2007).

Keinotekoiset minikromosomit ovat tulossa käyttöön maissilla (Carlson ym. 2007). Erillisessä minikromosomissa kasviin voidaan hallitusti ja ilman paikkavaikutusta jalostaa usean geenin paketti esimerkiksi arvokemikaalien ja lääkeaineiden tuotantoa varten.

Kasvin omassa geenissä on valittu yhden tai muutaman dna-emäksen jakso jo voitu korvata halutulla toisella emäsjaksolla eräillä kohdennetun mutageneesin menetelmillä. EU:ssa selvitetään, voitaisiinko jotkut näistä menetelmistä sulkea pois geenitekniikkasäädösten piiristä.

Viitteet

Carlson SR, Rudgers GW, Zieler H, Mach JM, Luo S, Grunden E, Kroll C, Copenhaver GP, Preuss D (2007). Meiotic transmission of an in vitro-assembled autonomous maize minichromosome. *PLoS Genetics* 3: 1965-1974. doi:10.1371/journal.pgen.0030179.

<http://www.plosgenetics.org/article/info:doi%2F10.1371%2Fjournal.pgen.0030179>

Dale J (2007). Cellulosic ethanol: huge potential but challenging. Centre for Tropical Crops and Biocommodities, Queensland Univ. of Technol., Oct. 2007. Presentation 35 p.

<http://www.farmacule.com/news/news10/AusbioBioethanol.ppt>

EPSO (2007). Sustainable Future for Bioenergy and Renewable Products. European Plant Science Organisation Sep. 27, 2007. http://www.epsoweb.org/commun/Bioenergy_Position_Paper_EN.pdf

GTN (2008). Genteknikens utveckling 2007. Gentekniknämnden, Sverige, 2008, 54 s.

http://forskarbloggen.typepad.com/forskarbloggen/files/genteknikens_utveckling2007.pdf

OSU (2008). Fortified Cassava Could Provide A Day's Nutrition In A Single Meal. Ohio State Univ., June 30, 2008, *Science Daily*:

<http://www.sciencedaily.com/releases/2008/06/080630102737.htm#>

Ow DW (2007). GM maize from site-specific recombination technology, what next? *Curr. Opin. Biotechnol.* 18: 115-120. Abstract:

http://www.ars.usda.gov/research/publications/Publications.htm?seq_no_115=210895

Sunilkumar G, Campbell LAM, Puckhaber L, Stipanovic RD, Rathore KS (2006). Engineering cottonseed for use in human nutrition by tissue-specific reduction of toxic gossypol. *PNAS* 103: 18054-18059. <http://www.pnas.org/content/103/48/18054.full.pdf>

Zhao F, Zhang H (2006). Expression of *Suaeda salsa* glutathione S-transferase in transgenic rice resulted in a different level of abiotic stress resistance. *J Agric. Science* 144: 547-554. Abstract:

<http://journals.cambridge.org/action/displayAbstract?fromPage=online&aid=555032>

Zhao F, Zhang H (2007). Transgenic Rice Breeding for Abiotic Stress Tolerance – Present and Future. *Chin J Biotech.* 23: 1-6.

Wang E, Wang J, Zhu X, Hao W, Wang L, Li Q, Zhang L, He W, Lu B, Lin H, Ma H, Zhang G, He Z (2008). Control of rice grain-filling and yield by a gene with a potential signature of domestication. *Nature Genetics* online, Sep. 28, 2008, 5 p., doi: 10.1038/ng.220. Abstract:

<http://www.nature.com/ng/journal/vaop/ncurrent/abs/ng.220.html>

WB (2008). World Development Report 2008. Agriculture for Development. Overview. The World Bank, Washington, DC, 386 p., <http://go.worldbank.org/UIIGDTF9M0> (Press Release), http://siteresources.worldbank.org/INTWDR2008/Resources/WDR_00_book.pdf (Report)

Kasvinjalostuksen yleiskatsauksia

Tammisola (2006a). Biotekniikan uusia ja kehittyviä sovelluksia – Haasteet, mahdollisuudet ja taloudelliset vaikutukset Euroopan maataloudessa. Luento Europarlamentissa 10.10.2006, 57 s. www.geenit.fi/EP101006suom.pdf

Tammisola (2006b). Viljelykasvit ja kasvinjalostus – edistyksen eturivissä kivikaudelta vihreälle aikakaudelle. Jalostusmenetelmiä käsittelevä liite luentoon Europarlamentissa 10.10.2006, 7 s. www.geenit.fi/EP101006LiiteIK.pdf

Tammisola (2008a). Jalostusesimerkkejä, luento, 7.2.2008, 17 s. www.geenit.fi/JalEsim070208.pdf

Tammisola (2008b). Biotaloutta voidaan tehostaa kasvinjalostuksella. Luento 17.12.2008 Eduskunnan tulevaisuusvaliokunnan työryhmässä, 44 s. www.geenit.fi/BioTal171208.pdf

Teeri (2007). Geenitekniikka kasvinjalostuksessa. Kasvinjalostuksen professori Teemu Teeren luento 20.4.2007, 10 s. www.geenit.fi/gm_200407_teeri.pdf

II. Tehokkuutta bioenergian tuotantoon

Jotta uusista energiahasteista selvittäisiin, täytyy biopoltonesteitä voida tuottaa nykyistä paljon energia- ja ekotehokkaammin. Tästä ovat maailman johtavat kasvitutkijat ja myös Euroopan Kasvitiedejärjestö EPSO hyvin yksimielisiä. Euroopan kannalta nykytilanne on haastava, sillä muihin mantereisiin verrattuna meillä tuotettavien viljelykasvien tehokkuus biopoltonesteiden tuotantoa ajatellen on alhainen.

