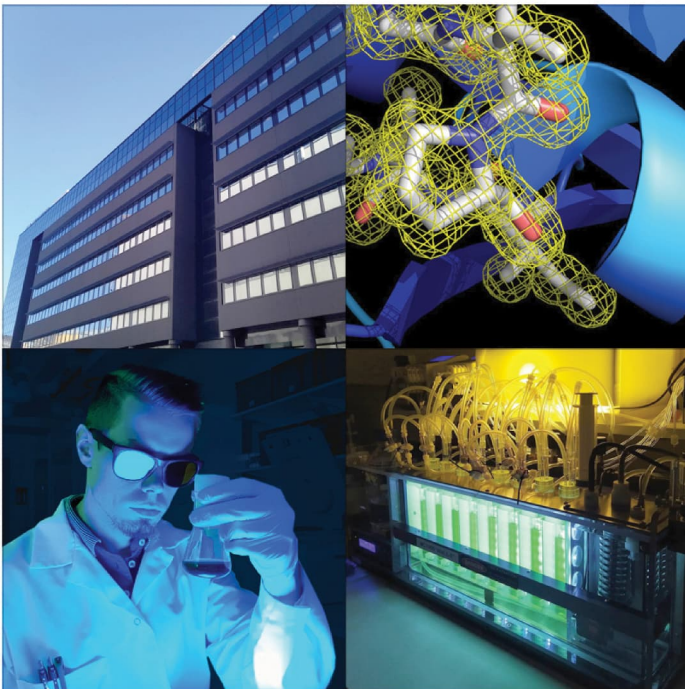


GEENEJÄ EI TARVITSE PELÄTÄ

Työkaluja kestävään tulevaisuuteen

Mitä on geneettinen muokkaus?
Miksi sitä tehdään?
Miten siihen tulisi suhtautua?



Technology Outreach
Teknillinen Tiedekunta
Bioteknologian laitos
TURUN YLIOPISTO

Pauli Kallio - pataka@utu.fi

Geneettinen muokkaus pähkinänkuoressa

Geneettisesti muokattu organismi (GMO; Genetically Modified Organism) tarkoittaa kasvia, eläintä tai mikrobia, jonka perimään on tehty muutoksia. Geneettinen muokkaus on biokemiallisen tutkimuksen perusta ja bioteknologiassa käytettävä tärkeä työkalu.

Geneettisen muokkauksen avulla solun toimintaa voidaan muuttaa. Solusta voidaan poistaa ei-haluttuja toimintoja tai lisätä uusia. Räättälöimällä näin solun aineenvaihduntaa eliö voidaan uudelleenohjelmoida ihmisten hyötykäyttöön.

- **Geneettistä muokkausta voidaan hyödyntää ruuan tuotannon tehostamisessa, tehokkaampien lääkeaineiden valmistuksessa ja diagnostiikkamenetelmien kehityksessä**
- **Geeniteknologian sovellukset mahdollistavat luonnon resurssien säästämisen ja uusiutuvien kemikaalien valmistamisen fossiilisten materiaalien korvaamiseksi**
- **EU:ssa käydään parhaillaan keskustelua genomieditointia koskevien direktiivien uudistamisesta ja geneettisen muokkauksen valjastamisesta turvalliseen hyötykäyttöön**

Vastuulliseen tutkimukseen perustuva kehitys

GMO-termillä on historiallisesti negatiivinen leima, joka usein liittyy mielikuviin, elokuvissa esitettyihin geeniteknologian uhkakuviin ja väärinkäytösten riskeihin. Mielikuvien sijaan geneettisen muokkauksen hyödyntämistä tulisi ohjata tieteellisiin ja selkein eettisiin perustein. Lainsäädäntöä tulisi päivittää vastaamaan nykyistä ymmärrystä geneettisen muokkauksen mahdollisuuksista ja riskeistä.

