

Klimabiologi i oppdrettslaks - Oksygen begrensning og termisk toleranse

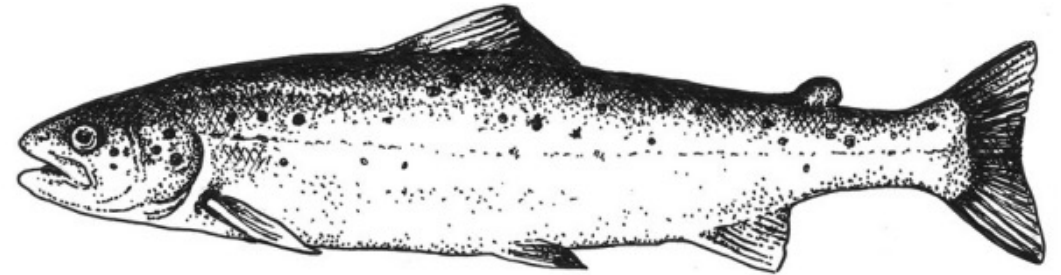
Malthe Hvas - Forskningsgruppe Dyrevelferd
Havforskningsinstituttet

Klimatilpasninger for fremtidens havbruk - FHF dialogmøte, 5. mai 2026



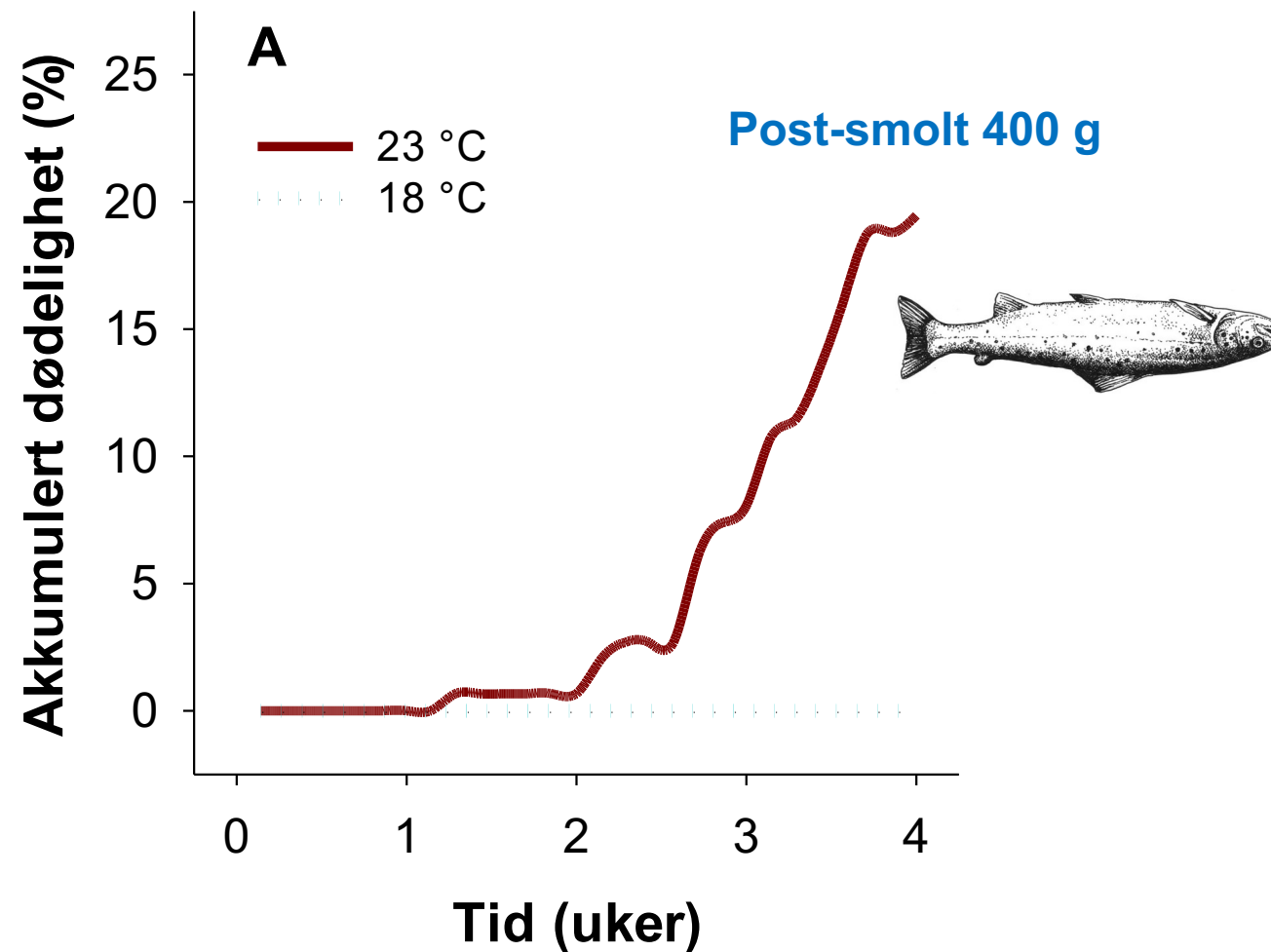
Oversikt

- Klima biologi i laks:
 - Temperatur og energiforbruk
 - Oksygen begrensning
 - Gjellefunksjon
 - Effekt av størrelse
- Effekter i Lakseoppdrett:
 - Appetitt
 - Tidlig kjønnsmodning og steril fisk
 - Sykdom
 - Stress og dødelighet
 - Negative synergieffekter
 - Seleksjon for klimarobust fisk?
- Kunnskapshuller og konklusjon



Termisk nisje i Atlantisk laks

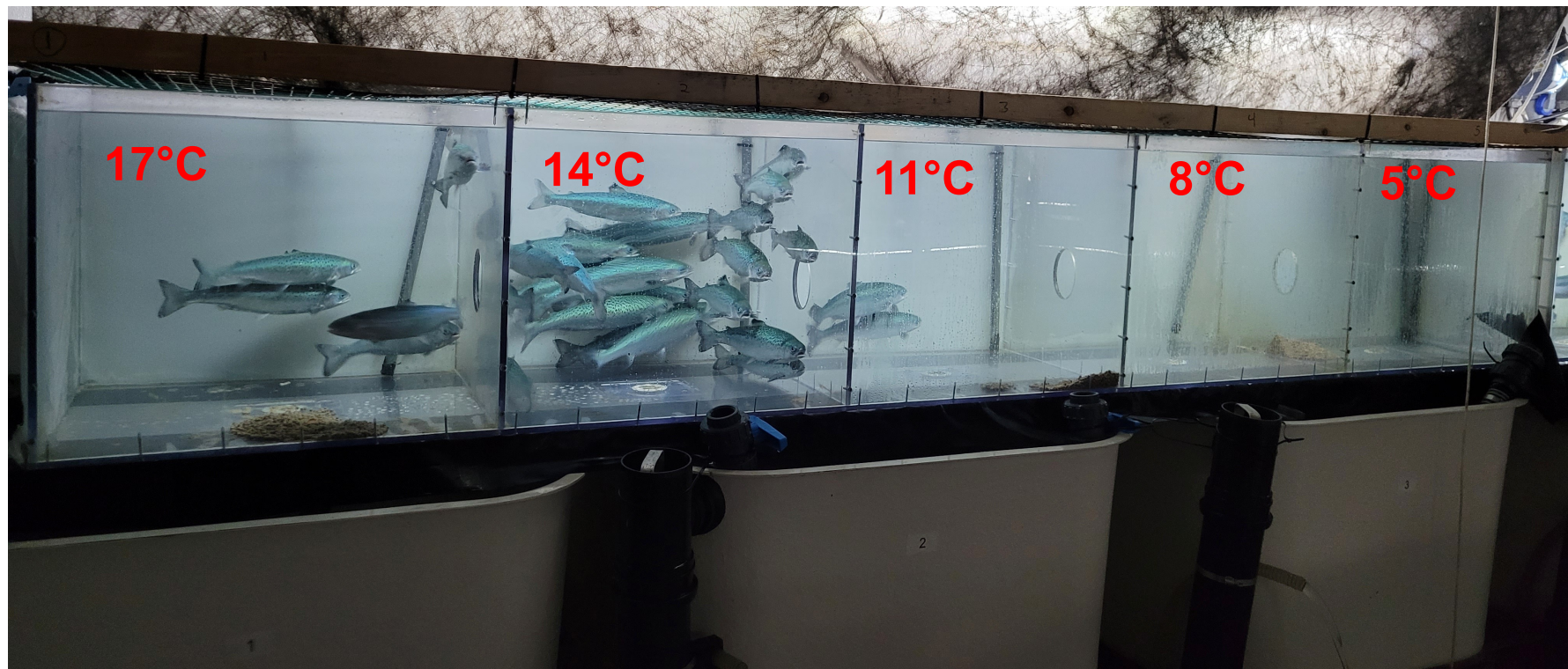
- Atlantisk laks er en kaldtvannns art.
- Kan ikke overleve langvarige perioder på **22-23 °C**.



Temperatur preferanse

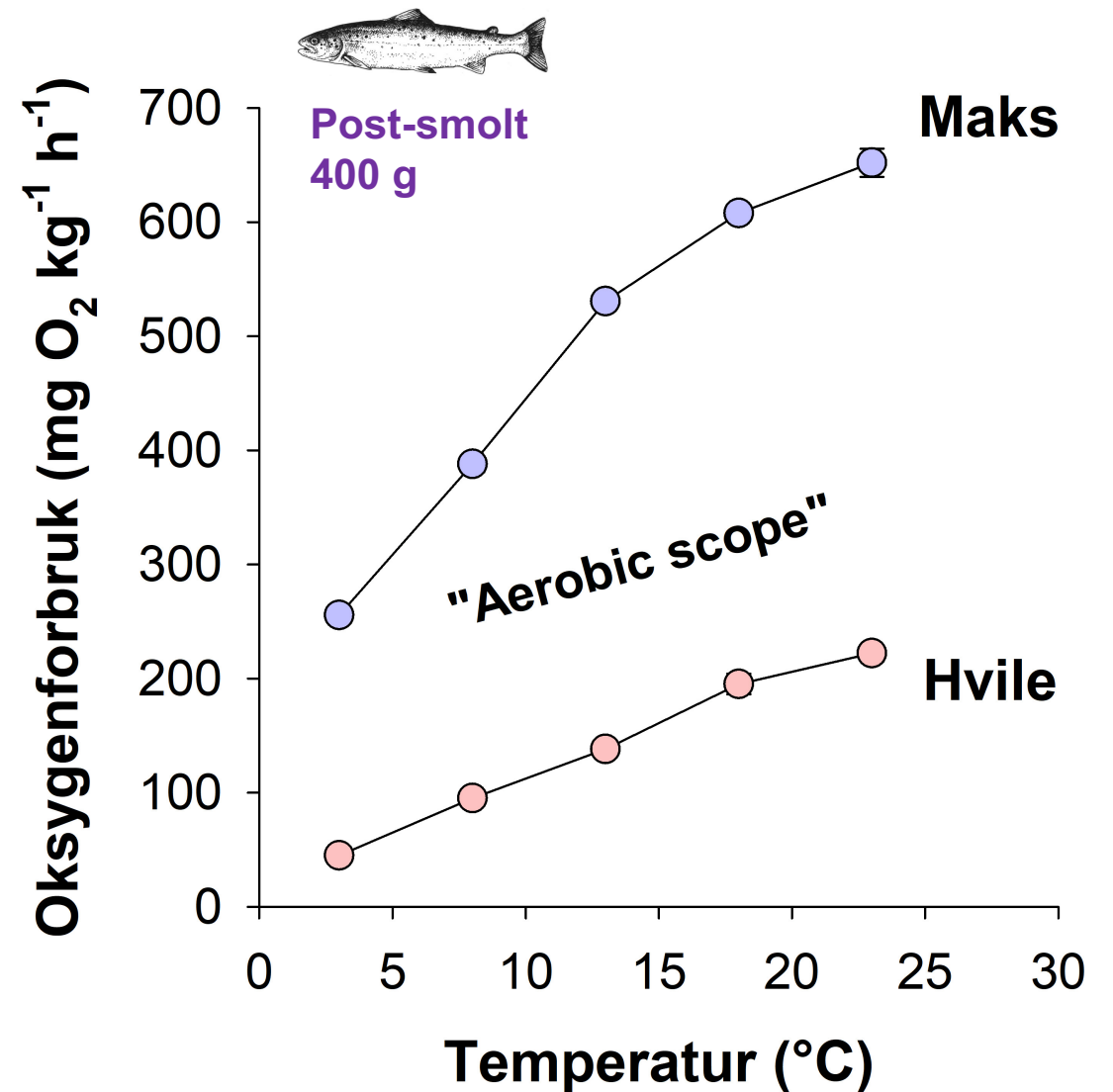
- Laksen velger ca. 14°C.
- Undgår høy og lav temperatur.