Biodieselin tuotannossa öljypalmu on maankäytön kannalta aivan ylivoimainen Euroopassa viljeltyihin öljykasveihin verrattuna. Bioetanolin tuotannossa taas trooppinen sokeriruoko on Maailman energiajärjestön selvitysten perusteella toistaiseksi lähes ainoa ilmastonmuutoksen torjumisen ja talouden kannalta kestävä vaihtoehto. Kummankaan viljely ei Euroopassa onnistu, joten täällä tulee panostaa voimakkaasti maanosamme kasvien energiatehokkuuden kehittämiseen. Tässä on geenitekniikan hyödyntäminen avainasemassa.

Jotta biodieseliä voitaisiin tuottaa merkittäviä määriä rapsiöljystä, rapsin viljelyala olisi voitava moninkertaistaa Euroopassa. Ottamalla käyttöön möhöjuuritaudille vastustuskykyinen rapsi, jollainen on jalostettu geenitekniikan avulla Kiinassa, voitaisiin EU:n ja Suomen rapsiala viisinkertaistaa. Tästä olisi hyötyä myös Etelä-Suomen viljavaltaisen maanviljelyn monimuotoisuudelle, sillä kukkakasvina rapsi hyödyttäisi pölytyshyönteisten populaatioita.

Keskipitkän tähtäyksen ratkaisuksi toivotaan Suomessa selluetanolin valmistusta metsäntuotannon korjuujätteistä. Se on Suomen oloissa merkittävin selluloosajätteen varanto - peltojen korjuujätteet tai yhdyskuntajätteet eivät pitkälle riitä, toisin kuin eräissä suurissa maatalousmaissa.

Toistaiseksi on kuitenkin epävarmaa, saadaanko selluetanolin tuotanto kehitetyksi niin tehokkaaksi, että se olisi ympäristöllisesti ja taloudellisesti kestävä. Pitkä tie on vielä kuljettavana, sillä selluloosa vaatii nykyisellään ankaria ja hyvin kalliita esikäsitteilyjä, jotta sen pilkkominen entsyymeillä voisi onnistua. Ja entsyymit ovat toistaiseksi erittäin kalliita, joskin geenitekniikan käyttö niiden tuotannossa alentaa kustannuksia.

Sokeriruoko on saamassa selluetanolin tuotannossa etulyöntiaseman, sillä Australian ja Brasilian yhteisessä kehitysprojektissa selluloosaa hajottavat entsyymit tuotetaan käytännössä ilmaiseksi suoraan muuntogeenisen sokeriruo'on solujen sisällä (kasviin jalostetut geenit käynnistetään juuri ennen sadonkorjuuta). Solun sisällä tuotettuna entsyymit ovat myös paljon tehokkaampia selluloosan hajottamisessa kuin ulkoa annettuina. Ruo'osta voidaan näin ensin puristaa pois sokeri (josta tehdään sokerietanolia), ja puristusjätteen selluloosasta valmistetaan sitten selluetanolia.

Sokeriruoko tuottaa yli 200 tonnia biomassaa hehtaarilta, ja kun se kaikki saadaan hyödynnetyksi biopoltonesteiden tuotannossa, parantaa se sokeriruo'on kilpailuasetelmia edelleen ratkaisevasti. Lisäksi sokeriruo'on sokeripitoisuus on onnistuttu kaksinkertaistamaan geenimuuntelulla, mikä parantaa edelleen sen ekotehokkuutta (ja vähentää uuden viljelymaan raivaamisen tarvetta).

Vastaavia suuren luokan parannuksia voitaisiin saada aikaan myös eurooppalaisissa viljelykasveissa, jos energia- ja ekotehokkaan biopoltonestetuotannon kehittämiseen panostetaan riittävästi lähitulevaisuudessa. Kaikkea ei voida kuitenkaan jättää epävarman selluetanolikehityksen varaan, vaan myös nykyisiä viljelykasveja on kehitettävä sopivammiksi näihin uusiin käyttötarkoituksiin. Tämä ei voi onnistua ilman uusimman geneettisen tietotaidon hyödyntämistä. Gm-säädän-

töä ja sen soveltamista on tarkasteltava osittain uudelleen näiden ympäristön suojelemiseksi välttämättömien kehitystoimien tukemiseksi.

