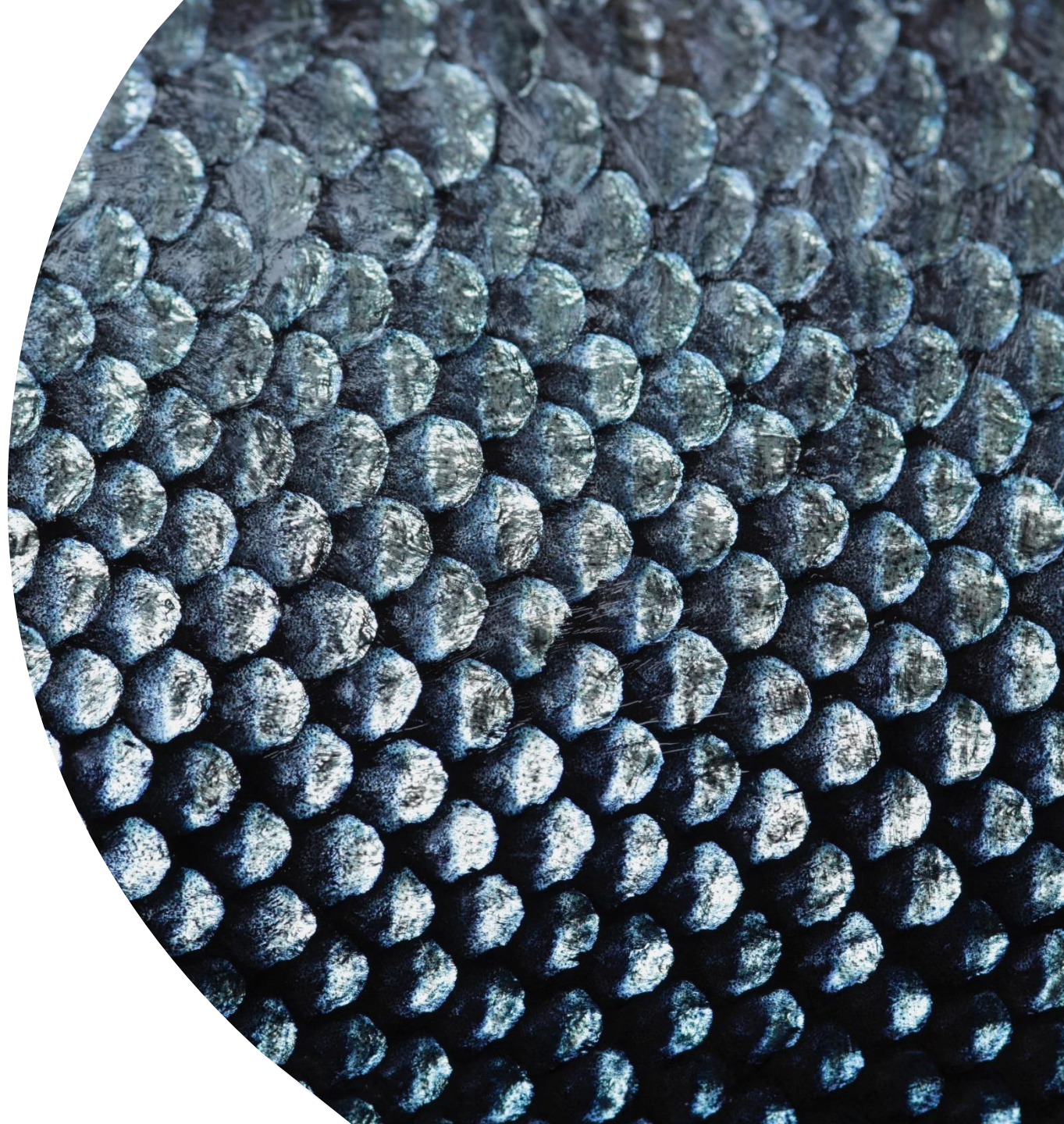


Kalojen genetiikka  
ja viljeltyjen  
kalojen  
monimuotoisuus



# Kalojen genetiikka kalatalousalueilla ja osakaskunnissa

Miksi genetiikalla ja monimuotoisuudella on väliä

- Sopeutuminen: paikalliset sopeumat, ilmastonmuutos, kaikki muuttuu
- Elinvoimaisuus: sukusiitos, sukulaisuus, Ne

Miten genetiikkaan ja monimuotoisuuteen voidaan vaikuttaa viljelyssä

- Emokalastot
- Istutukset: paikalliset vs hyvin viljelyssä pärjäävät, tripla

Mitä voidaan tehdä – tuumailua ja keskustelua tulevasta.



