

## Lainsäädäntö ja valvonta

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

## 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. Rääätälöimällä näin solun aineenvaihduntaa eliö voidaan uudelleenohjelmoida ihmisten hyötykäyttöön.

- **Geneettistä muokkausta voidaan hyödyntää ruuan tuotannon tehostamisessa, tehokkaampien lääkeaineiden valmistuksessa ja diagnostiikkamenetelmien kehityksessä**
- **Geenitekniikan 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 geenitekniikan uhkakuviin ja väärinkäytösten riskeihin. Mielikuvien sijaan geneettisen muokkauksen hyödyntämistä tulisi ohjata tieteellisiin ja selkeisiin eettisiin perusteisiin. 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 geenitekniologioiden mahdollisuuksista ja riskeistä tulisi kannustaa. On tärkeää tapauskohtaisesti arvioida mitä ollaan muokkaamassa ja miten.

# GEENEJÄ EI TARVITSE PELÄTÄ

## Työkaluja kestävään tulevaisuuteen

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



Technology Outreach  
Teknillinen Tiedekunta  
Biotekniikan laitos  
TURUN YLIOPISTO

Pauli Kallio - pataka@utu.fi

## 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 erilaistelle kemiallisia reaktioita aikaansaavalle entsyymille. Entsyymit ovat katalyyttisiä proteiineja, jotka ohjaavat kaikkia solussa tapahtuvia toimintoja. Esiimerkiksi leipää syödessä entsyymit muuttavat ruuan tärkkelyksen ensin sokereiksi ja sen jälkeen vielä pienemmiksi rakennusyksiköiksi ja energiksi elimistön käyttöön.

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

## Miten elämä toimii?

### Geneistä biologisiksi toiminnoksi

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 laskestumista aktiiviseen muotoon, joka puolestaan määrää sen mitä entsyymi tekee - eli mitä kemiallisia reaktioita entsyymi katalysoi (kuva 1).

Jokainen solun tuhansista entsyymeistä on vastuussa yhdestä tapahtumasta juuri oikeassa järjestyksessä ja oikeaan aikaan, saadaan aikaan toimiva solu kaikkein eri toimintoihin. Elävä maailma muokkautuu jatkuvasti DNA-tasolla. Evoluutiota ohjaavat perimässä luonnostaan tapahtuvat muutokset, sekä elion tarve sopeutua ympäristöihin 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 kartottaa mitä solussa tapahtuu, että suunnitella solun haluttuja muutoksia. Toistaiseksi suuri osa geenien funktioista ja niiden säätelystä on kuitenkin vielä selvittämättä.

- Solun toimintaa voidaan muokata poistamalla solusta geneja (deleto). Tällöin geeninä vastaavan proteiinin katalysoimaa reaktiota ei enää tapahdu, eli solulta puuttuu kyseinen toiminto. Tähän tarkoitukseseen voidaan tehokkaasti soveltaa CRISPR-Cas9 -genomieditoitimenetelmää.

- Solun toimintaa voidaan muokata myös viemällä genomiin uusia, toisista eliöistä peräisin olevia geneja. Näin solun voidaan lisätä uusia reaktioita eli lisätä haluttuja toimintoja. Tällaisia organismeja kutsutaan siirtogeenisiksi organismeiksi.

Esiimerkkinä tästä on geneettisesti muokattu *kultainen riisi* [1] [2], jonka jyviiin 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, esiimerkiksi säteilyttämillä 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 geeniteknikaan lait.

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

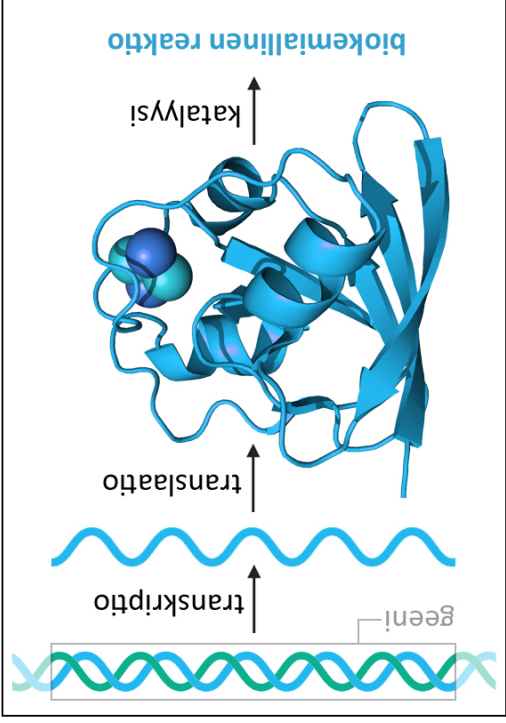
[2] Kettentburg AJ, Hanspach J, Absorn DJ, Fischer J (2018). "From disaggregments to dialogue: unpacking the Golden Rice debate". *Sustain Sci*. 13 (5): 1469–82

DNA

mRNA

entsyymi

toiminto



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. Esiimerkiksi monet käytössämme olevista antibiooteista ja syöpälääkkeistä tuotetaan geneettisesti muokatuissa mikroobeissa, bakteereissa tai homeissa. Myös monet teollisista entsyymeistä ja diagnostiikassa käytetyistä vasta-aineista on tuotettu GMV-organismeissa.

Ihmiskunnan suurimpia haasteita ovat puhtaan veden ja ravinnon saaminen turvaaminen. Geeniteknologian menetelmillä on mahdollista parantaa globaalia ruokaturvaa väestön kasvussa ja mapallon ilmasto-olosuhteiden muutuksessa. Geneettisellä muokkauksella voidaan esiimerkiksi parantaa viljelykasvien kuivansietokykyä ja suolatoleranssia, ja näin lisätä tuottavuutta ja mahdollistaa maatalous nykyisin viljelykeilvottomilla alueilla. Geneettisellä muokkauksella on myös mahdollista parantaa kasvien vastustuskykyä erilaisille kasvitaudeille tai tuhohäisille ja vähentää näin kemiallisten torjunta-ainesten käyttöä.