Miljøpreferanse system, Matre forskningsstasjon



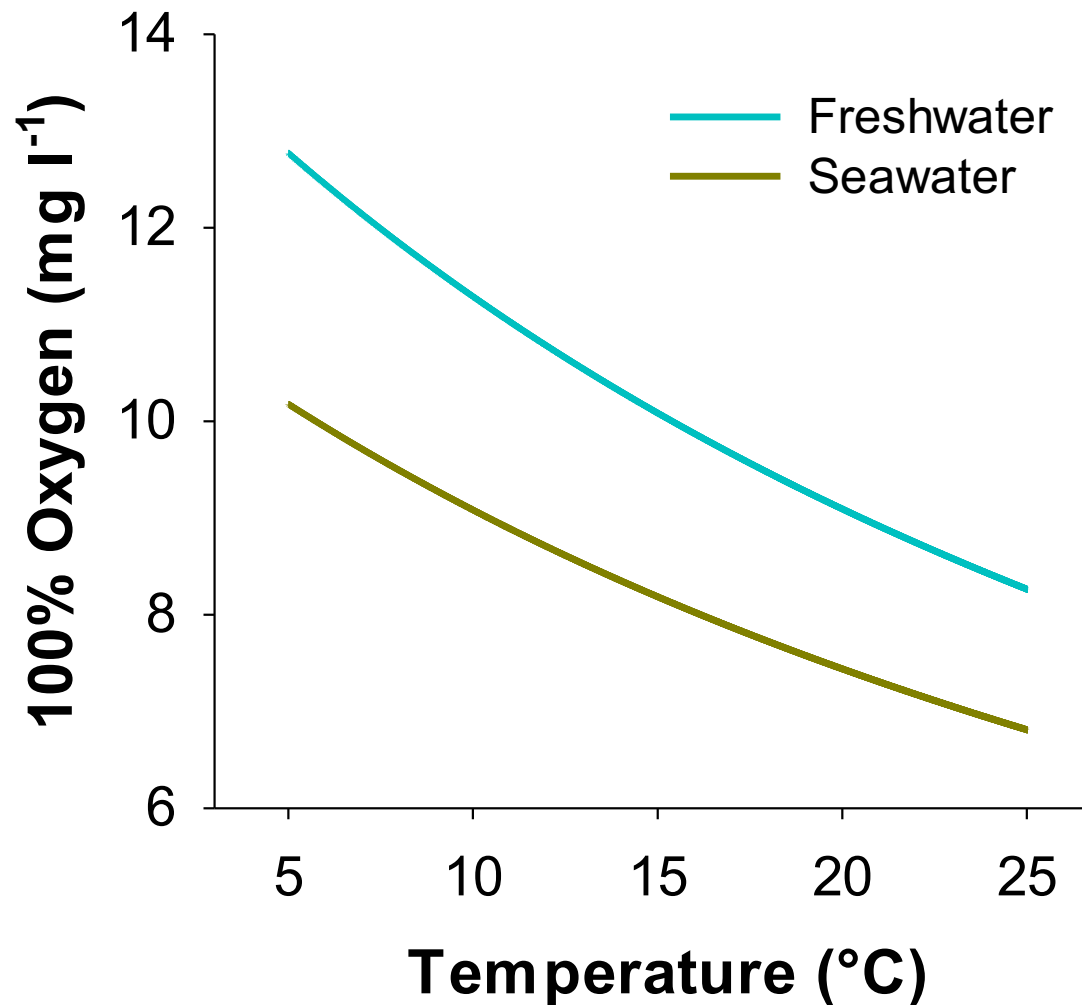
Energiforbruk og aerob kapasitet

- Laksen trenger mer oksygen på høy temperatur.
- Det koster fler resurser å leve på høy temperatur.



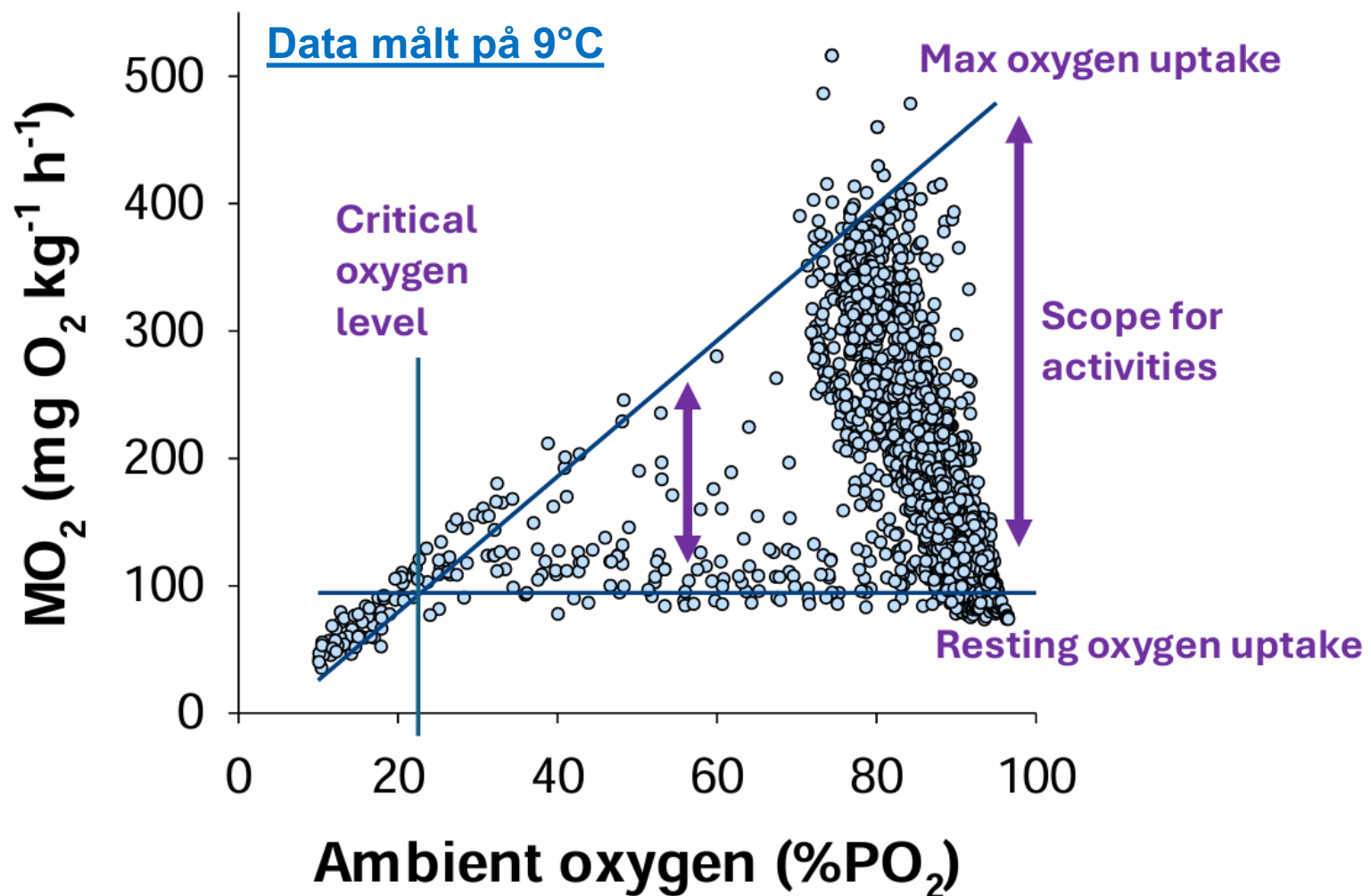
Mindre oksygen i vann på høy temperatur

- Og mindre oksygen i sjøvann.
- Høyere risiko for hypoksi når temperaturen øker.
- Oksygen blir en **begrensende miljøfaktor** på høy temperatur.



Oksygen forbruk i hypoksi

- Den aerobe kapasitet bliver gradvis lavere.
- Mindre energi til aktiviteter.
- Ved det kritiske oksygen nivå (P_{crit}) kveles fisken.
- Hypoksi toleransen blir dårligere på høyere temperatur.



Blir fisk mindre i fremtiden?

- Varmere miljøer vil favorisere mindre fiskestørrelser:
 - Akselerert metabolisme.
 - Raskere utviklingshastighet.
 - Tidligere reproduksjonsalder.
 - Mindre oksygen for å støtte økt energibehov.



Shrinking body size as an ecological response to climate change

Jennifer A. Sheridan* and David Bickford*

Opinion



Declining body size: a third universal response to warming?

Janet L. Gardner¹, Anne Peters^{2,3}, Michael R. Kearney⁴, Leo Joseph⁵ and Robert Heinsohn¹

¹Fenner School of Environment and Society, Australian National University, Canberra, ACT 0200, Australia

²Behavioral Ecology of Sexual Signals Group, Max Planck Institute for Ornithology, Vogelwarte Radolfzell, 78315 Radolfzell, Germany

³School of Biological Sciences, Monash University, VIC 3168, Australia

⁴Department of Zoology, The University of Melbourne, VIC 3010, Australia

⁵Australian National Wildlife Collection, CSIRO Ecosystem Sciences, GPO Box 284, Canberra, ACT 2601, Australia

Global warming benefits the small in aquatic ecosystems

Martin Daufresne^{a,b,1}, Kathrin Lengfellner^a, and Ulrich Sommer^a

^aFB3–Marine Ökologie, Leibniz-Institut für Meereswissenschaften (IFM-GEOMAR), 24105 Kiel, Germany; and ^bHYAX–Lake Ecosystems Laboratory, Cemagref, 13182 Aix-en-Provence, France

Edited by Stephen R. Carpenter, University of Wisconsin, Madison, WI, and approved June 3, 2009 (received for review February 25, 2009)

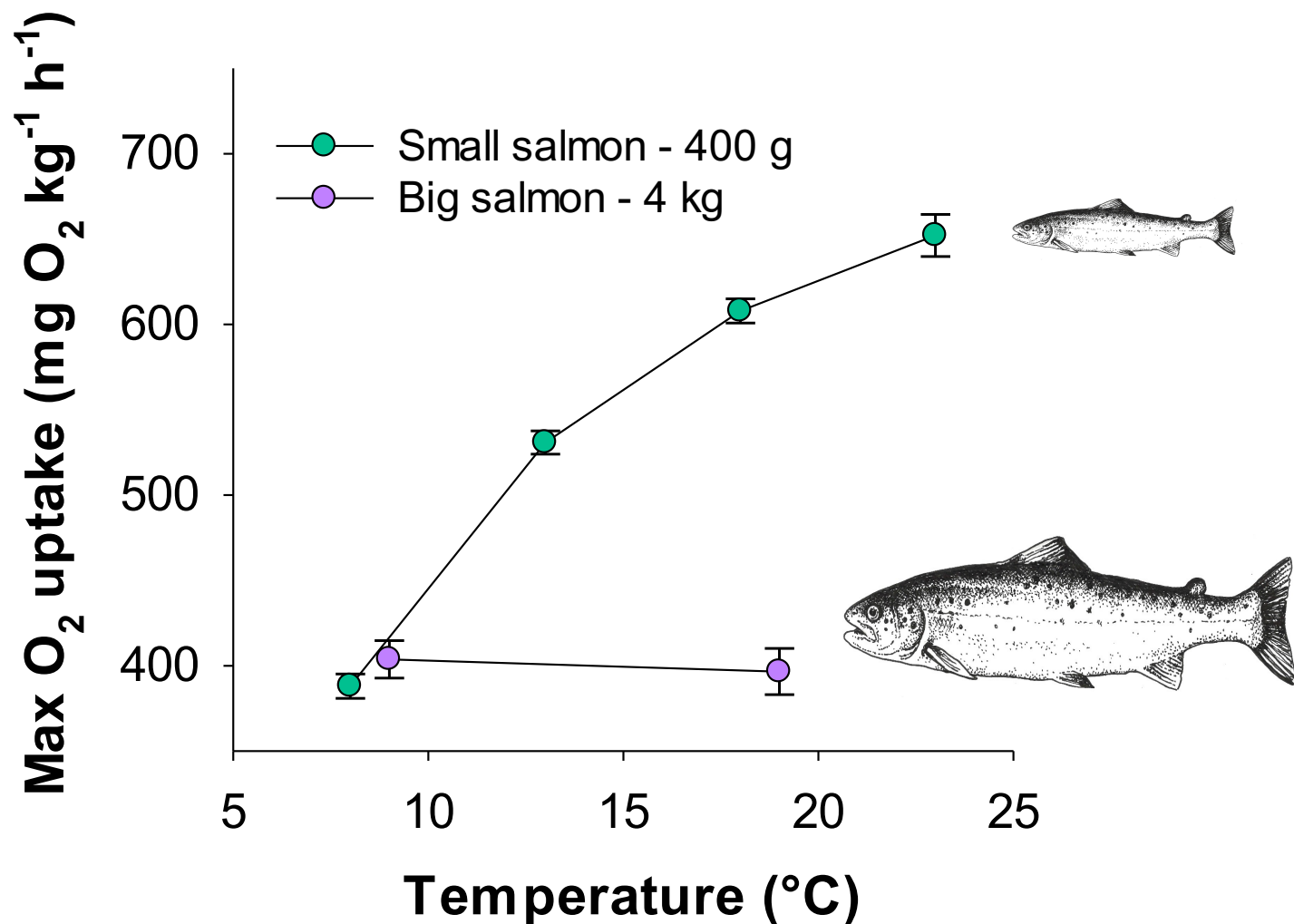
Understanding the ecological impacts of climate change is a crucial challenge of the twenty-first century. There is a clear lack of

Second, James' rule (13) states that, within a species, pop with smaller body size are generally found in warmer



Mindre laks kan øke maks oksygen opptak på høy temperatur

- Stor laks kan ikke...
- Oksygenbegrensning hos stor laks?
- Og mindre kapasitet til aktiviteter?