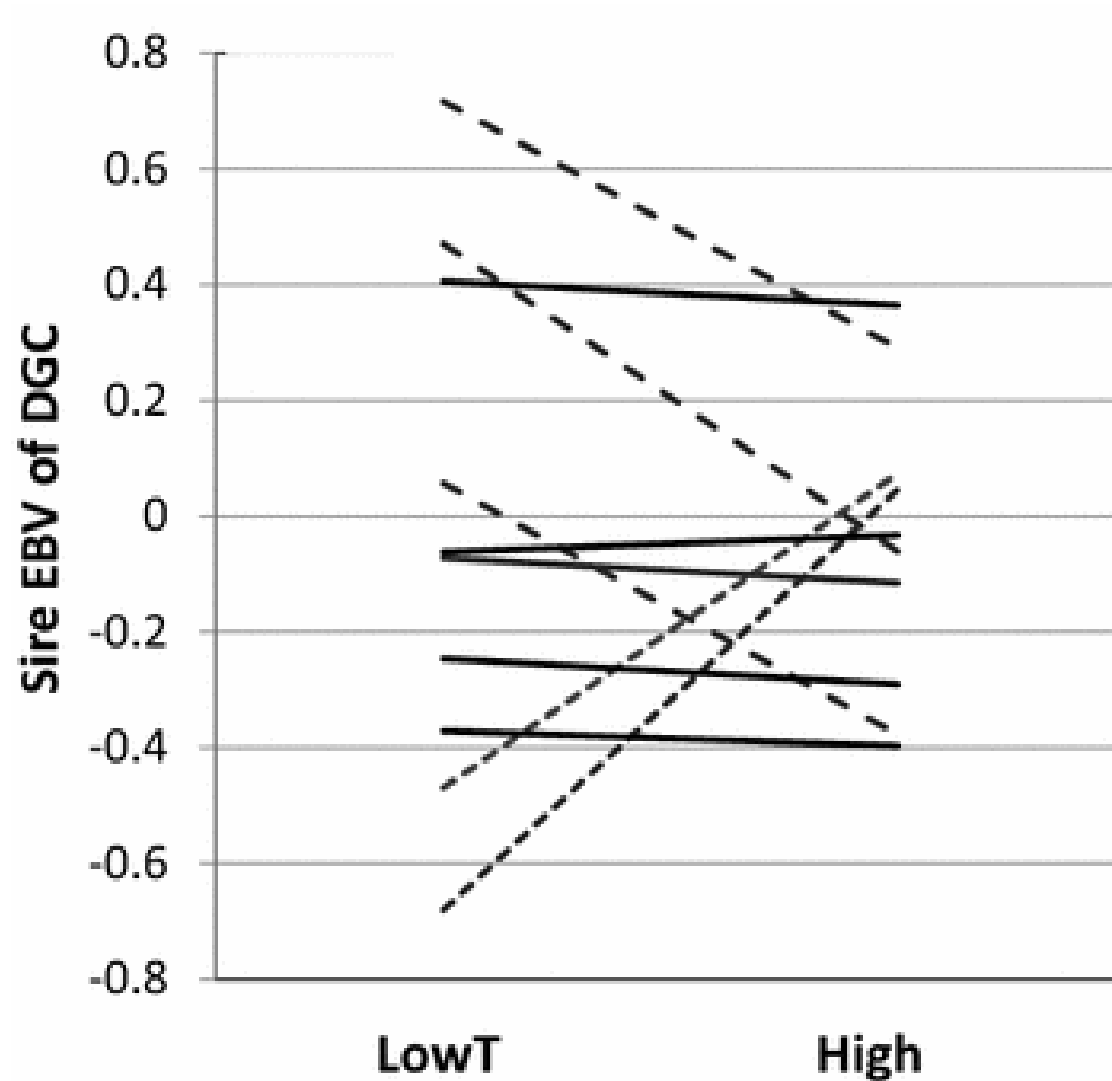
# Käsitteitä/termejä kuten niitä tässä esitelmässä käytetään

- Sukulaisuus: kalayksilöiden jakama yhteisen geneettisen taustan osuus prosentteina (esim. sisarusten sukulaisuus = 50 %)
- Sukulaistuminen: keskimääräisen sukulaisuuden kasvu emokalastossa sukupolvien kuluessa
- Sukusiitos: kaksi sukulaista paritetaan keskenään, laskennallisesti puolet yksilön vanhempien sukulaisuudesta.
- Emokalasto: lukumäärältään käsittelykelpoiseksi rajattu/valittu parvi, jonka yksilöitä käytetään vanhempina uuden sukupolven muodostamiseen.
- Valinta: kaloista mitattujen tai muuten määritettyjen ominaisuuksien perusteella tehtävä päätös kalan säilyttämisestä osana emokalastoa

# Käsitteitä/termejä kuten niitä tässä esitelmässä käytetään

- Perinnöllisyys(aste): kuinka suuri osa jonkin piirteen vaihtelusta riippuu perintötekijöistä
- Tehollinen populaatiokoko: kuinka monen yksilön geenimuotoja tietyssä rodussa tai kannassa on ts. se kertoo kuinka hyvin populaatiossa säilyy geneettinen monimuotoisuus. Tehollisen populaatiokoon arvo on aina pienempi kuin lisääntyvien yksilöiden määrä. Tehollista populaatiokokoa laskee erityisesti **yksilöiden välinen suuri vaihtelu jälkeläisten määrässä**. Pienessä populaatiossa sattuman vaikutus on suurempi, sukulaisuusaste kasvaa ja geneettinen monimuotoisuus vähenee. **Yleisesti, kun  $N_e > 50$ , populaation ajatellaan olevan riittävän suuri minimoidakseen sukulaisuuden kohoamisen ja säilyäkseen lyhyellä aikavälillä**
- Monimuotoisuus....monenlaista mittaria