Geneettisen muokkauksen riskeihin luetaan yleensä biokatastrofit, asekäyttö, tai monikansallisten yritysten rahallisen voiton tavoittelu kuluttajan tai luonnon kustannuksella. Lisäksi ihmisen perimän muokkaukseen liittyy monia eettisesti hankalia tai arveluttavia kysymyksiä.

Vastuullisella soveltavalla tutkimuksella ja sitä ohjaavalla tutkimustietoon perustuvalla lainsäädännöllä saavutettavat hyödyt ihmiskunnalle ovat moninaiset. Rakentavaan keskusteluun geeniteknologioiden mahdollisuuksista ja riskeistä tulisi kannustaa. On tärkeää tapauskohtaisesti arvioida mitä ollaan muokkaamassa ja miten.

Lainsäädäntö ja valvonta

Organismien geneettinen muokkaus on aina kontrolloitua luvanvaraista toimintaa. Lainsäädännön tavoitteena estää geneettisen muokkauksen väärinkäytöksiä ja onnettomuuksia. Suomessa GM-lainsäädännöstä vastaa geeniteknikan lautakunta (GLTK), joka toimii sosiaali- ja terveysministeriön yhteydessä. Geeniteknikan lautakunta on EU:n GM-direktiivin lupaviranomainen viranomaisena Suomessa, joka valvoo geeniteknikkalain noudattamista.

Nykyinen lainsäädäntö Suomessa sallii GM-organismien suljetun käytön. Tämä tarkoittaa sitä, että GM-organismeja ei päästetä rajatusta tuottosysteemistä ympäristöön. Monet kaupalliset lääkeaineet ja teollisuudessa käytetyt entsyymit ja kemikaalit on tuotettu näin.

EU:ssa GM-kasveihin liittyvä sääntely on perinteisesti tiukkaa, joskin lainsäädännöissä on maakohtaisia eroja. Suomessa joidenkin GM-kasvien (esim. soija) käyttö elintarvikkeiden raaka-aineena on sallittua, mutta geneettisesti muunneltujen kasvien viljely ei täällä ole luvallista. Monissa muissa maissa (esim. USA) geneettinen muokkaus on normaali osa ruuan tuotantoa.

Geneettiseen muokkaukseen liittyviä mahdollisuuksia ja riskejä tutkitaan jatkuvasti. Tämän pohjalta geneettiseen muokkaukseen liittyviä määritelmiä ja lakeja pitäisi tarpeen mukaan uudelleenarvioida ja päivittää.

Geneettistä muokkausta koskevien lakien ja rajoitteiden tulisi perustua tutkittuun varmistettuun tietoon. Alan asiantuntijoilla on tärkeä rooli tämän tiedon välittämisestä poliittisille päättäjille ja sääntöjä valmisteleville tahoille.

Lyhenteitä

GMO (Genetically Modified Organism): Geneettisesti muokattu organismi; geeniteknisesti muunneltu organismi

GMM (Genetically Modified Microorganism): Geneettisesti muokattu mikro-organismi

GM (Genetic Modification): Geneettinen muokkaus

GE (Genome Editing): Genomieditointi. Lähteestä riippuen joko synonyymi lyhenteelle GM tai viittaa vain sellaisiin muokkauksiin, jossa kohdesoluun ei viedä eliölle vierasta geneettistä materiaalia

Perimä, DNA ja geenit: Elämän rakennusohjeet

Geeniperimä (genomi; perimäaines; DNA) kantaa elämän rakennusohjeita sukupolvelta toiselle. Kaikki tuntemamme elämä perustuu DNA:n sisältämiin ohjeisiin. Jokaisessa elävässä solussa on DNA:ta ja se toimii samalla periaatteella kaikissa organismeissa, niin ihmisissä, kasveissa kuin bakteereissakin.