III. Biolääkkeitä kaikille kasvihuoneista?

Eliöiden elintoimintojen ymmärtäminen solu- ja geenitasolla on laajentunut ja syventynyt entistä nopeammin tällä vuosituhanella, kun geenitekniset tutkimusmenetelmät ovat tulleet rutiinikäyttöön useimmilla biotutkimuksen alueilla.

Lääketieteessä sairauksien hoitoon kehitetään tämän tietämyksen avulla yhä enemmän solun tai elimistön elintoimintoja ohjaavia, tiettyyn aineenvaihduntareittiin vaikuttavia lääkkeitä. Uusilla tekniikoilla voidaan tuottaa jo aiemmin käytössä olevia lääkkeitä helpommin ja turvallisemmin, ja ennen kaikkea kehittää täsmälääkkeitä uusia hoitoja varten.

Uutena käsitteenä on alettu puhua biolääkkeistä, jollaisia ovat muun muassa hormonit (esimerkiksi insuliini ja kasvuhormoni), vasta-aineet (esimerkiksi tiettyjä tautimikrobeja, kasvainsoluja tai autoimmunireaktioita kuten reumasairauksia vastaan), veren hyytymistekijät (verenvuototauteja sairastaville), interferonit, verisolujen kasvutekijät (esimerkiksi erytropoietiini), äidinmaidon suoja-proteiinit (esimerkiksi laktoferrini) sekä elimistön omat entsyymit (joita puuttuu eräissä perinnöllisissä sairauksissa). Biolääkkeisiin luetaan myös esimerkiksi rokotteet, allergian siedätysproteiinit, geeniterapia sekä soluvalmisteet.

Biolääke tuotetaan useimmiten muuntogeenisellä eliöllä, esimerkiksi bakteerilla, hiivalla, nisäkkösolujen viljelmällä tai kasvilla. Tällöin potilas ei voi saada virus-, bakteeri- tai proteiinitauti-infektioita, jollaiset ovat olleet uhkana aikaisemmin, kun esimerkiksi insuliini saatiin sian haimasta ja kasvuhormoni eristettiin vainajien aivolisäkkeistä.

Uudet tutkimukset avaavat mahdollisuuksia tuottaa rokotteita ja hoitoproteiineja muun muassa kasveissa suuria määriä ja usein merkittävästi edullisemmin kuin perinteisillä keinoilla (Sexton & Ma 2007). Lääkkeitä on jo alettu tuottaa geenitekniikan avulla kasvihuoneissa. Suomalaiset tutkijat ovat kehittäneet syötävää kasvirokotetta porsaiden virusripulin ehkäisyyn (Joensuu ym. 2007). Tällaiset menetelmät saattaisivat jopa nopeuttaa ratkaisevasti täsmärokotteen laajamittaista tuottamista pandemian aiheuttavaa influenssavirusta vastaan.

Esimerkiksi hehtaarin tupakkaviljelmällä voidaan tuottaa miljardi rokoteannosta lintuinfluenssaan, ja kasvattamalla geenitekniikan avulla viruksen kuoriproteiinia sinimailasessa saadaan kehitetyksi koerokote klinisiin kokeisiin jo kuukauden kuluessa uuden viruslinjan eristämisestä (Gleba 2007, Medicago 2008). Kohdunkaulan syövän ehkäisyyn on rokotteita, mutta hinnan kalleuden vuoksi (satoja euroja) niitä ei ole voitu ottaa mukaan kansallisiin rokotusohjelmiin. Tupakassa tuotettuna rokotteen uuden, tehokkaamman version hinnan arvioidaan jäävän 120 kertaa alhaisemmaksi.

Muuntogeenisillä kasveilla voidaan myös valmistaa turvallisia allergiaproteiineja siedätyshoitoja ja allergiarokotuksia varten (Ferreira ym. 2007). Samoin voidaan esimerkiksi kasvattaa äidinmaidon suoja-proteiinia kehitysmaita varten edullisesti riisin tai ohran jyvässä (Rachmawati ym. 2005, Kamenarova ym. 2007).

Diabetes on ylivoimaisesti suurin terveysongelma länsimaissa, mutta se yleistyy myös kehitysmaissa. Insuliinin tarve miltei kolminkertaistuu vuoteen 2012 mennessä, etenkin jos pistoksien käytöstä hoidossa pyritään eroon. Muuntogeenisillä kasveilla insuliinia voidaan valmistaa riittävästi

ja kohtuullisin kustannuksin: 7 500 hehtaarin safflor-viljelmä riittäisi maailman tarpeisiin. Kasvissa tuotetaan insuliinin toimimatonta esiastetta, joten viljelmistä ei olisi haittaa luonnolle (Leino 2007, Koivumäki 2007).