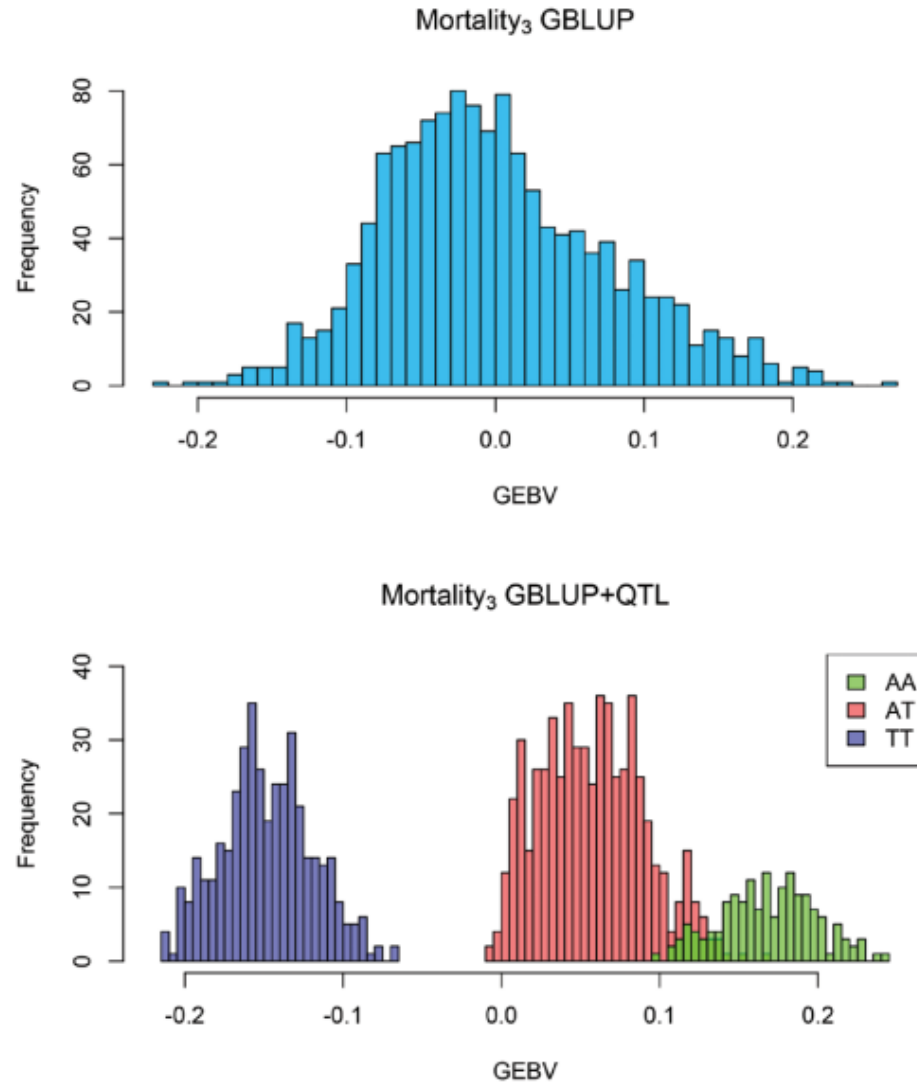
# Esim. sopeumasta ja genetiikasta: lämpötila



Kirjoloheen samojen isien jälkeläiset kasvavat eri tavalla eri lämpötiloissa (14 ja 20 astetta). Perinnöllisyysaste 24 %.

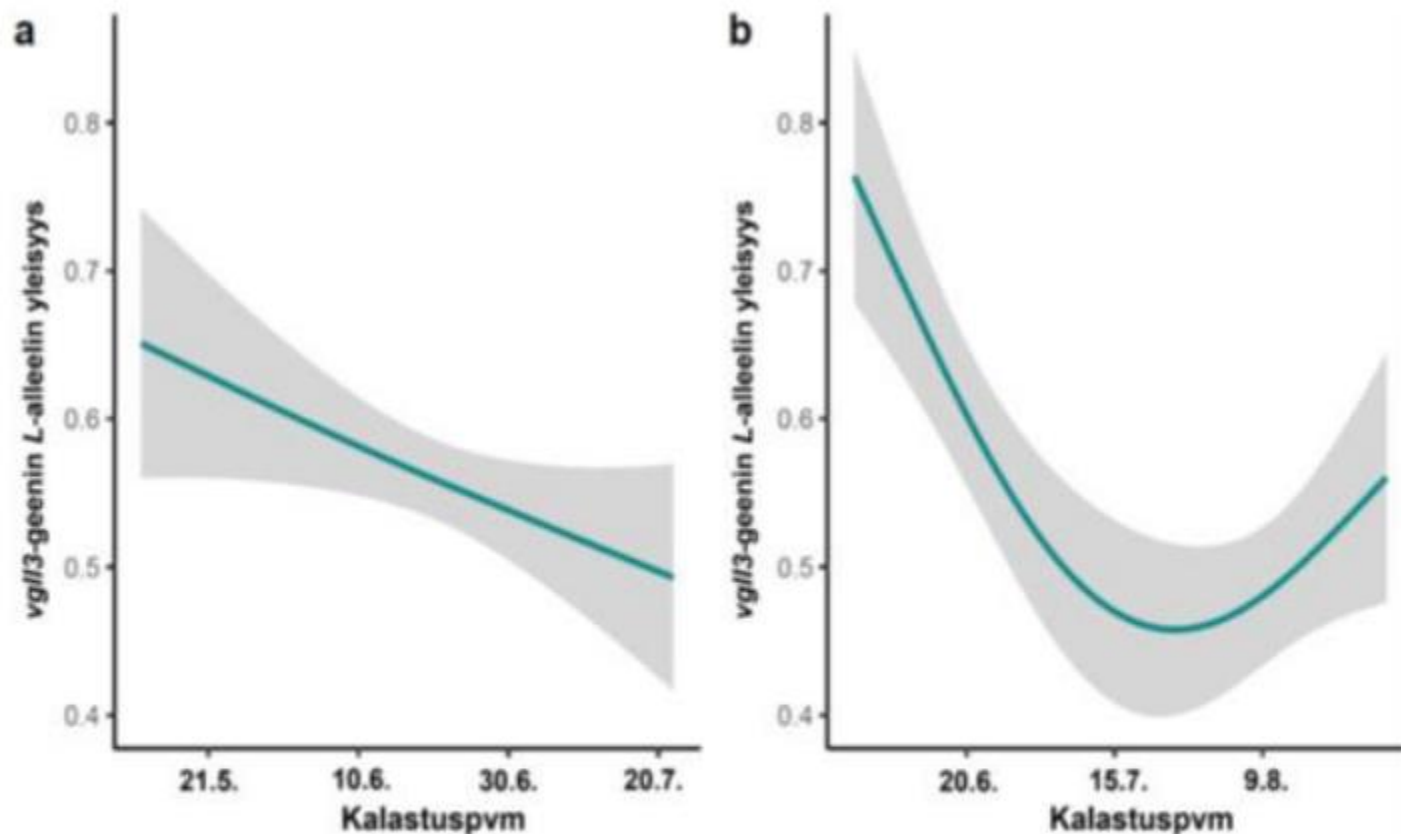
Janhunen, M., Koskela, J., Ninh, N.H. *et al.* Thermal sensitivity of growth indicates heritable variation in 1-year-old rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Genet Sel Evol* 48, 94 (2016). <https://doi.org/10.1186/s12711-016-0272-3>