“The gill-oxygen limitation theory”

- Forklarer krympende kroppsstørrelser i et varmere klima.
- Todimensjonale overflaten av gjellelameller kan ikke holde tritt med det økende oksygenbehovet til voksende tredimensjonale legemer.
- Teorien har blitt kritisert:
 - Gjellelameller er brettede overflater og øker tilsvarende med kroppsstørrelse.
 - Fysiologiske data tyder ikke på oksygenbegrensning i gjellene ved høye temperaturer.



SCIENCE ADVANCES | REVIEW

ECOLOGY

The gill-oxygen limitation theory (GOLT) and its critics

Daniel Pauly

The gill-oxygen limitation theory (GOLT) provides mechanisms for key aspects of the biology (food conversion efficiency, growth and its response to temperature, the timing of maturation, and others) of water-breathing

Copyright © 2021
The Authors, some
rights reserved;
exclusive licensee
American Association
for the Advancement
of Science. No claim to
original U.S. Government
Works. Distributed

Received: 13 March 2017 | Accepted: 4 July 2017

DOI: 10.1111/gcb.13831

OPINION

WILEY Global Change Biology

Sound physiological knowledge and principles in modeling shrinking of fishes under climate change

Daniel Pauly | William W. L. Cheung

Global Change Biology

Global Change Biology (2017) 23, 3449–3459, doi: 10.1111/gcb.13652

OPINION

Models projecting the fate of fish populations under climate change need to be based on valid physiological mechanisms

SJANNIE LEFEVRE¹ , DAVID J. MCKENZIE² and GÖRAN E. NILSSON¹

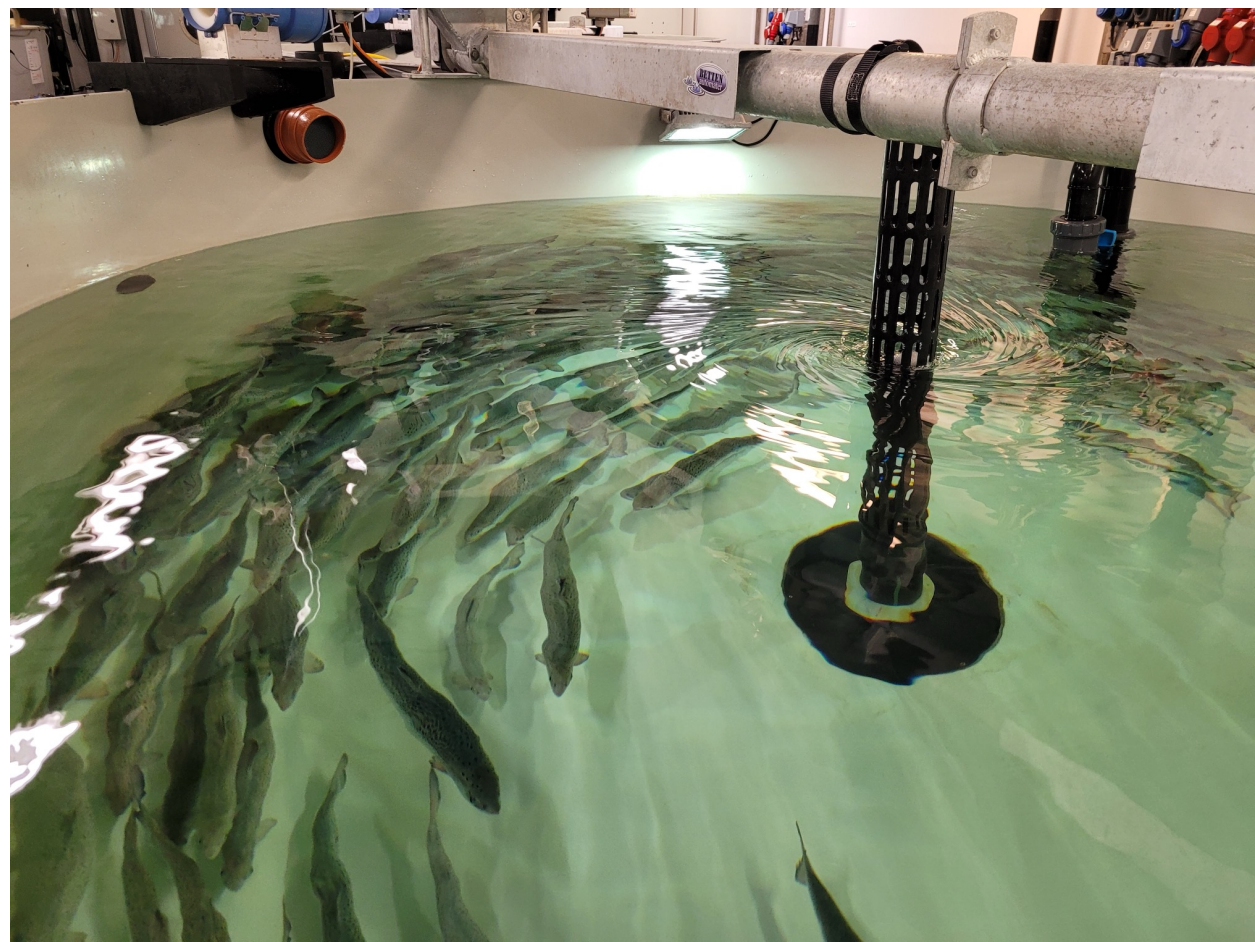
¹Department of Biosciences, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, University of Oslo, Blindernveien 31, Postbox 1066 Blindern, Oslo NO-0316, Norway, ²Centre for Marine Biodiversity Exploitation and Conservation, UMR 9190 MARBEC (CNRS, IRD, IFREMER, UIM), Place E. Bataillon cc 093, 34095 Montpellier, France

2025: Nye eksperimenter på stor Atlantisk laks

Stor fisk – 5 kg

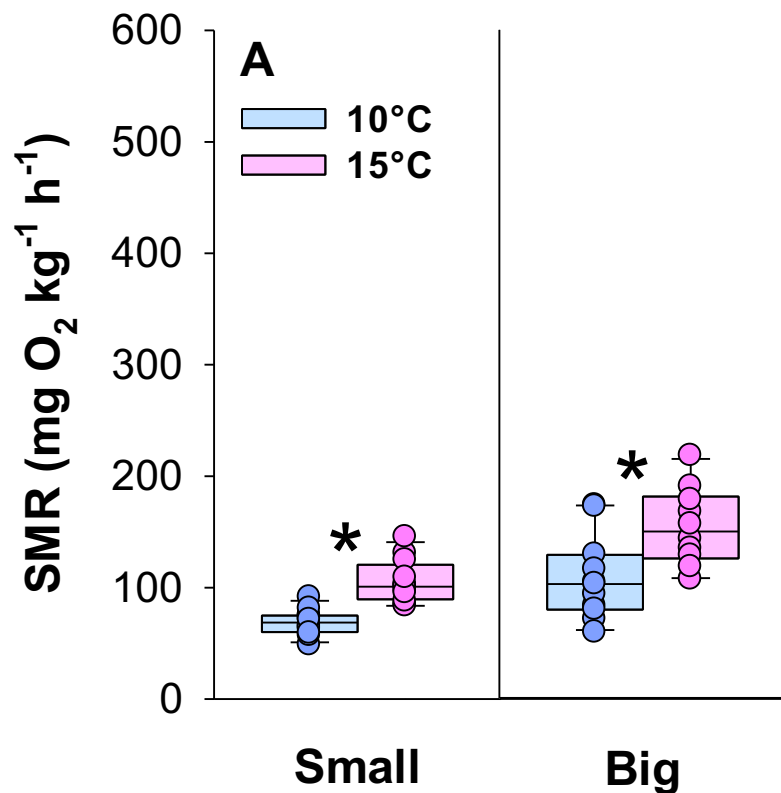


Små fisk – 0.5 kg

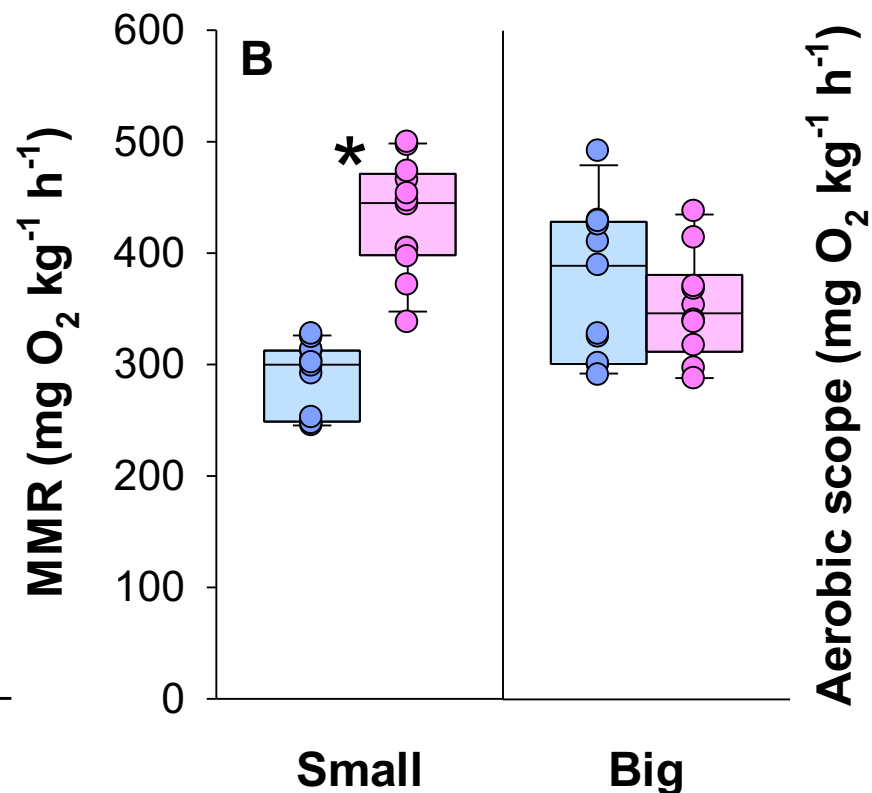


Okxygen begrensning i stor laks på høy temperatur

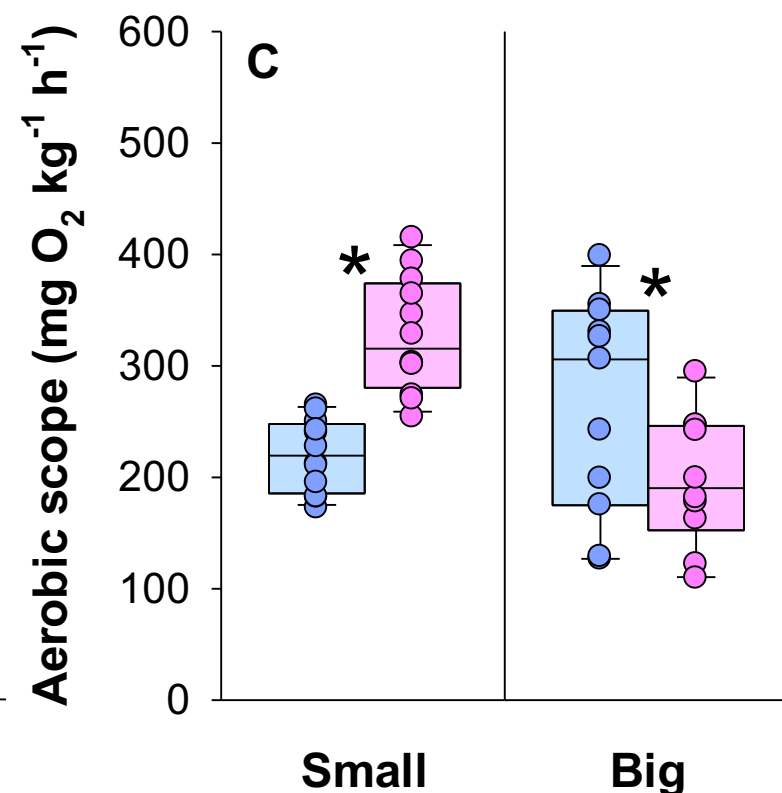
«Hvile oksygen forbruk»