Erityisen nopeasti biolääkkeitä voidaan tuottaa hyödyntämällä virusgeenien tilapäistä ilmentämistä kasvisoluissa (Gleba 2007). Tällöin koerokote esimerkiksi lintuinfluenssaviruksen uutta kantaa vastaan voidaan saada testattavaksi jo kuukauden kuluttua viruslinjan eristämisestä (Medicago 2008). Kasveissa tuottamalla rokotekehitystä voidaan näin nopeuttaa usealla kuukaudella perinteisiin raketuotannon menetelmiin verrattuna, millä saattaa olla ratkaiseva merkitys alkavan pandemian pysäyttämässä (Hemminki 2007).

Perinteinen lääketuotanto on ollut ajautumassa kriisiin, sillä suurten lääkeyhtiöiden uusien lääkkeiden kehityspotket ovat olleet tyhjenemässä. Lääkkeeksi kehiteltävien uusien ehdokasmolekyylien¹ lukumäärä on ollut laskussa jo kauan kaikissa lääkeryhmissä. Ainoan poikkeuksen muodostavat biolääkkeet. Niiden ehdokasmolekyylien lukumäärä kasvaa edelleen – sellaisia on nyt kehitteillä kaikkiaan 3000 – ja prekliinisen vaiheen ehdokasmolekyyleistä bioperäisiä on jo yli 40 prosenttia (Lawrence 2007).

Uusien lääkkeiden hyväksymishakemuksista USA:ssa joka neljäs koskee jo biolääkkeitä (Lawrence 2007). Pysyäkseen mukana tuotekehityksessä suuret lääkeyhtiöt ovatkin ryhtyneet hankkimaan omistukseensa pieniä ja keskisuuria biotekniikan tutkimusyhtiöitä innovaatioineen.

Viitteet

Ferreira F, Schmidt G, Gadermaier G, Ritala A, Obermeyer G (2007). Production of recombinant allergens in plants. *In: Plants for Human Health in the Post-Genome Era*, PSE Congress 26.8.-29.8.2007, Helsinki, p. 37 www.vtt.fi/inf/pdf/symposiums/2007/S249.pdf

Gleba Y (2007). Second generation expression platforms for the high-yield production of proteins. *In: Plants for Human Health in the Post-Genome Era*, PSE Congress 26.8.-29.8.2007, Helsinki, p. 39 www.vtt.fi/inf/pdf/symposiums/2007/S249.pdf

Hemminki A (2007). Geenitekniikka voi helpottaa varautumista pandemiaan. *HS Vieraskynä* 1.2.2007 www.geenit.fi/HS010207Hemm.pdf

Joensuu JJ, Van Molle I, Verdonk F, Kotiaho M, Buts L, Ehrström A, Peltola M, Siljander-Rasi H, Nuutila AM, Oksman-Caldentey K-M, Teeri TH, Bouckaert J, Wyns L, DeGreve H, Panjkar S, Cox E, Goddeeris BM, Niklander-Teeri V (2007). Transgenic plants for animal health: Edible vaccine against piglet ETEC diarrhea. *In: Plants for Human Health in the Post-Genome Era*, PSE Congress 26.8.-29.8.2007, Helsinki, p. 52 www.vtt.fi/inf/pdf/symposiums/2007/S249.pdf

Kamenarova K, Gecheff K, Stoyanova M, Muhovski Y, Anzai H, Atanassov A (2007). Production of Recombinant Human Lactoferrin in Transgenic Barley. *Biotechnol. & Biotechnol. Eq.* 21: 18-27 www.diagnosisp.com/dp/journals/view_pdf.php?journal_id=1&archive=0&issue_id=13&article_id=359&PHPSESSID=ecc942628b544d18c10c97e1b5dd6a63

¹ Ehdokasmolekyyleillä tarkoitetaan sellaisten molekyylien joukkoa, jotka on kelpuutettu jatkotutkimuksiin joidenkin ominaisuuksiensa vuoksi, joilla arvioidaan voivan olla käyttöä lääkinnässä. Vain erittäin pieni osa tuhansista seulottavista aineista päätyy koskaan virallisesti hyväksytyksi lääkeaineeksi. Valtaosa karsiutuu pois jo varhaisessa vaiheessa esimerkiksi haitallisuuden tai puuttuvan tehon vuoksi.

Koivumäki S (2007). Insuliinia saa kohta salaatista. Lähetetty *Helsingin Sanomiin* 30.8.2007
www.geenit.fi/LahHS300807koiv.pdf

Lawrence S (2007). Pipelines turn to biotech. *Nature Biotechnol.* 25: 1342.