DNA on "ohjekirja" joka sisältää rakennusohjeet erilaisille kemiallisille reaktioita aikaansaaville entsyymeille. Entsyymit ovat katalyyttisiä proteiineja, jotka ohjaavat kaikkia solussa tapahtuvia toimintoja. Esimerkiksi leipää syödessä entsyymit muuttavat ruuan tärkkelyksen ensin sokereiksi ja sen jälkeen vielä pienemmiksi rakennusyksiköiksi ja energiaksi elimistön käyttöön.

Yksittäisiä DNA:n sisältämiä rakennusohjeita kutsutaan geeneiksi: kukin geeni sisältää yhden entsyymin rakennusohjeet. Näitä on solussa tuhansia. DNA koostuu neljästä emäksestä (Adeniini =A, Tyymiini =T, Guaniini = G ja Cytosiini = C).

Miten elämä toimii? Geeneistä biologisiksi toiminnoiksi

Entsyymit ovat geenien koodaamia aminohapoista koostuvia proteiineja. Entsyymit toimivat niin, että ne kiihdyttävät (eli katalysoivat) solussa tapahtuvia biokemiallisia reaktioita, joita tarvitaan elävän solun rakentamiseen ja elämän ylläpitoon.

Kunkin geenin emäsjärjestys (geenisekvenssi; ATGC) määrää geenin vastaavan proteiinin aminohappojärjestyksen. Muodostuneen aminohappoketjun aminohappokoostumus ohjaa sen laskostumista aktiiviseen muotoon, joka puolestaan määrää sen mitä entsyymi tekee - eli mitä kemiallista reaktiota entsyymi katalysoi (Kuva 1).

Jokainen solun tuhansista entsyymeistä on vastuussa yhdestä tietyistä kemiallisesta reaktiosta. Kun reaktiot laitetaan tapahtumaan juuri oikeassa järjestyksessä ja oikeaan aikaan, saadaan aikaan toimiva solu kaikkine eri toimintoineen.

Elävä maailma muokkautuu jatkuvasti DNA-tasolla. Evoluutiota ohjaavat perimässä luonnostaan tapahtuvat muutokset, sekä eliön tarve sopeutua ympäröiviin olosuhteisiin.

Biologisten toimintojen muokkaaminen

Monien entsyymien toiminta ja tehtävä solussa tunnetaan; tällöin sekvenssin perusteella voidaan ennustaa mistä reaktiosta joku tietty geeni on vastuussa. Geenisekvenssin avulla voidaan siis sekä kartoittaa mitä solussa tapahtuu, että suunnitella soluun haluttuja muutoksia. Toistaiseksi suuri osa geenien funktioista ja niiden säätelystä on kuitenkin vielä selvittämättä.

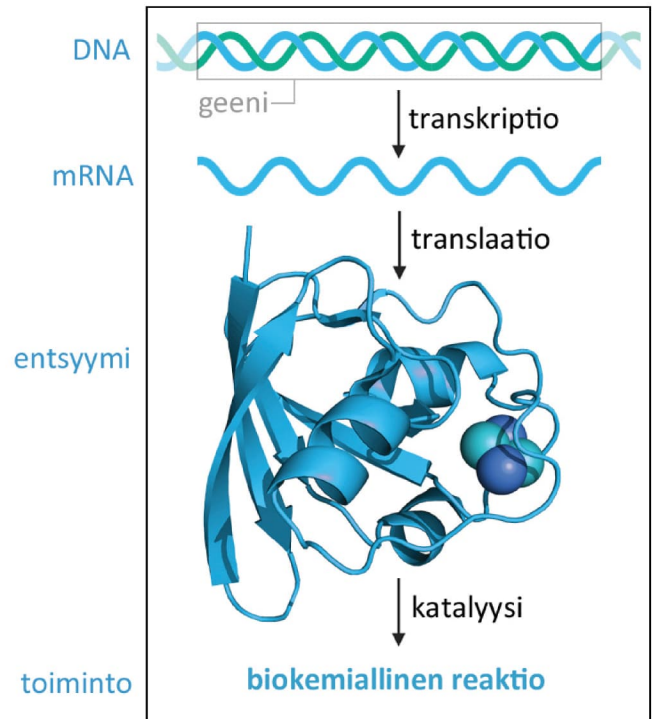
- Solun toimintaa voidaan muokata poistamalla solusta geenejä (deleetio). Tällöin geeniä vastaavan proteiinin katalysoimaa reaktiota ei enää tapahdu, eli solulta puuttuu kyseinen toiminto. Tähän tarkoitukseen voidaan tehokkaasti soveltaa CRISR-Cas9 -genomieditointimenetelmiä.
- Solun toimintaa voidaan muokata myös viemällä genomiin uusia, toisista eliöistä peräisin olevia geenejä. Näin soluun voidaan lisätä uusia reaktioita eli lisätä haluttuja toimintoja. Tällaisia organismeja kutsutaan siirtogeenisiksi organismeiksi.