«Maks oksygen forbruk»

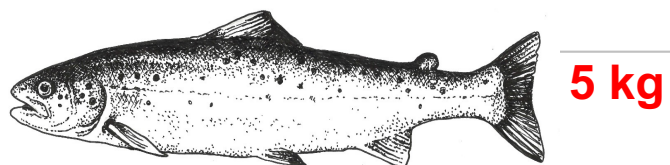
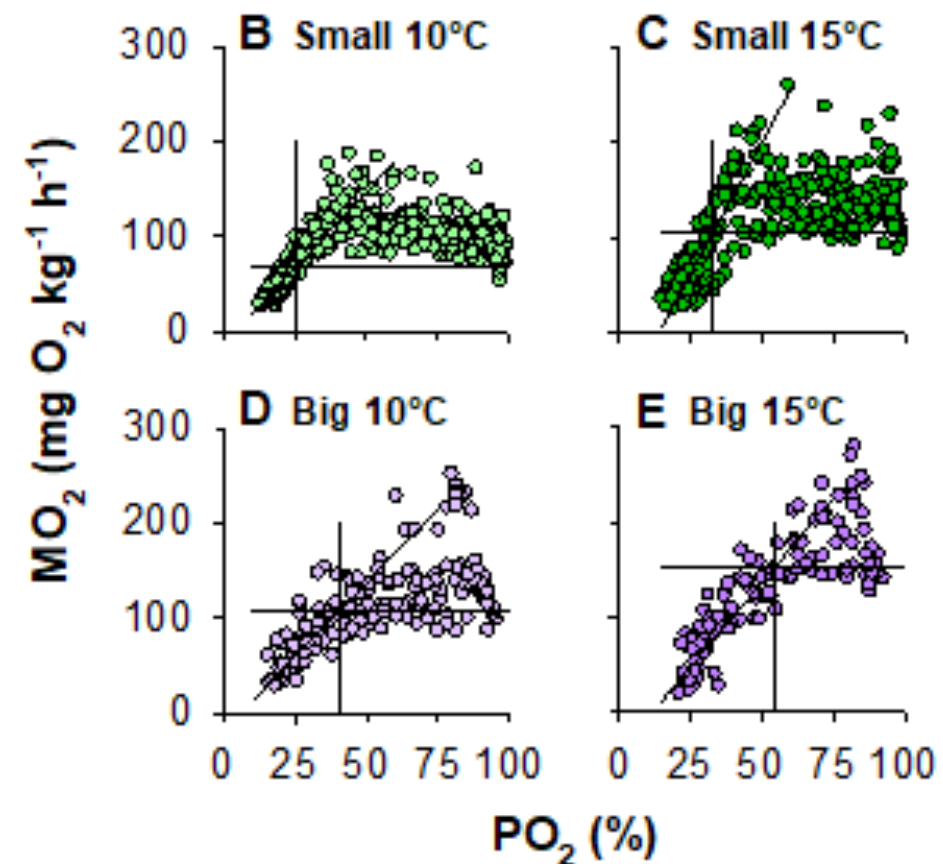
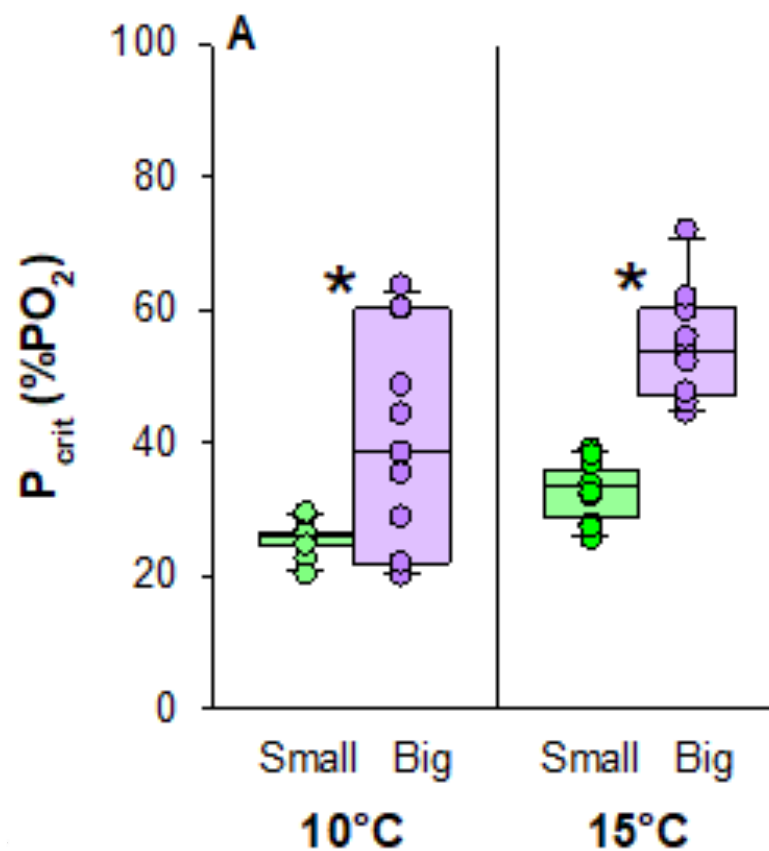


«Energi til aktiviteter»



Stor laks tåler hypoksi dårligere

- Og høy temperatur gjør P_{crit} dårligere.



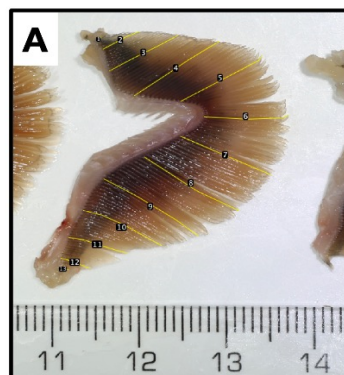
Måling av gjelleoverflateareal

- Begrenser gjellene oksygenopptak i stor laks?




~0.5 kg
salmon

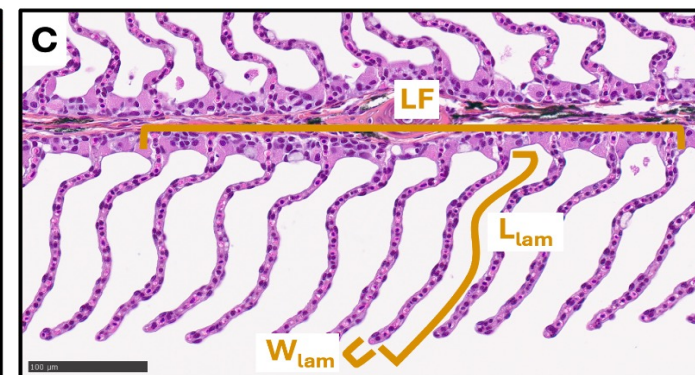
**Macroscopic
sagittal view**



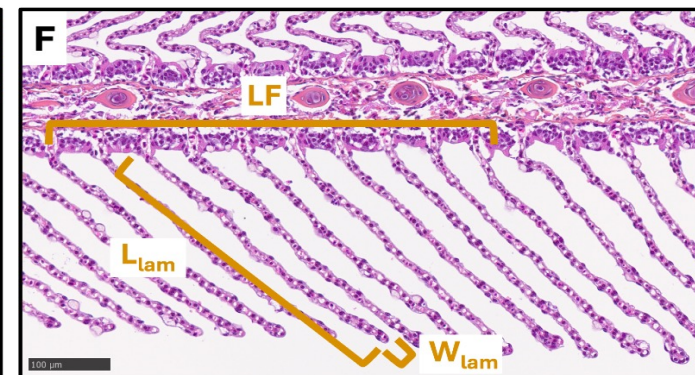
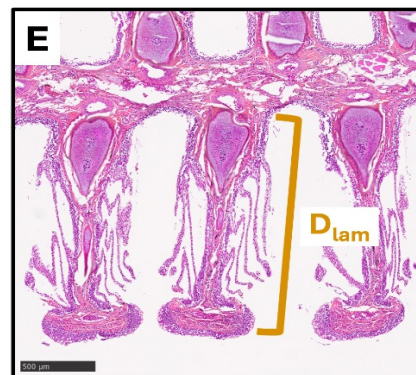
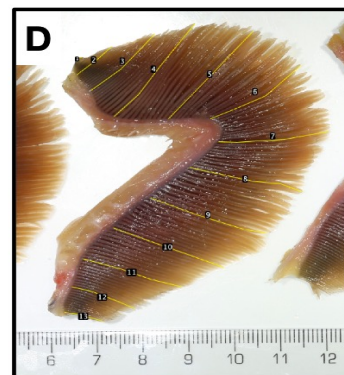
**Microscopic
transverse view**



**Microscopic
sagittal view**

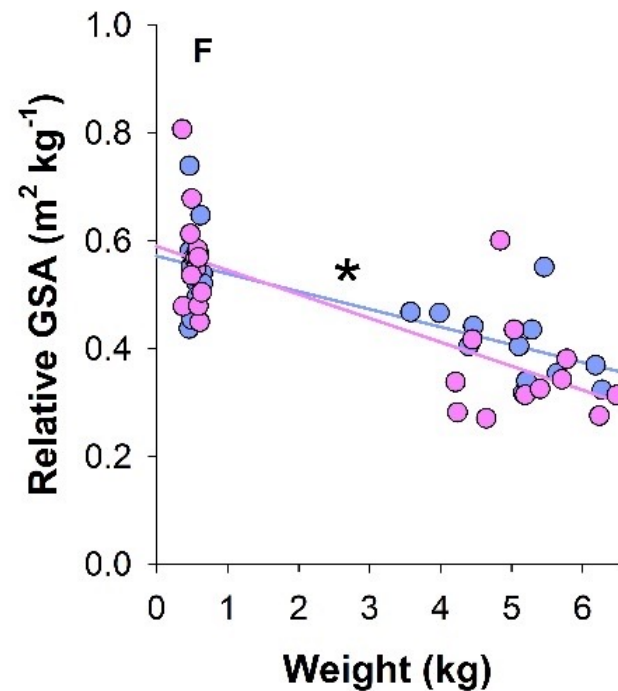
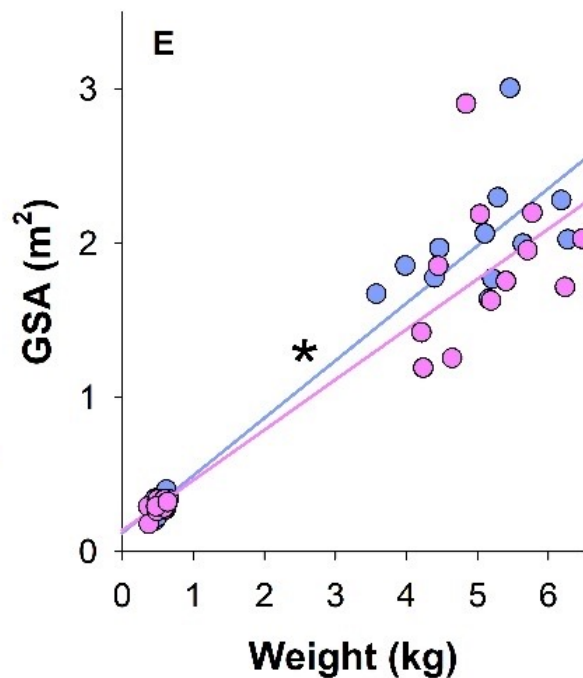
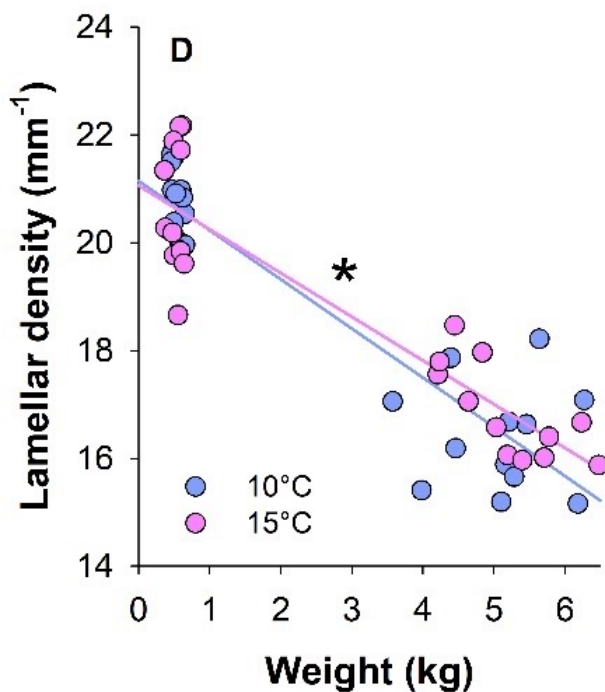