Leino R (2007). Kasvit alkavat tuottaa insuliinia. *Tekniikka & Talous* 6.9.2007
www.tekniikkatalous.fi/kemia/article28031.ece

Medicago (2008). Medicago's H5N1 VLP vaccine provides protection against multiple strains of avian flu. Press Release 19.3.2008
www2.medicago.com/upload/MDG%20Challenge%20Vietnam%20release%20Final%20EN.pdf ,
 Creating Self-Assembled Influenza Virus-Like Particles in Plants
www.thepoultrysite.com/poultrynews/13122/creating-selfassembled-influenza-viruslike-particles-in-plants

Rachmawati D, Mori T, Hosaka T, Takaiwa F, Inoue E, Anzai H (2005). Production and Characterization of Recombinant Human Lactoferrin in Transgenic Javanica Rice. *Breeding Science* 55: 213-222 www.jstage.jst.go.jp/article/jsbbs/55/2/213/_pdf

Sexton A, Ma JK-C (2007). Preventing HIV with transgenic plants. *In: Plants for Human Health in the Post-Genome Era*, PSE Congress 26.8.-29.8.2007, Helsinki, p. 36
www.vtt.fi/inf/pdf/symposiums/2007/S249.pdf www.tekniikkatalous.fi/doc.ot?f_id=1219177

IV. Muuntogeeniset elintarvikkeet ja viljelykasvit – eurooppalaisten asenteet ja ostokäyttäytyminen

Euroopassa geenipelot ovat lientymässä tällä vuosituhannella: geeniruoasta on huolestunut enää yksi viidestä eurooppalaisesta. Asia ei ole korkealla ihmisten elintarvikehuolien listalla, ja sijoitus vajoaa edelleen. Terveys- ja ympäristöedut lisäävät muuntogeenisten kasvien hyväksyttävyyttä. Gallupeihin vastataan usein "kaunistellen", mutta ostotilanteessa käyttäydytään tutkimusten mukaan toisin. Euroopan kuluttajat ostavat muuntogeenisiä elintarvikkeita, gallupvastauksistaan riippumatta, kun niitä vain on kotikaupan hyllyillä saatavilla.

1. EU:n ympäristöbarometri 2008

Ympäristöbarometrin (Special Eurobarometer 295) tiedot on kerätty vuonna 2007 (EU 2008a). Kyselyssä tiedusteltiin vastaajien tärkeimpiä huolenaiheita ympäristöasioissa – vastaajat valitsivat huolenaiheensa annetusta luettelosta (mikä yleensä lisää luettelossa mainittujen asioiden esiintymistä vastauksissa verrattuna niiden esiintymiseen vapaavalintaisen kyselyn vastauksissa).

Tämän uusimman eurobarometrin tulosten perusteella ihmiset EU-maissa eivät ole erityisen huolestuneita muuntogeenisten eliöiden käyttämisestä maataloustuotannossa, ja huolestuneisuus on vähenemässä. Huolenaiheena tämä asia² esiintyi vastauksissa sijalla 11 (vuoden 2004 vastaavassa kyselyssä sijalla 10), ja siitä huolestuneita oli nyt joka viides vastaajista (vuonna 2004 joka neljäs).

² Kysymys QF3: Concerned about the use of GMOs in farming

Huolestuneisuus muuntogeenisten eliöiden käyttämisestä maataloudessa liittyy vastausten perusteella merkittävästi gm-tiedon puutteeseen³. Niistä vastaajista, jotka ilmoittivat tietävänsä muuntogeenisten eliöiden käyttämisestä maataloudessa liian vähän, oli siitä huolestuneita 30 prosenttia, kun taas asiaa tuntevista vastaajista oli siitä huolestuneita vain 15 prosenttia.

Geenimuunteluun täysin kielteisesti suhtautuvat vastaajat⁴ olivat useammin kuin muut huolestuneita muuntogeenisten eliöiden käyttämisestä maataloudessa, mutta heistäkin asia huolestutti vain joka kolmatta.

Geenitiedon saatavuus asettaa haasteita viestinnälle

Kun kysyttiin, mistä luettelon asioista vastaajat kokivat tietojensa olevan puutteellisia, muuntogeenisten eliöiden käyttö maataloustuotannossa² mainittiin vuonna 2007 toiseksi useimmin⁵, 34 prosentissa vastauksista. Tiedon puute on jonkin verran korjaantunut, sillä vuonna 2004 sen mainitsi vielä 40 prosenttia vastaajista.

Tietämättömyyttä muuntogeenisten eliöiden käytöstä maataloustuotannossa koettiin yleisimmin Suomessa (58 prosenttia Suomen vastaajista v. 2007).

Julkisesti saatavasta yleistajuisesta geenitiedosta näyttää siis olevan puutetta Suomessa enemmän kuin muissa EU-maissa. Elintarviketurvallisuusvirasto Evira kylläkin tiedottaa EU:n uusista muuntogeenisten tuotteiden lupahakemuksista nettisivuillaan riittävästi, sillä Suomesta lähetetään niistä komissiolle suhteellisesti enemmän yleisön kommentteja kuin useimmista muista EU:n jäsenvaltioista. Yleistajuisia tieteellistä taustatietoa kasvinjalostuksen, kasvintuotannon ja ravinnon laadun biologisista perusteista ei kuitenkaan ole suomeksi helposti saatavilla. Suomen viranomaiset voisivatkin näissä kysymyksissä parantaa toimintaansa kansalaisten tiedontarpeen tyydyttämiseksi.