# Vesihomealttius siialla geneettistä



- Federico C F Calboli, Terhi Iso-Touru, Oliver Bitz, Daniel Fischer, Antti Nousiainen, Heikki Koskinen, Miika Tapio, Ilma Tapio, Antti Kause, Genomic selection for survival under naturally occurring *Saprolegnia* oomycete infection in farmed European whitefish *Coregonus lavaretus*, *Journal of Animal Science*, Volume 101, 2023, skad333, <https://doi.org/10.1093/jas/skad333>

# Esim. Atlantin lohien sukukypsyysiän vaihtelu on perinnöllistä



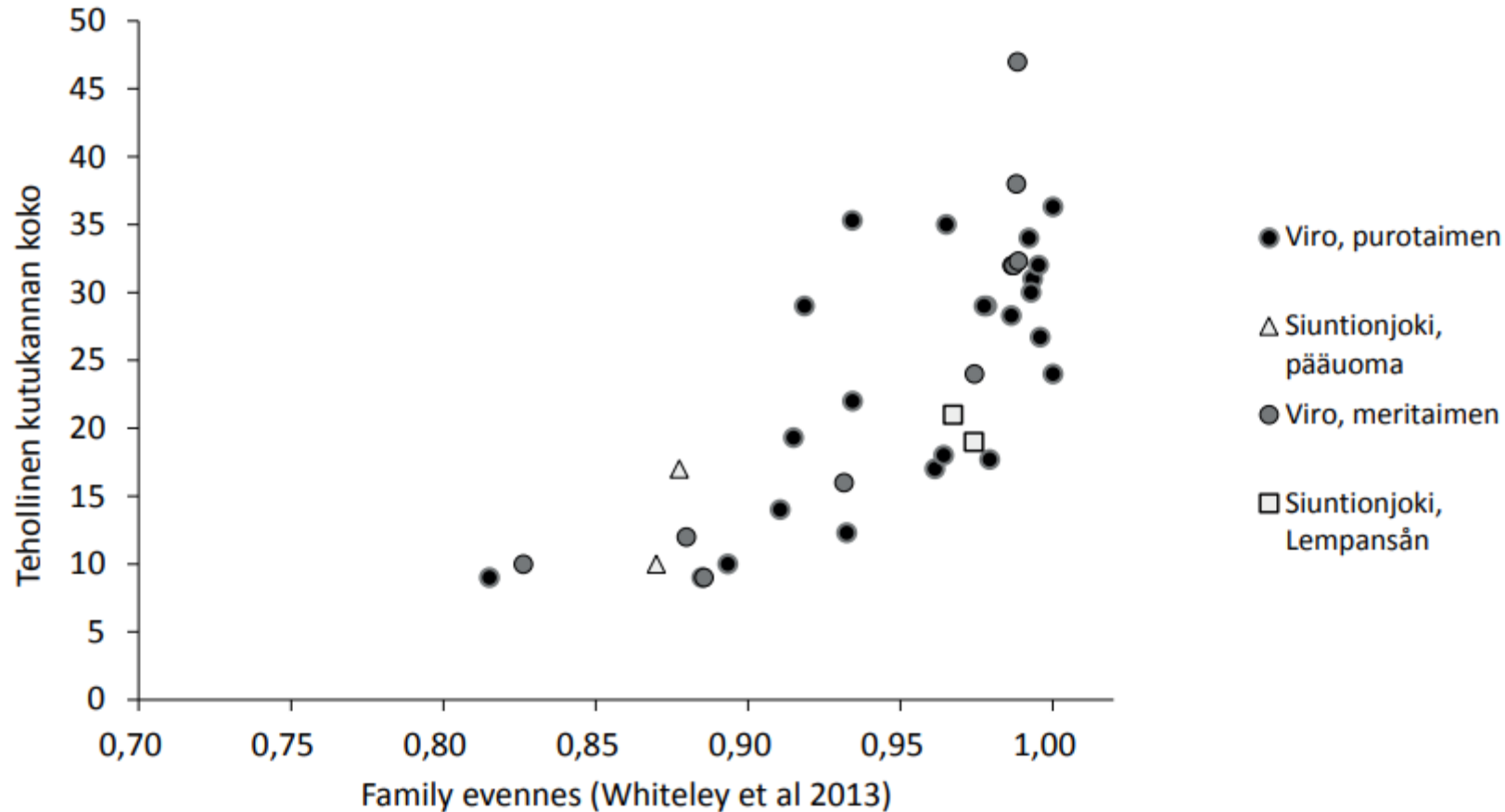
**Kuva 2.13. Vgll3- geenin "L"-alleelin (eli "vanhan lohien geenin") keskimääräinen esiintyminen kalastuskausien 2019–2020 kuluessa luonnonlohisaaliista otettujen näyteanalyysien perusteella: (a) Pohjanlahden rannikkokalastussaalista sekä (b) Tornionjoen saalis (Miettinen ym., in prep.). Käyrät kuvaavat vanhan lohien geenin yleisyyttä (y-akseli) kalastusajankohdan funktiona (x-akseli), harmaa alue käyrien ympärillä osoittaa epävarmuusaluetta.**

- Korkeaan sukukypsyysikään voimakkaasti liittyvää geenimuotoa (ns. "L"-alleeli vgll3-geenissä, jatkossa "vanhan lohien geenin") esiintyy(i) yleisesti Tornionjoen lohessa.