~5.0 kg
salmon



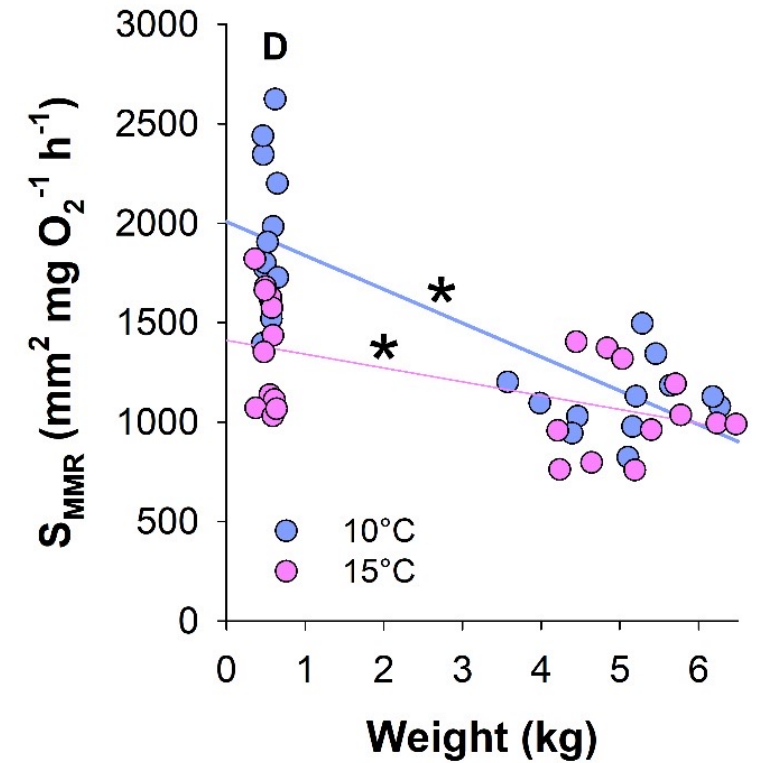
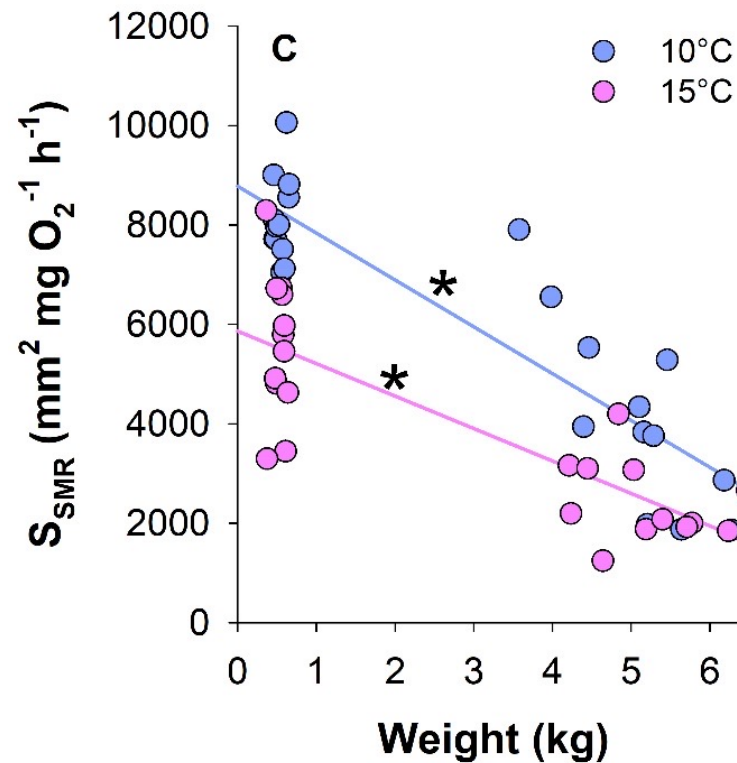
Gjelleoverflateareal / Gill surface area (GSA)

- Stor laks har lavere densitet av gjellelameller.
- Og lavere GSA per kg.



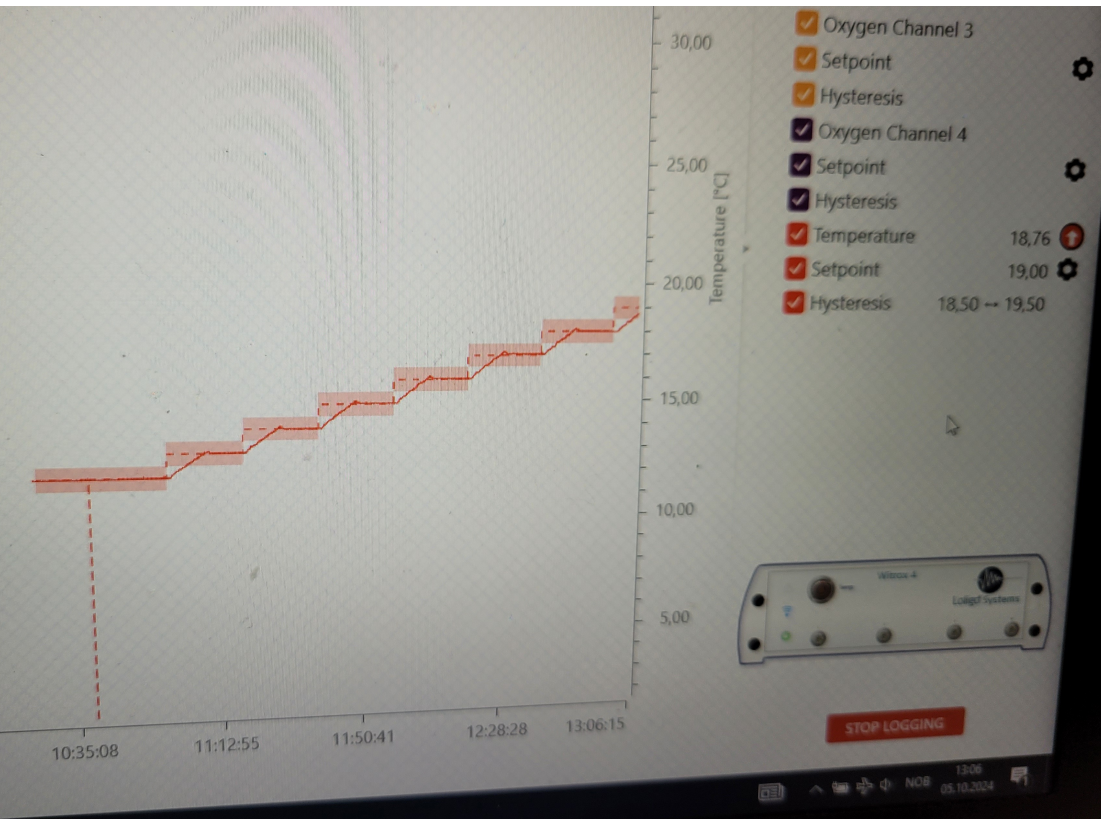
S-ratio: Gjelleoverflateareal delt på oksygenopptak

- Hvis GSA begrenser oksygenopptaket hos stor fisk, bør S-forholdet synke.
- Og det gjør det!



Akutte grenseverdier for høy temperatur

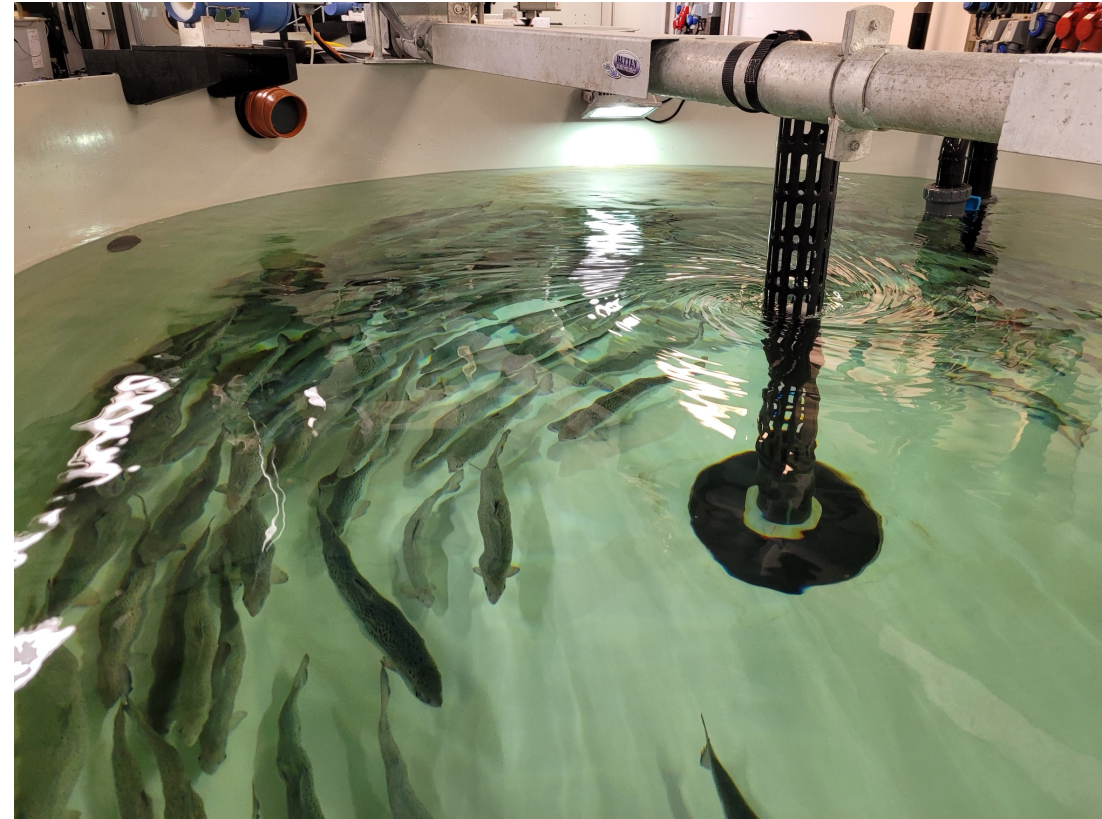
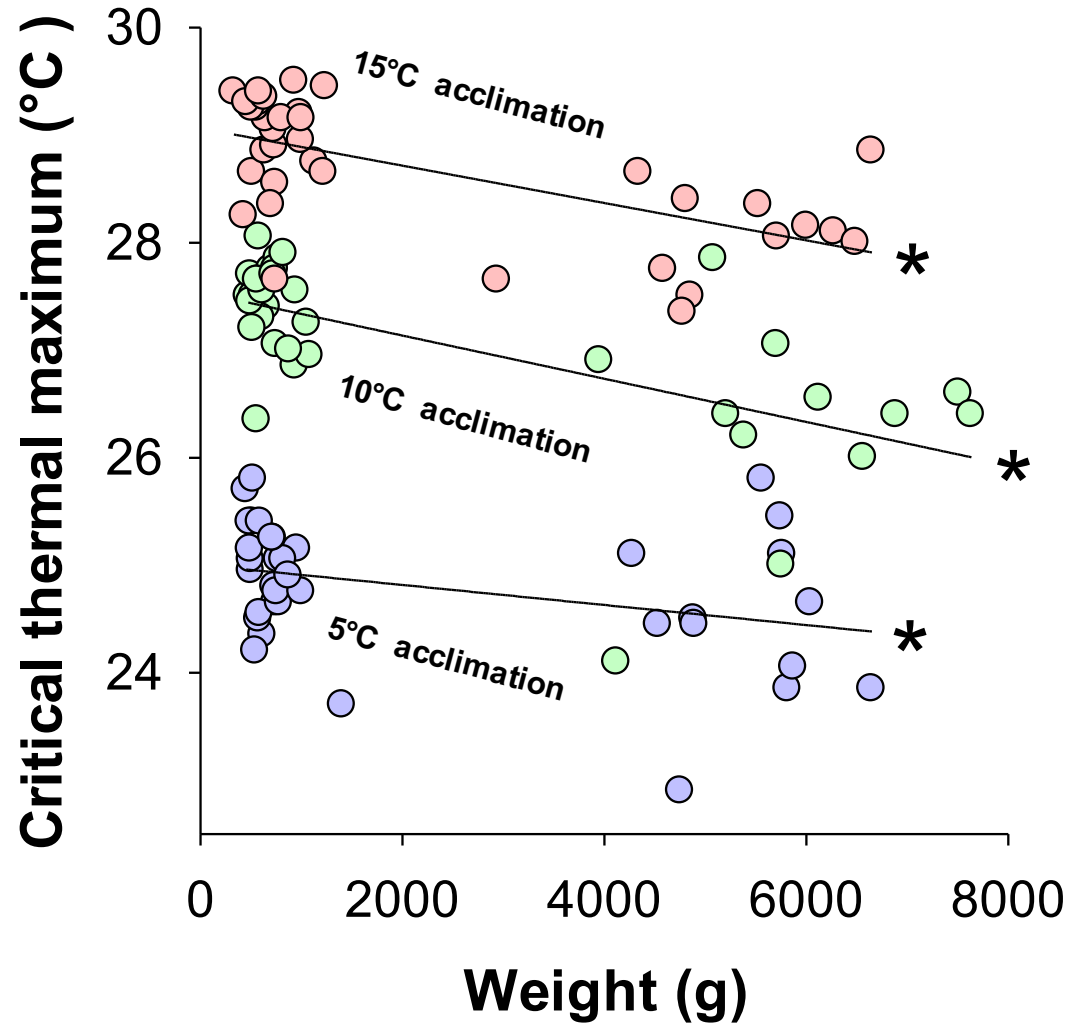
- Måling av kritisk temperatur (CT max) i Atlantisk laks.