Minkä viranomaisen vastuulle geenitiedon tuottaminen ja välittäminen sitten parhaiten kuuluisi? Maa- ja metsätalousministeriön viestintästrategiassa viestinnän todetaan kuuluvan jokaisen virkamiehen perustehtäviin. Viestintästrategian mukaan kehitetään vuorovaikutteista kansalaisviestintää, rohkaistaan virkamiehiä osallistumaan aktiivisemmin alan julkiseen keskusteluun, sekä ohjeistetaan asiantuntijoita reagoimaan julkisuudessa esiintyviin kyseenalaisiin ja virheellisiin argumentteihin.

Kansainvälisen kokemuksen perusteella (FSA 2008) yksityiskohtaisen tieteellisen tiedon välittäminen muuntogeenisten kasvien käytöstä elintarviketuotannossa voisi soveltua parhaiten elintarviketurvallisuusviranomaisen (meillä siis Eviran) tehtäväksi. Yhdistyneissä Kuningaskunnissa Food Standards Agency (FSA) on perustamisestaan v. 2000 lähtien hoitanut myös gm-kysymysten tiedonvälityksen tehtäviä. Vuosittaisen kansallisen gallupin mukaan FSA:n tiedonvälitys näyttää saavuttaneen kohderyhmänsä luotettavasti, sillä muuntogeenisistä tuotteista huolestuneiden kansalaisten osuus on UK:ssa pienentynyt tasaisesti: gm-elintarvikkeet ovat ruokaa koskevissa huolenaiheissa enää 14. sijalla, ja niistä huolestuneiden osuus on vähentynyt 20 prosenttiin.

³ Kysymys QF5: Lack of information about the use of GMOs in farming

⁴ Kysymys QF22: Totally opposed to the use of GMOs

⁵ Yleisimmin vastaajat kokivat tietonsa puutteellisiksi kemikaaleista

2. EU:n biotekniikkabarometri 2006

Biotekniikkabarometri (Europeans and Biotechnology) on julkaistu kuusi kertaa – ensimmäisen kerran vuonna 1991 ja viimeksi vuonna 2006 (barometri 64.3, tiedot kerätty vuonna 2005). Viimeisten kymmenen vuoden aikana bioteknologian perustutkimuksessa ja sovelluksissa on tapahtunut dramaattisia muutoksia. Näkyykö se asenteissa?

Barometrin (EU 2006) mukaan ihmiset EU-jäsenvaltioissa suhtautuvat nyt teknologiaan optimistisemmin sekä ovat paremmin selvillä ja luottavat bioteknologiajärjestelmään enemmän kuin vastaavissa aikaisemmissa kyselyissä. Enemmistö katsoo, että vastuu uusista teknologioista kuuluu asiantuntijoille, joiden päätöksenteko perustuu tieteellisiin todisteisiin. Vähemmistö haluaisi lisätä moraalisten ja eettisten tarkastelujen painoarvoa päätöksenteossa.

Bioteknologiaan aktiivisesti tai tarkkaavaisesti asennoituu neljäsosa EU-väestöstä, ja tässä väestönosassa suhtaudutaan muuta väestöä myönteisemmin teknologioihin sekä optimistisemmin niiden yhteiskuntavaikutuksiin.

Kyselyn perusteella sekä lääketieteellistä että teollista bioteknologiaa (esimerkiksi biomuovit ja farmaseuttisten aineiden biotuotanto) kannatetaan EU-maissa laajasti. Suhtautuminen maatalousbiotekniikkaan on sitä vastoin epäilevää ja säilyy todennäköisesti sellaisena, ellei uusissa kasvilajikkeissa ja maataloustuotteissa nähdä kuluttajille aiheutuvia etuja, todetaan barometrin yhteenvedossa.

Odotukset bioteknologian hyödyllisistä vaikutuksista elämän laatuun vähenivät EU:ssa voimakkaasti vuosina 1991–1999. Vuosituhannen vaihteen jälkeen odotukset bioteknologian myönteisistä vaikutuksista ovat sitä vastoin kääntyneet nousuun ja optimismi on palannut vuoden 1991 tasolle. Nyt 52 prosenttia EU-väestöstä uskoo bioteknologian ja geenimuuntelun parantavan ihmisten elämää, ja vain 12 prosenttia uskoo niiden heikentävän elämän laatua. Vastaavat luvut ovat esimerkiksi matkapuhelimille 58 ja 15 prosenttia sekä nanoteknologialle 40 ja 5 prosenttia.

Panostuksen lisäämistä muuntogeenisiin elintarvikkeisiin vastusti 58 ja kannatti 42 prosenttia niistä vastaajista, jotka olivat ottaneet kantaa barometrin keskeisiin gm-kysymyksiin. Kannattajia oli eniten Espanjassa, Portugalissa, Irlannissa, Italiassa, Maltalla, Tsekinmaalla ja Liettuassa.

Muuntogeenisiä elintarvikkeita oltiin barometrin mukaan kuitenkin valmiimpia ostamaan, jos ne olisivat eduksi ympäristölle (49 prosenttia ostaisi, 43 ei), vähentäisivät torjunta-ainejäämiä (51 prosenttia ostaisi, 41 ei) tai toisivat terveysetuja (56 prosenttia ostaisi, 38 ei).