Tornionjoen lohi-, meritaimen- ja vaellussiikakannat – yhteinen ruotsalais-suomalainen biologinen selvitys sopivien kalastussääntöjen arvioimiseksi vuodelle 2023 Palm, Stefan; Romakkaniemi, Atso; Dannewitz, Johan; Pakarinen, Tapani; Veneranta, Lari; Huusko, Riina; Isometsä, Konsta; Broman, Andreas; Miettinen, Antti (2023) <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2023030329605>



# Esim. efektiivinen populaatiokoko



[https://www.luvy.fi/wp-content/uploads/263\\_netiversio\\_Siuntionjoen-taimenkannan-nykytila-geneettinen-rakenne-ja-alkuper%C3%A4-sek%C3%A4-hoitosuositus.pdf](https://www.luvy.fi/wp-content/uploads/263_netiversio_Siuntionjoen-taimenkannan-nykytila-geneettinen-rakenne-ja-alkuper%C3%A4-sek%C3%A4-hoitosuositus.pdf)

# Emokalastot

- Emokalaston käyttötarkoitus voi olla joko
  - ruokakalaksi kasvatettavien (esim. kirjolohi ja siika) tai
  - luonnonvesistöihin istutettavien (esim. taimen, siika ja kuha) kalanpoikasten tuotanto.
- Molemmissa tapauksissa kalamateriaalin laatua ja käyttökelpoisuuden kestoa sanelee sen **valinnan ja sukulaistumisen hallinta**.
- Emokalaston geneettinen huolto on mahdollista järjestää DNA-sukupuuhun perustuvien menetelmien avulla, mutta tekniset ja taloudelliset kynnykset ovat toistaiseksi rajoittaneet niiden hyödynnettävyyttä erityisesti yksityisillä emokalalaitoksilla.



# Sukusiitos ja sukulaisuus emokalastoissa

- Sukusiitoksesta seuraa yleisen elinvoiman, hedelmällisyyden ja tärkeiden tuotanto- ominaisuuksien taantuminen. Esim. kaloilla kahden sisaruksen paritus keskenään vähentää kasvua 5-15 %, ja kuolleisuus voi kaksinkertaistua.
- Emokalastoissa parven yksilöt tulevat sukupolvien kuluessa keskenään yhä läheisemmiksi sukulaisiksi.
- Emokaloja valittaessa parhaista perheistä tulee valituksi suhteellisesti enemmän kaloja (sisarusia), ja myös serkut ja muut sukulaiset yleistyvät.
- Emokalojakaan ei ole välttämättä runsaasti

# Esimerkki sukulaisuudesta

- Hedelmöitetään suuri joukko naaraita yhdellä koiraalla.
  - Nämä kalat eivät ole sukua toisilleen
  - poikaset eivät ole sukusiitettyjä.
  - Näennäisesti kaikki on hyvin.
  - kaikki poikaset sukua toisilleen (25/50% joko täys- tai puolisisaria)
- > Tästä eteenpäin tällä emokalastolla tuotettujen kaikkien vuosiluokkien poikaset ovat siten sukusiitettyjä.
- > Istukkaat eivät nosta populaation efektiivistä kokoa vaikka niitä olisi kuinka paljon
- Jos koiraita olisi ollut viisi tai kymmenen, tämä sama ongelma olisi ollut edessä muutama sukupolvi myöhemmin.
- Hankala tilanne olisi pystytty välttämään, jos käytössä olisi ollut alunperin iso määrä koiraita ja naaraita, jotka eivät ole läheistä sukua toisilleen.

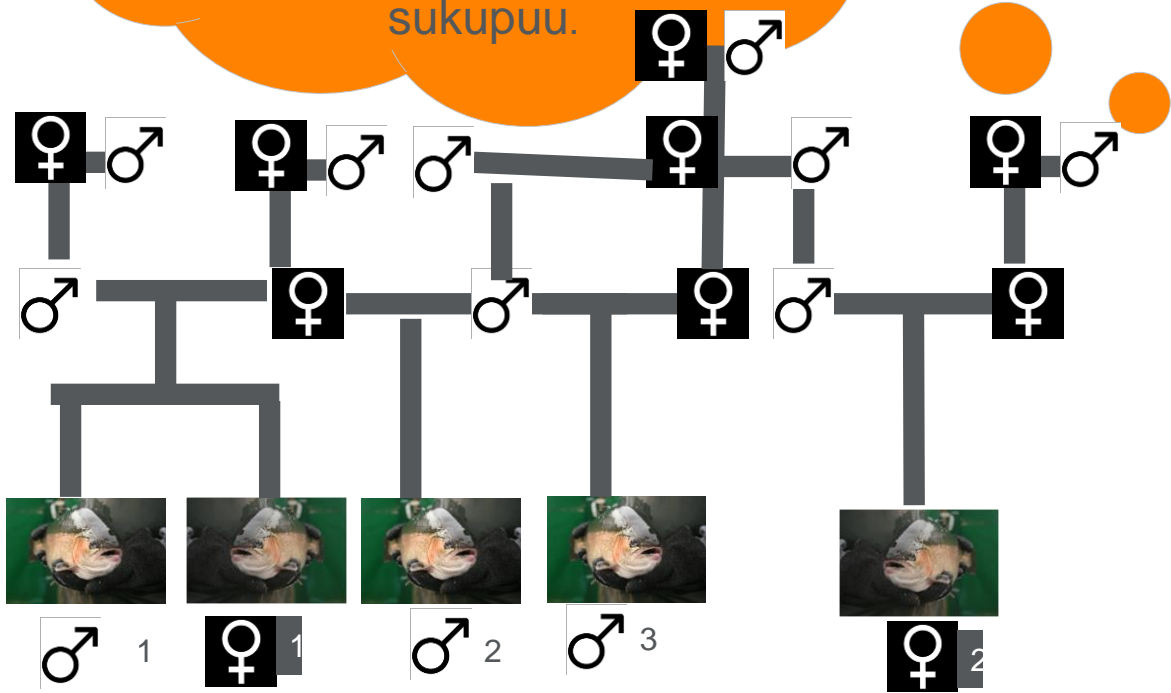
# Esim. emokalastojen koosta

- Sukulaisuudeltaan tunnettujen emokalastot perustaminen ja ylläpito haasteellista = koot usein pieniä
  - Siuttajoen järvitaimenen emoparvi (vl 2007, 2010, 2011), - 100 yks.
  - Mustajoen (vl 2008-2013) meritaimen emoparvet, - 122 yks.
  - Ingarskılanjoen (vl 2008, 2009, 2014), - 137 yks.
  - Ingarskılan joki  $N_{\text{sample}}=92$   $N_e=45$   $F_sF_{\text{fam}}=86$  Sukulaisuus=5.7%

Marja-Liisa Koljonen, Aki Janatuinen, Ari Saura and Jarmo Koskiniemi (2013): Working papers of the Finnish Game and Fisheries Institute 25/2013 Genetic structure of Finnish and Russian sea trout populations in the Gulf of Finland area.