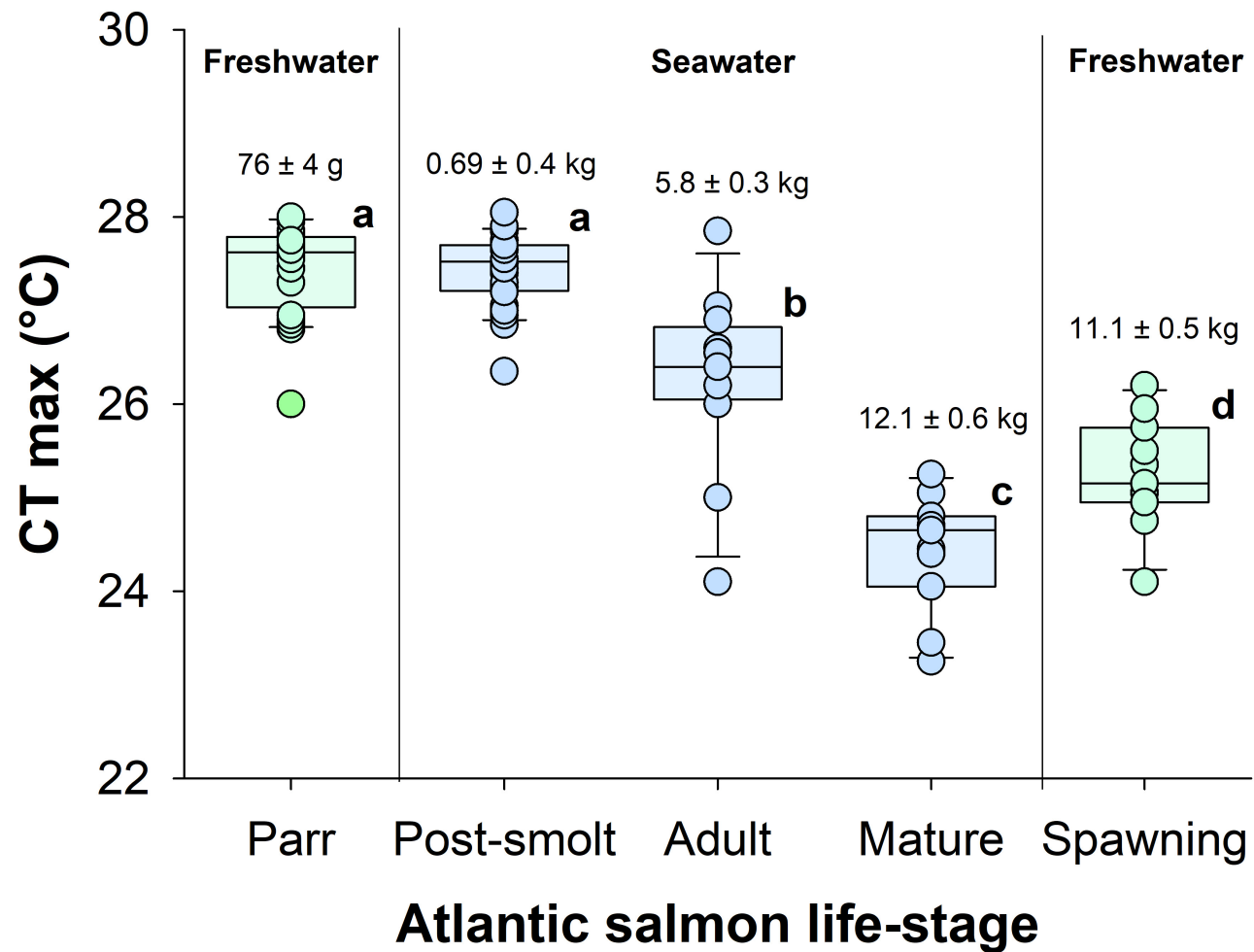
“Loss of equilibrium”



Avhenger av akklimeringstemperaturen og størrelse



Og varierer på ulike livsstadier



Gyteklar
hunnfisk



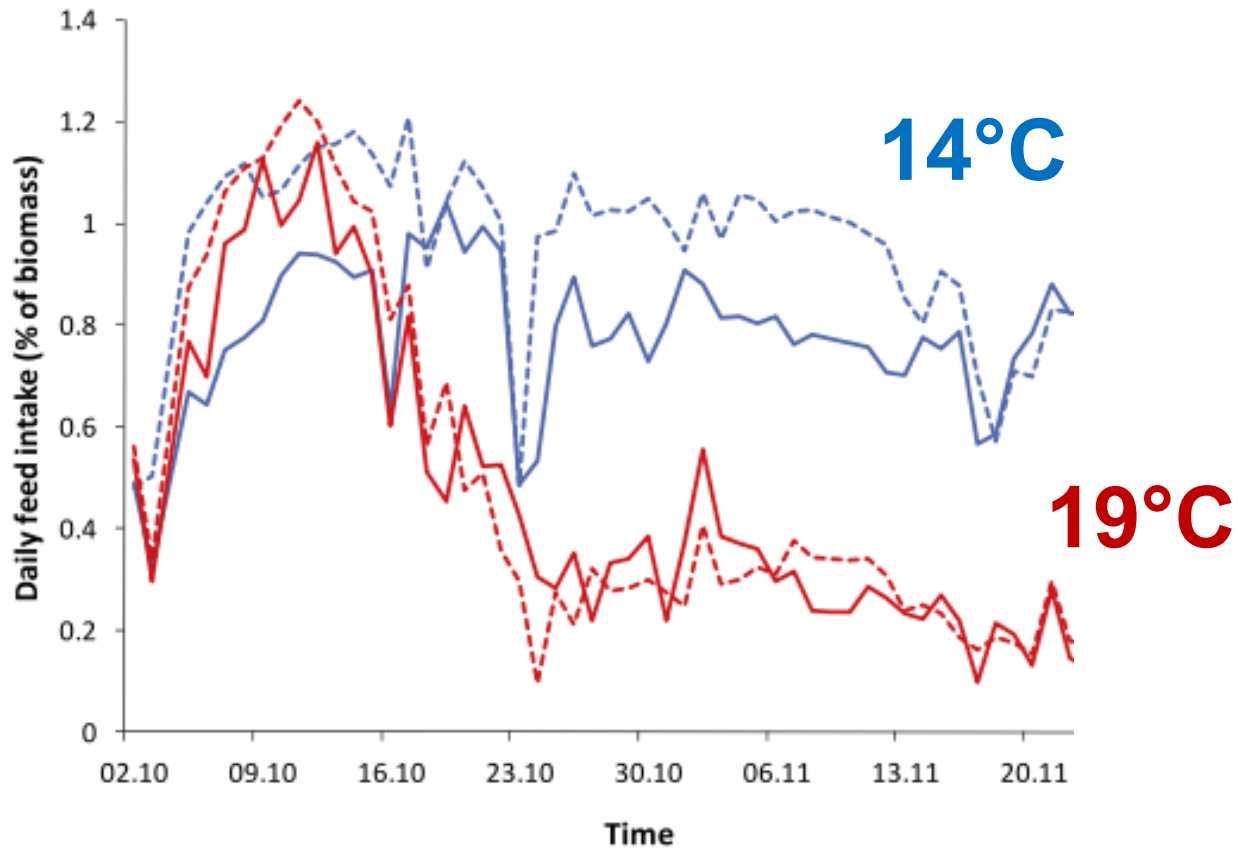
Parr

Effekter i Lakseoppdrett

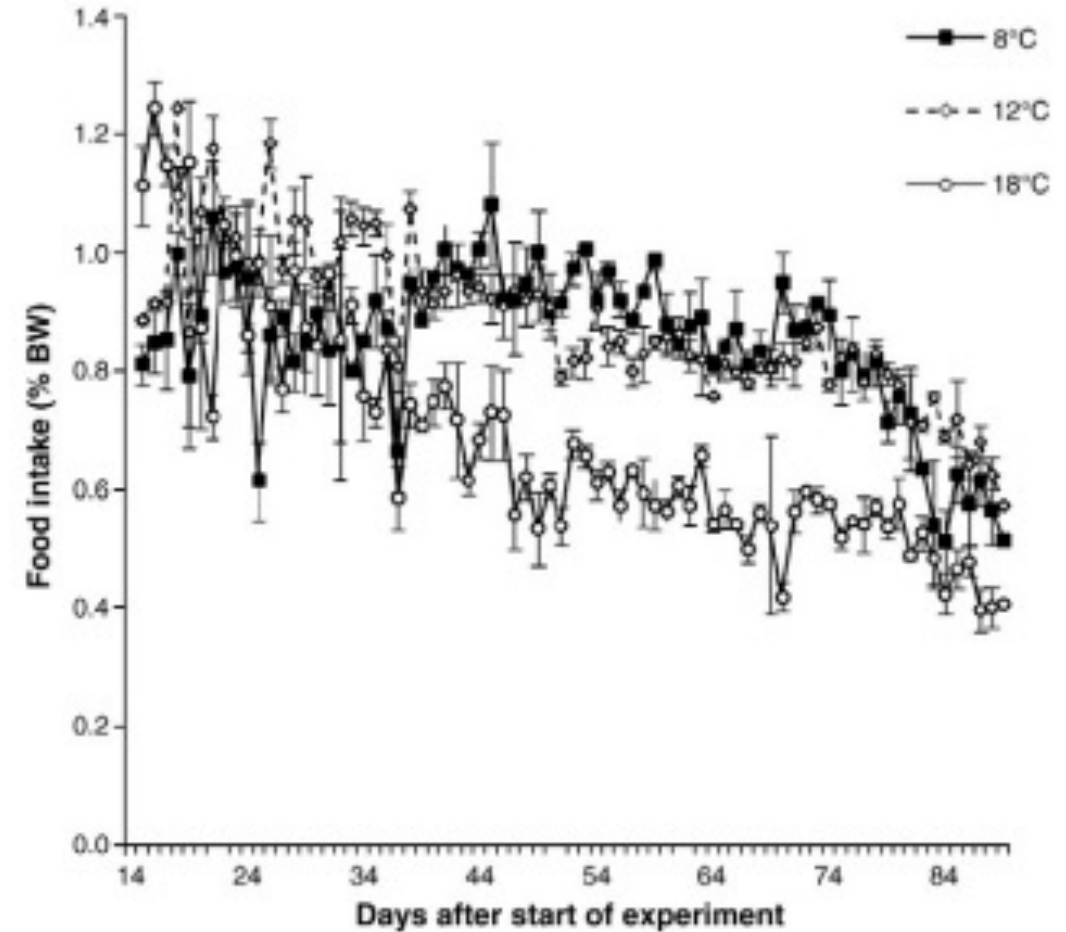
- Nu har vi hørt om basal klima biologi i laks.
- Anvendt akvakultur:
 - Appetitt
 - Tidlig kjønnsmodning og steril fisk.
 - Sykdom
 - Stress og dødelighet
 - Negative synergieffekter
 - Seleksjon for klimarobust fisk?