Kyselyssä esitettyihin ostamisperusteisiin asennoiduttiin epäilevimmin Itävallassa, Kreikassa, Unkarissa, Saksassa ja Latviassa.

Tietämys biologian ja perinnöllisyystieteen perusteista

Barometrissä selvitettiin yhteensä kymmenellä kysymyksellä vastaajien tietotasoa biologian ja genetiikan perusteista. Vastausten perusteella EU-maiden väestö on erittäin tietämätöntä genetiikasta ja geenitekniikasta (joskin lievää edistystä on tapahtunut aikaisempiin barometreihin verrattuna). Näissä kysymyksissä tietotaso oli Suomessa parempi kuin useimmissa EU-jäsenmaissa. Hiivasta, kloonauksesta ja kantasoluista suomalaiset sitä vastoin tiesivät vähemmän kuin muiden jäsenvaltioiden vastaajat keskimäärin.

Barometrin perusteella EU-väestöstä 61 prosenttia (suomalaisista 43 prosenttia) uskoo, että tavallisissa tomaateissa ei ole geenejä mutta muuntogeenisissä tomaateissa on. Vastaavasti 67 prosenttia (Suomessa 54 prosenttia) luulee, että ihmisen solut ja geenit toimivat eri tavalla kuin eläinten ja kasvien, ja 70 prosenttia (Suomessa 58 prosenttia) uskoo, ettei eläinten geenien siirtäminen kasveihin ole mahdollista. Muuntogeeniset eläimet ovat aina suurempia kuin muut, luulee puolestaan 57 prosenttia EU-väestöstä (suomalaisista 43 prosenttia).

3. Euroopan kuluttajat ostavat muuntogeenisiä elintarvikkeita

Lokakuussa 2008 julkaistiin laajan eurooppalaisen kuluttajatutkimuksen "Do European Consumers Buy GM Foods" loppuraportti (EU 2008b). Tämä on ensimmäinen laaja tutkimus, jossa verrataan kuluttajien muuntogeenisistä tuotteista antamia Gallup-vastauksia heidän todelliseen ostokäyttäytymiseensä.

Tulokset osoittavat, että mielipidekyselyjen vastaukset eivät kerro juuri mitään kuluttajien todellisesta ostokäyttäytymisestä. Kun muuntogeenisiä elintarvikkeita on saatavilla kaupan hyllyillä, Euroopan kuluttajat ostavat niitä.

Euroopan kyselyissä monet vastaajat ilmoittavat, etteivät aio ostaa gm-tuotteita. Todellisessa osto-tilanteessa elintarvikemyymälässä, ostoskassien sisällön perusteella tarkasteltuna, useimmat näistä samoista vastaajista eivät aktiivisesti välttä muuntogeenisiksi merkittyjä elintarvikkeita.

Vastaavasti "gmo-vapaaksi" merkityn tuotteen ostaneista vain yksi viidestä ilmoitti merkinnän olleen ostoperusteena (kun taas 80 prosenttia ilmoitti ostaneensa tuotteen muusta syystä). Näihin mielipidevastauksiin tosin sisältyy aihepiirin normaali "kaunisteluvirhe" (eli merkinnästä kiinnostuneita lienee todellisuudessa tätäkin vähemmän).

Tutkimus tehtiin 40 000 henkilöllä vuosina 2006–2008 kymmenessä EU-maassa (Tsekinmaa, Viro, Saksa, Kreikka, Alankomaat, Puola, Slovenia, Espanja, Ruotsi ja Yhdistyneet kuningaskunnat). Tutkimus kattoi kaikkiaan 68 muuntogeeniseksi merkittyä elintarviketta sekä eri maista löytyneet "gmo-vapaiksi" merkityt⁶ elintarviketuotteet.

4. Perintötekijät hidastavat uusien ruokien omaksumista

Monissa tutkimuksissa on havaittu, että ihmisten suhtautuminen uusiin ruokiin on usein erilaista, varautuneempaa, kuin heidän suhtautumisensa moniin muihin uusiin tuotteisiin. Suhtautumiseron syytä on pohdittu jo pitkään, ja sen biologinen perusta on selvinnyt äskettäin. Uusien ravintotuotteiden omaksumisessa on näet perintötekijöillä huomattava vaikutus, toisin kuin monissa muissa tuoteryhmissä. Uusien ruokien pelko periytyy, selvisi Kansanterveyslaitoksen kansainvälisissä tutkimuksissa (KTL 2007, Knaapila ym. 2007).