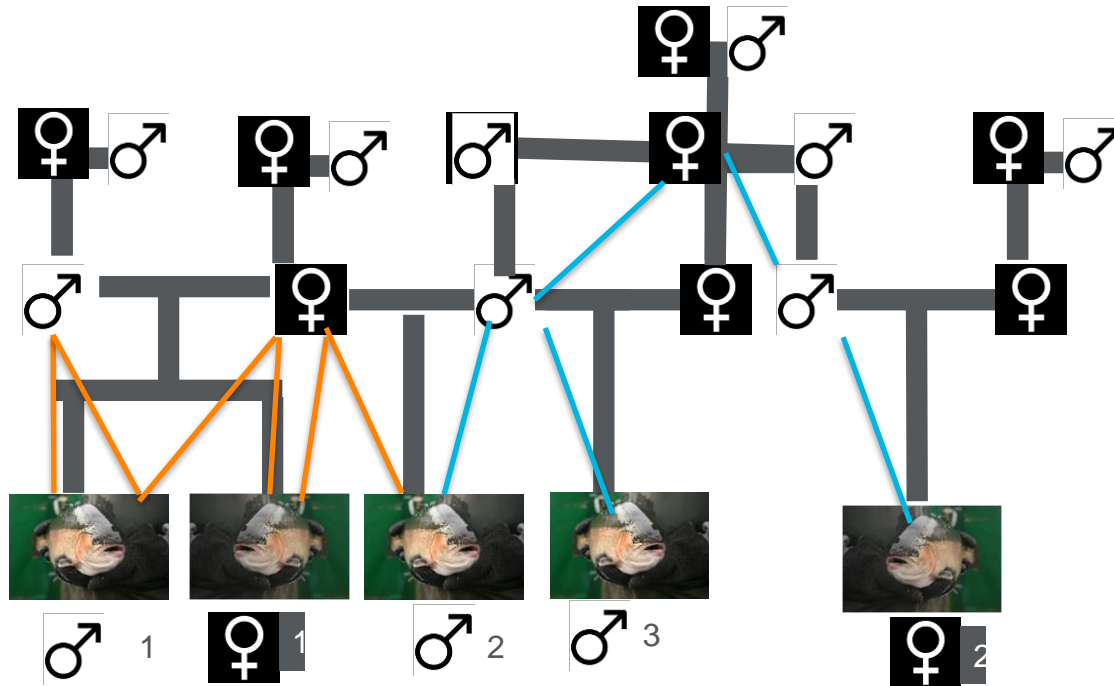
<https://jukuri.luke.fi/handle/10024/520177>

Kalastossani on naaraita ja koiraita. Syötetään labrasta dna-näytteiden perusteella tullut sukupuu.

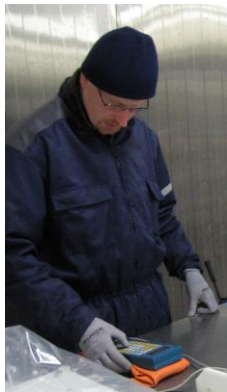


Mitkä kalat valitaan ja miten ne paritetaan niin ettei tuotetun parven sukulaisuus kasva.

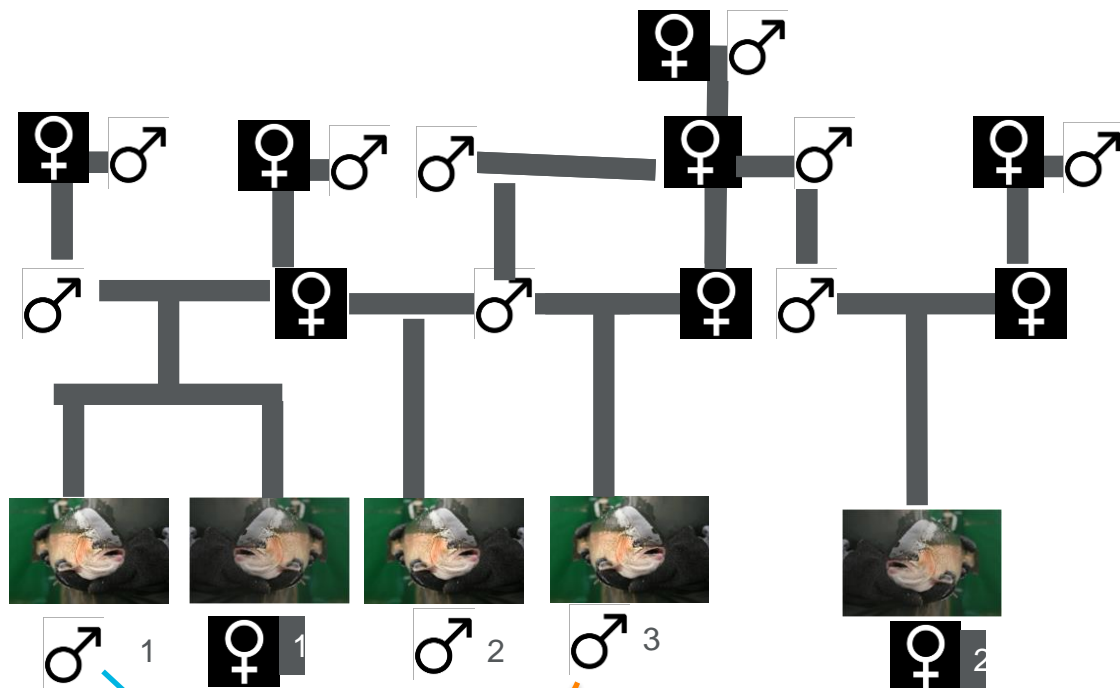




Lasketaan dna-sukupuun perusteella kalojen välinen sukulaisuus. Koiras1 ja Naaras1 saman perheen sisaruskia (a=50%), Koiras2:lla yhteinen äiti Koiras1:sen Naaras1:sen kanssa, sekä yhteinen isä Koiras3:sen kanssa (a=25%), Naaras2:lla ei yhteisiä vanhempia muiden kanssa (a=0). Naaraalla 2 kuitenkin yhteinen isoäiti koiraiden 2 ja 3 kanssa (a=6.25%)



Naaras2  
kannattaa  
hedelmöittää  
Koiraan1  
maidilla, ja  
Naaras1  
Koiraan3  
maidilla.