Lav appetitt og vekst på 18-19°C



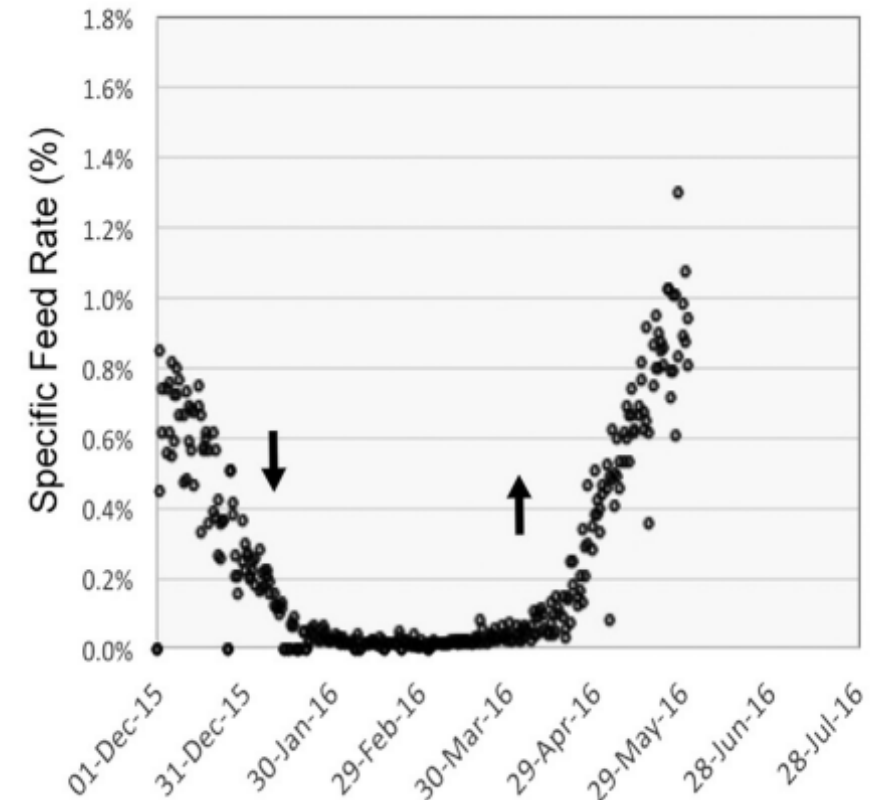
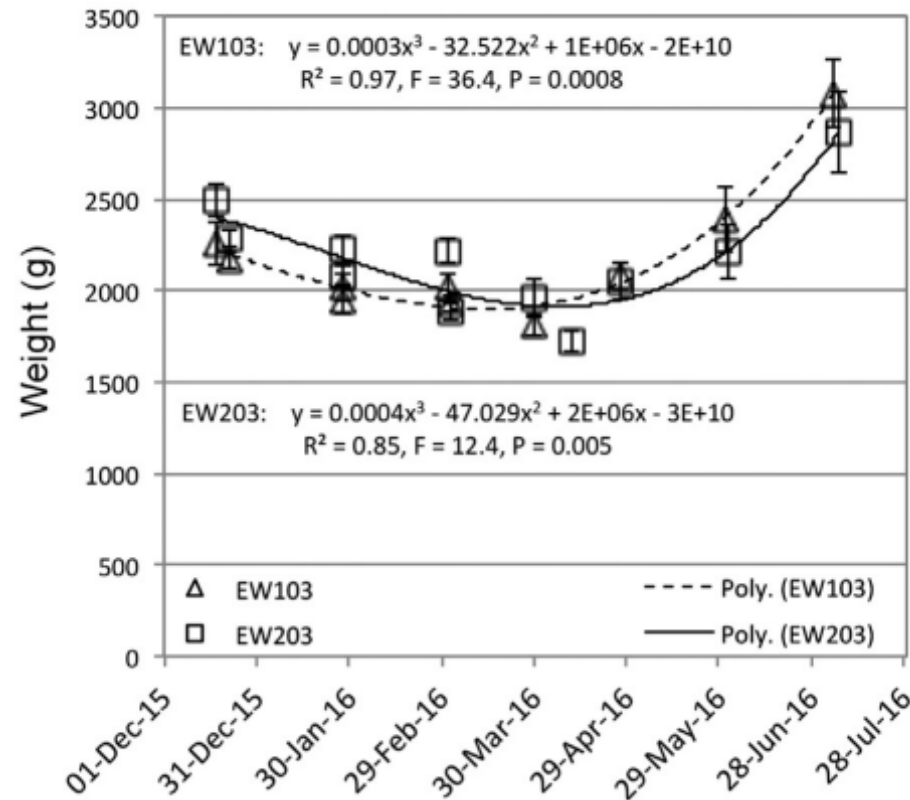
Hevrøy et al. 2012 Gen. Comp. Endocrin.



Kullgren et al. 2013 Comp. Biochem. Physiol. A

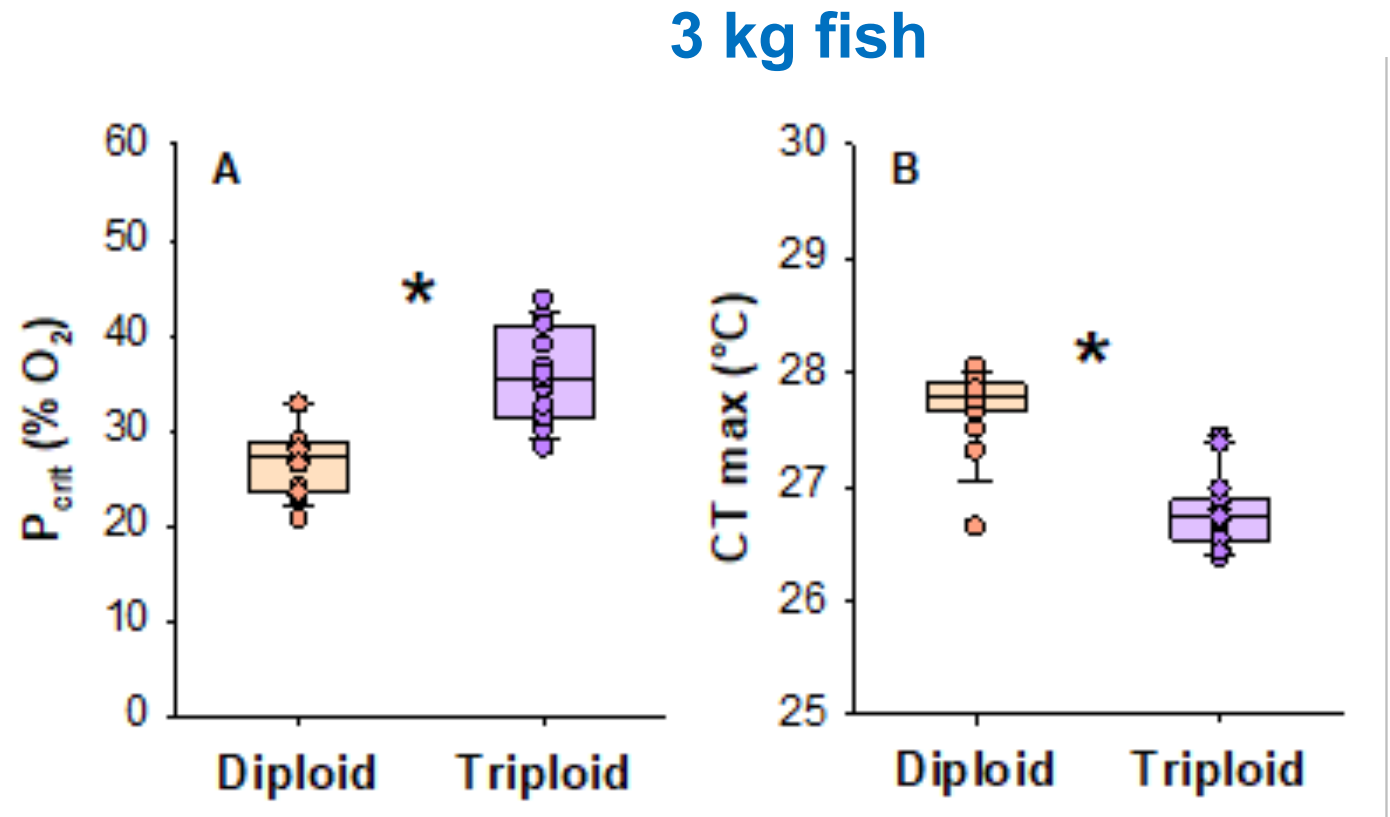
Tasmansk hetebølge: Null appetitt og negativ vekst

- Maks temperatur på 22.9°C og 117 dager over 18°C.



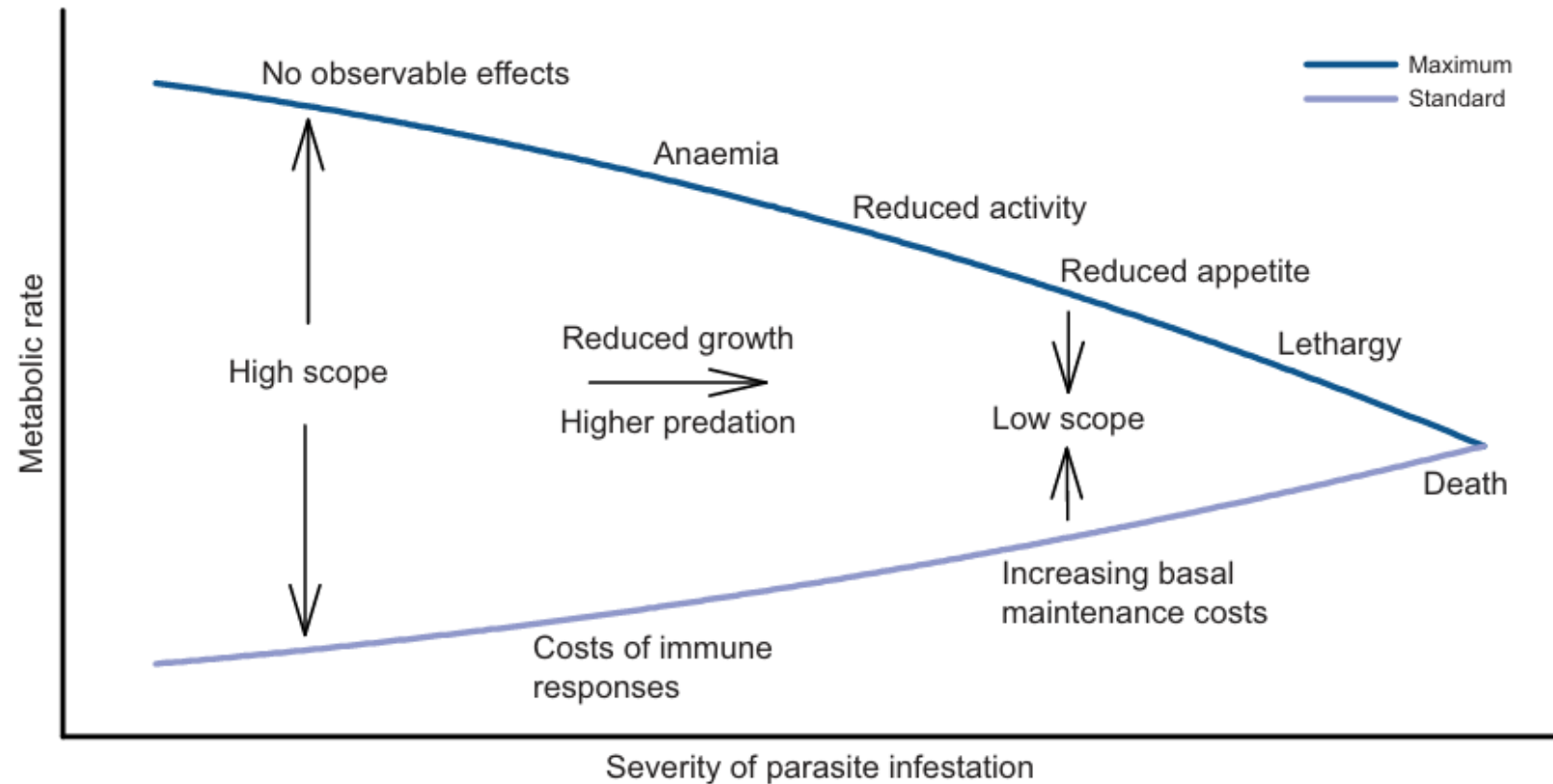
Tidlig kjønnsmodning og steril triploid laks

- Tidlig kjønnsmodning er et problem på høy temperatur.
- Steril triploid laks er mindre klimarobust i den marine vekstfase.
- Alternativ steril laks?