Uusiin ruokiin kohdistuvassa epäluuloisuudessa on – ulkoisten tekijöiden kuten elinolojen ja tiedonsaannin yms. lisäksi – mukana vahva perinnöllinen komponentti. Tämän ominaisuuden periytyvyysaste on 66–69 prosenttia niin Suomen kuin Iso-Britanniankin väestössä. Jäänteinä ihmisen varhaisesta kehityshistoriasta useimmat ihmiset ovat taipuvaisia suhtautumaan uusiin ruokiin epä-

⁶ Kaikki "gmo-vapaa"-merkinnällä varustetut elintarvikkeet otettiin huomioon siitä riippumatta, onko merkintä kyseisessä maassa säädösten mukaan luvallinen vai ei

luuloisesti. Vain pienempi osa populaatiosta on geeniperimänsä ansiosta valmis kokeilemaan uusia ravinnon lähteitä ennen niiden vakiintumista yleiseen käyttöön.

Tämä populaatioiden monimuotoinen käyttäytymismalli on kehittynyt evoluution tuloksena menneinä vuosimiljoonina, jolloin ihmisille tarjoutuvat uudet ruoka-aineet olivat useimmiten terveydelle haitallisia – esimerkiksi myrkyllisiä kasveja tai tauteja kantavia eläimiä. Tällöin oli tarkoituksenmukaista, että vain osa väestöstä oli valmis kokeilemaan mahdollisia uusia ravintolähteitä, kun taas suurempi osa populaatiosta omaksui niitä käyttöönsä vasta nähtyään niiden toimivan hyvin kokeilijoiden käytössä.

Tämä ihmisen esihistoriasta juontuva ennakkoluuloisuus on jäännös, josta on nykyoloissa pikemminkin haittaa – se hidastaa tarpeettomasti terveellisempien uusien ravintotottumusten omaksumista valtaväestössä (KTL 2007).

Miksi ruokapelottelu puree?

Väestössä yleisenä esiintyvä geneettinen taipumus epäluuloisiin ennakkoasenteisiin ruokakäyttäytymisissä antaa myös kaukupohjaa kielteisten väitteiden omaksumiselle uusista ruoka-aineista. Se selittää osaltaan, miksi negatiivinen viestintä pystyy yllättävän helposti syrjäyttämään ihmisten positiivisia näkemyksiä uudentyyppisistä ravintotuotteista. Viestintätutkimuksissa on näet havaittu, että toistuvat negatiiviset väitteet riittävät viemään useimpien kuulijoiden luottamuksen uusien elintarvikkeeseen, vaikka väitteet tulisivat tunnetusti epätieteellisestä lähteestä, ja vaikka rinnalla myös kerrotaisiin myönteiset tieteelliset tulokset (Fox ym. 2002).

Päätelmiä

Ei ole perusteltua jäädä odottelemaan ”ihmisten enemmistön” ennakkohyväksyntää ennen kuin uusia elintarviketuotteita otetaan kaupan valikoimiin, vaan kohtuullinen vähemmistö (vaikkapa 20–30 prosenttia) on tarpeeksi. Ennakkoasenteet uusruokiin eivät näet ole perustasoltaan neutraaleja, vaan suuri osa väestöstä suhtautuu perinnöllisistä syistä uusiin elintarvikkeisiin ennakkoluuloisesti. Useimpien ihmisten todellinen kanta uusiin ruokatuotteisiin ei muodostu etukäteen, jaetun ennakkoinformaation tuloksena, vaan vasta kokeiltaessa kertyvien käyttökokemusten perusteella. Strategian kiteyttää englantilainen sananlasku: ”Vanukas koetellaan syömällä”.

Viitteet

EU (2006). Special Eurobarometer 244b: Europeans and Biotechnology in 2005. Directorate General Research, EC, July 2006, 88 p.

http://ec.europa.eu/public_opinion/archives/ebs/ebs_244b_en.pdf

EU (2008a). Special Eurobarometer 295: Attitudes of European citizens towards the environment. Directorate General Environment, EC, March 2008, 127 p.

http://ec.europa.eu/public_opinion/archives/ebs/ebs_295_en.pdf

EU (2008b). Do European Consumers Buy GM Foods. Project no. 518435, European Commission: Framework 6, King's College, London, Oct. 14, 2008, 346 p. www.kcl.ac.uk/consumerchoice

Fox J, Hayes DJ, Shogren JF (2002). Consumer Preferences for Food Irradiation: How Favorable and Unfavorable Descriptions Affect Preferences for Irradiated Pork in Experimental Auctions. *J. Risk Uncert.* 24: 75-95. www.springerlink.com/content/jq0h883t14q3773q/

FSA (2008). Consumer Attitudes to Food Standards: Wave 8, UK Report Final. Food Standards Agency, UK, 2008, 113 p

www.food.gov.uk/science/socsci/surveys/foodsafety-nutrition-diet/eighthcas2007

Knaapila A, Tuorila H, Silventoinen K, Keskitalo K, Kallela M, Wessman M, Peltonen L, Cherkas LF, Spector TD, Perola M (2007). Food neophobia shows heritable variation in humans. *Physiol. Behav.* 91: 573–578 www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17459432

KTL (2007). Uusien ruokien pelko periytyy. *Kansanterveyslaitos* 5.4.2007.

www.ktl.fi/portal/suomi/esittely/ajankohtaista?bid=1652