# Valinnasta (tahallisesta tai tahattomasta)

- Poikasvaiheessa yksilöt erotellaan yleensä mekaanisesti.
  - Emokalakandidaattien yksilöllisempi tarkastelu mahdollista vasta myöhemmin.
- Ruokakalantuotannossa tuotantoemoiksi halutaan käyttää vain tietyiltä ominaisuuksiltaan parhaita kaloja.
  - Valinnalla parannetun emokalaston uusiminen luonnonkaloilla ei ole kannattavaa
- Vastaavasti biodiversiteetti/istukasemokalastoissa valinnan hallitseminen niin, että se joko muistuttaisi luonnonvalintaa tai ainakin olisi mahdollisimman satunnaista.

# Esim. suositukset/haaveet ja todellisuus

KALATUTKIMUKSIA FISKUNDERSÖKNINGAR

119

1996

*Pekka Hyvärinen, Kimmo Virtanen, Teppo Vehanen,  
Jarmo Koskiniemi, Risto Kannel ja Markku Pursiainen*

Viihtyykö vieras kala Oulujärvessä?

Eri taimenkantojen ja järvilohen  
istukkaiden vertailu



ole tiedossa. Kannan (Kongasjoen ja Mõntan taimenen yhdistetty) elinkelpoisuuden ja monimuotoisuuden ylläpitämiseksi se tulee pyrkiä palauttamaan alueelle siten, että viljelyssä olevia emokalastoja voidaan myöhemmin täydentää aluksi kutunousulle palaavista istukkaista ja myöhemmin luonnonvaraisesti lisääntyvistä kaloista. Luonnollisin palautusvesi on Oulujärveen vapaana laskeva Kongasjoen reitti, josta viljelykannat on alunperin perustettu. Palauttamisen edellytykset ovat olemassa, jos kalastusta kehitetään, joki-istutuksia suunnataan Kongasjoen reitille ja Oulujärven vaelluspoikasistutuksia jokisuuhun. Lisäksi muiden järvitaimenkantojen istuttamisesta alueelle tulee luopua.



Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 47/2023

## Kalastonhoidon kehittäminen Oulujoen vesistössä

Laura S. Härkönen, Pekka Hyvärinen, Riku Rinnevali,  
Olli van der Meer, Panu Orell, Lari Veneranta, Jaakko Erkinaro  
ja Pauliina Louhi



- Nykyinen istutuksiin käytettävä hoitokanta perustettiin vuonna 2001, jolloin hoitokannan monimuotoisuuden parantamiseksi yhdistettiin kolmen kalanviljelylaitoksen peräisin oleva materiaali
- **Tämän jälkeen hoitokantaa ei ole pystytty uudistamaan, koska jokiin palaavien kutukalojen määrä on ollut erittäin vähäinen. Toisaalta istutuksiin on käytetty vieraita taimenkantoja, joiden sekoittumista vesistön alkuperäisen taimenkannan kanssa on pyritty välttämään.**

- **Emokalaston laitostumisesta** kärsii tällä hetkellä erityisen voimakkaasti Oulujoen vesistön järvivaelteinen taimenkanta, joka on ollut 1970-luvulta lähtien täysin laitosviljelyjen yksilöiden varassa eikä sitä **ei ole voitu uudistaa luonnosta saaduilla kututaimenilla**.
- Laitosvalinnan seurauksena istukaspoikasten geneettinen monimuotoisuus on kaventunut, mikä saattaa vaikuttaa kalojen kykyyn sopeutua ympäristöolojen kuten ilmaston muutoksiin
- Oulujärvellä ja sen yläpuolisilla alueilla **järvitaimenen istutuksissa on käytetty laajasti vieraiden laitostaimenkantojen poikasia**. Kokeellisissa tutkimuksissa on havaittu, että Oulujoen vesistön **vaellustaimenen selviytymisominaisuudet heikkenivät sen risteytyessä vieraan laitostaimenkannan kanssa**, kun taas risteytyminen paikallisen villin taimenkannan kanssa vahvisti selviytymisominaisuuksia (Alioravainen ym. 2018, Ågren ym. 2019).

# Optimismia?

- Vuonna 2019 käynnistettiin Luken hanke alueella käytettävän järvitaimenen istutusmateriaalin geneettisen laadun parantamiseksi vesistön kalatalousmaksujen rahoituksella (Hyvärinen ym. 2022)
- Hankkeen tavoitteena on järvitaimenen istutusmateriaalin villiyttäminen ja tulosten parantaminen siten, että nykyistä laitosviljelyn varassa pitkään ollutta hoitokantaa risteytetään alueella vielä luontaisesti lisääntyvien villien taimenkantojen kanssa.
- **Hankkeen onnistumisen edellytyksenä onkin, että vesistöalueen ulkopuolisten vieraiden taimenkantojen käyttö lopetetaan, kun alueen omaa järvitaimenen mätiä on riittävästi tarjolla.**

# Vähän "rajumpia" keinoja.



Kalanviljelyssä triploiditeknikka on ollut käytössä jo kauan. Menetelmällä tuotetaan kromosomistoltaan kolminkertaisia, lisääntymiskyvyttömiä kaloja. Triploidit kalat tarjoavat mielenkiintoisen vaihtoehdon istukaskaloiksi kalastuskohteisiin sekä ruokakalatuotantoon.