Esimerkkinä tästä on geneettisesti muokattu *kultainen riisi* [1] [2], jonka jyviin kertyy beta-karoteenia, A-vitamiinin esiastetta. Maailman terveysjärjestö on arvioinut, että A-vitamiinin puutos sokeuttaa vuosittain 250 000 - 500 000 henkilöä ja aiheuttaa lukuisia kuolemia. Kultaisen riisin on todistettu estävän tehokkaasti A-vitamiinin puutosta.

Kohdennetun muokkauksen ohessa organismin genomiin voidaan tehdä myös satunnaisia muutoksia, mutaatioita, esimerkiksi säteilyttämällä tai erilaisten kemikaalien avulla. Näin tuotettuja uusia kasvilajikkeita on ollut käytössämme jo vuosikymmeniä. Vaikka myös satunnaisesti muokattujen organismien genomia on muokattu, niitä ei kutsuta GMO:ksi eivätkä niitä koske geenitekniikan lait.

[1] Ye X, Al-Babili S, Klöti A, Zhang J, Lucca P, Beyer P, Potrykus I (2000). "Engineering the provitamin A (beta-carotene) biosynthetic pathway into (carotenoid-free) rice endosperm". *Science*. 287 (5451): 303–5

[2] Kettenburg AJ, Hanspach J, Abson DJ, Fischer J (2018). "From disagreements to dialogue: unpacking the Golden Rice debate". *Sustain Sci*. 13 (5): 1469–82



Kuva 1: Näin elämä toimii: Geenit ohjaavat kaikkia biologisia toimintoja katalyyttisten entsyymien kautta.

Mahdollisuudet ihmiskunnan auttamisessa

Geneettisellä muokkauksella on monia sovelluksia muun muassa lääketieteessä, diagnostiikassa, elintarviketeollisuudessa ja erilaisten kemikaalien valmistuksessa. Esimerkiksi monet käytössämme olevista antibiooteista ja syöpälääkkeistä tuotetaan geneettisesti muokatuissa mikrobeissa, bakteereissa tai homeissa. Myös monet teollisista entsyymeistä ja diagnostiikassa käytetyistä vasta-aineista on tuotettu GM-organismeissa.

Ihmiskunnan suurimpia haasteita ovat puhtaan veden ja ravinnon saannin turvaaminen. Geenitekniologian menetelmillä on mahdollista parantaa globaalia ruokaturvaa väestön kasvaessa ja maapallon ilmasto-olosuhteiden muuttuessa. Geneettisellä muokkauksella voidaan esimerkiksi parantaa viljelykasvien kuivansietokykyä ja suolatoleranssia, ja näin lisätä tuottavuutta ja mahdollistaa maatalous nykyisin viljelykelvottomilla alueilla. Geneettisellä muokkauksella on myös mahdollista parantaa kasvien vastustuskykyä erilaisille kasvitaudeille tai tuhohäädille ja vähentää näin kemiallisten torjunta-aineiden käyttöä.