TEKSTI ANTTI NOUSIAINEN, HEIKKI KOSKASE, LUONNONVARAKESKUS  
KUVA ANTTI NOUSIAINEN

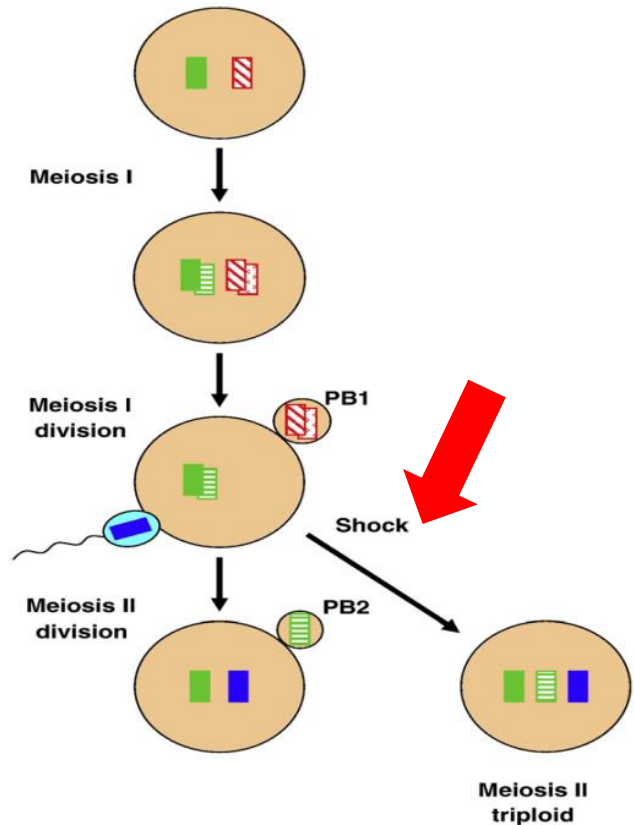
**T**riploidiaa voi tapahtua spontaanisti luonnonkaloilla, mutta keuhkoaiheutetaan tavallisimmin ihmisen paineella vastahedelmöityksen avulla. Manipulaatiota ei tule kuitenkaan muunneltua eläinlainsäätöön.

Koska triploidit kalat eivät lisääntyvät, niiden väestön ylläpidon on perinteisesti koskettamattomuutta, on mahdollista vapaa-ajan kalastusta ja istutuksia. Triploidien kalojen tuotanto mahdollinen tapa eristää viijelyt, kalat koitettu kalakannat geneettisesti arvokkaista. Tämän menetelmän käyttöä vielä tutkia mahdollisimman kokonaisuutena merkiksi mahdollisen ravintokäytön.

Tulevat mahdolliset kokeilut ja tutkimukset aloittaa suojelusta ja/tai hallitusta kalat.

Vestijäljessä triploidien kalojen tuotantoa, koska ne eivät käytä energiaa lisääntymiseen. Tyttöväestön lihanlaadun korkeana ympäristöolosuhteissa tuotannon tasalaatuisuuden varmistaminen kaupallisessa tuotannossa.

Triploidit kalat saattavat olla myös viivästyneen lisääntymiskauden ja sukukypsytyksen jälkeen aiheutuille taudille alttiita. Esimerkiksi kutuajan koirallisten stressin vuoksi lisääntyminen seuroi limakalvo voi vaurioitua. Tämä voi aiheuttaa (bakteeri-, virus- ja vesihomoniemi) on ollut kasvava ja erityisen vaikea ongelma makeanveden kalanviljelyssä. Taudinpurkausten viimeaikainen tutkimus on aikaansaanut sen, että osa kalanviljelijöistä on tiettynä kalalajien, -kantojen tuottamisesta suurten kalatyyppien.

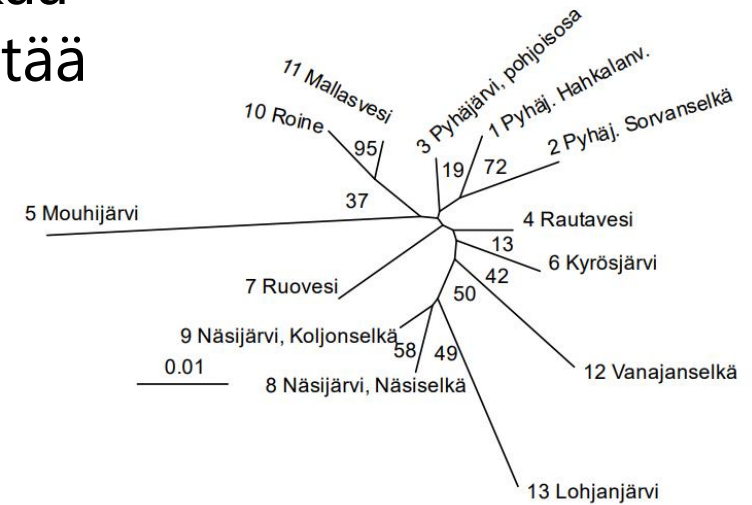


”Jos kuhan tuki-istutukseen ilmenee tulevaisuudessa todellista tarvetta, luontaisten kuhajärvien istutukseen tulisi käyttää vain järvien omia kantoja.

Mädinhankinta viljelyn lähtömateriaaliksi yhtä aikaa useista järvistä on tosin käytännössä vaikea järjestää taloudellisesti kannattavasti liiketoimintapohjalta.

Keskeisimpien vesistöjen osalta se ei liene kuitenkaan täysin mahdotonta.

**Tällöin toimintaan tulee järjestää riittävät resurssit ja hoitaa organisointi esimerkiksi yksityisten ja julkisten tahojen tiiviinä yhteistyönä.”**



Kuva 5. Pirkanmaan alueen kuhakannat ja tunnetut istutuskannat Vanajanselältä ja Lohjanjärveltä mukana 15 geenilokuksen avulla piirretyssä juurettomassa sukupuussa.