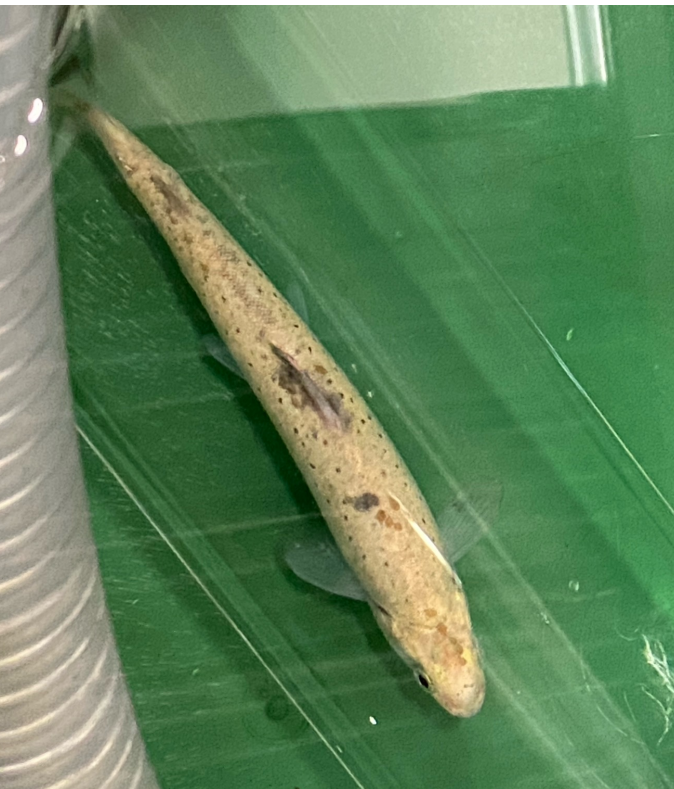
Sykdom

- Patogener påvirker oksygenforbruk basert på alvorlighetsgraden.
- General negativ synergi med høy temperatur.

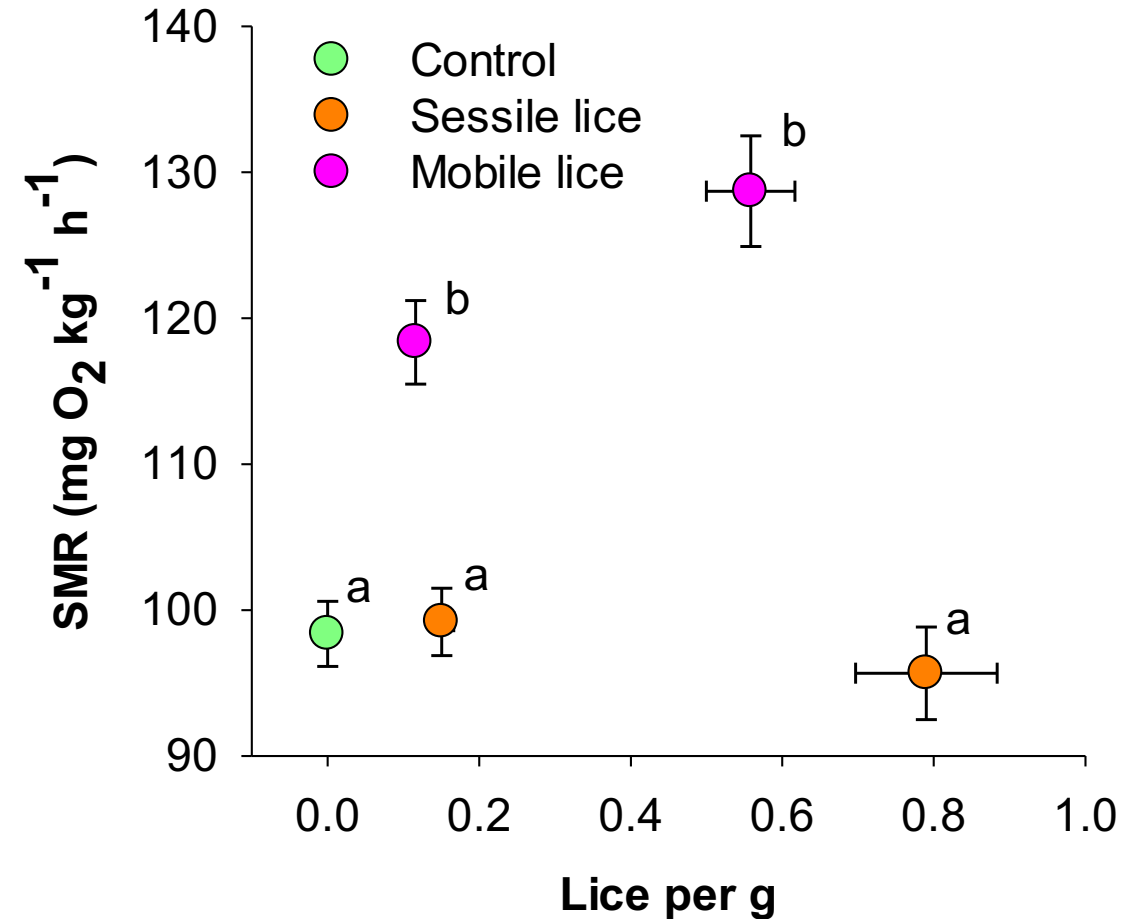


Økt oksygenforbruk i laks med mobile lus

- 20-30% øking under hvile på 9°C.
- Lusen utvikler seg og reproduserer hurtigere på høy temperatur.

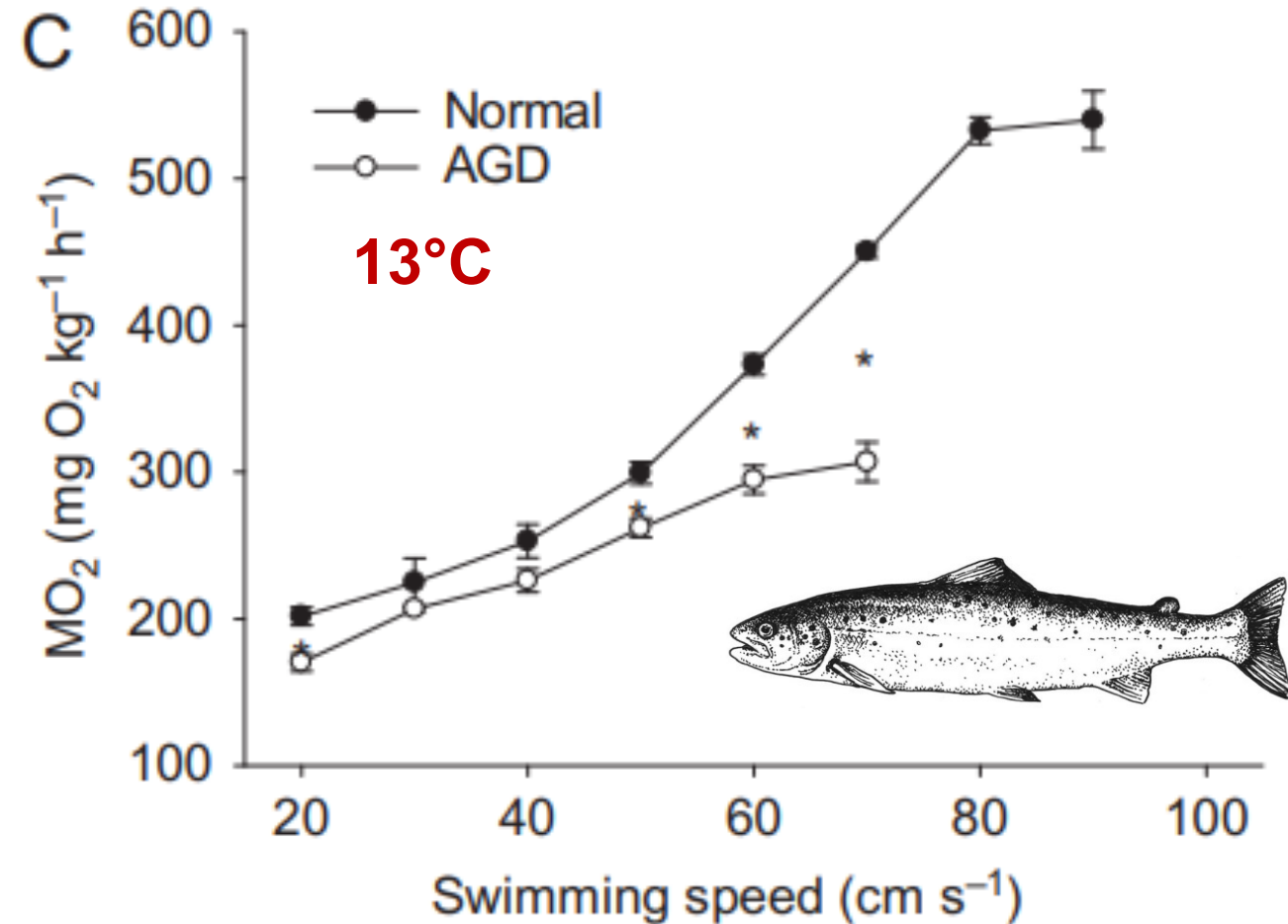
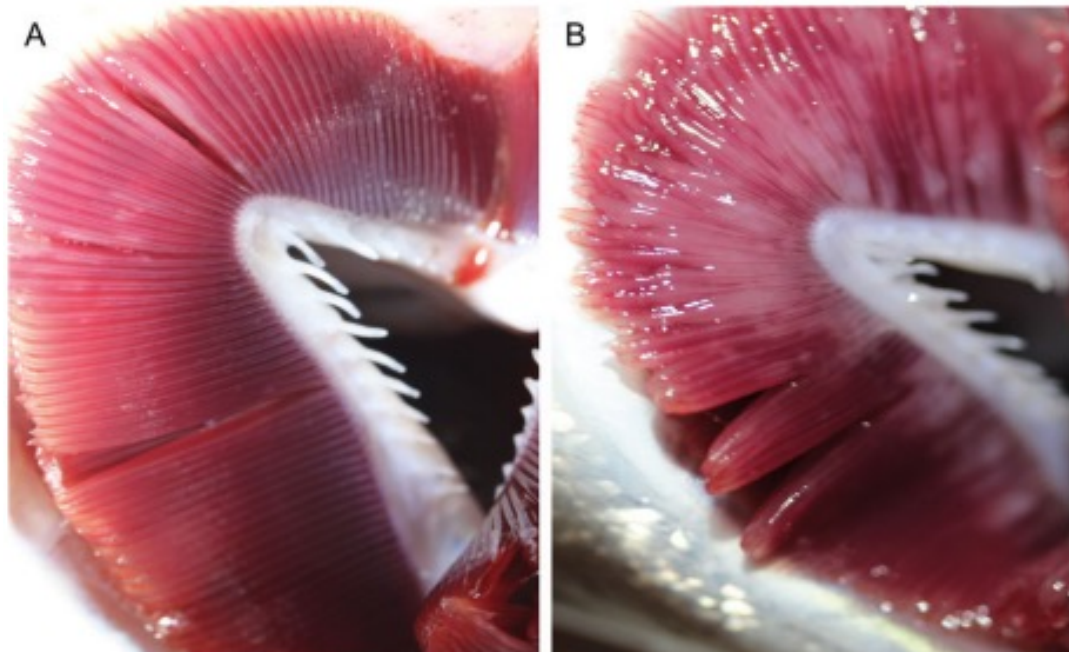


Laks med lus i respirometer.



Gjelleamøber reduserer kapasiteten for oksygenopptak

- Mindre kapasitet for aktiviteter når gjellene blir ødelagt.
- Effekten vil bli kraftigere på høy temperatur.



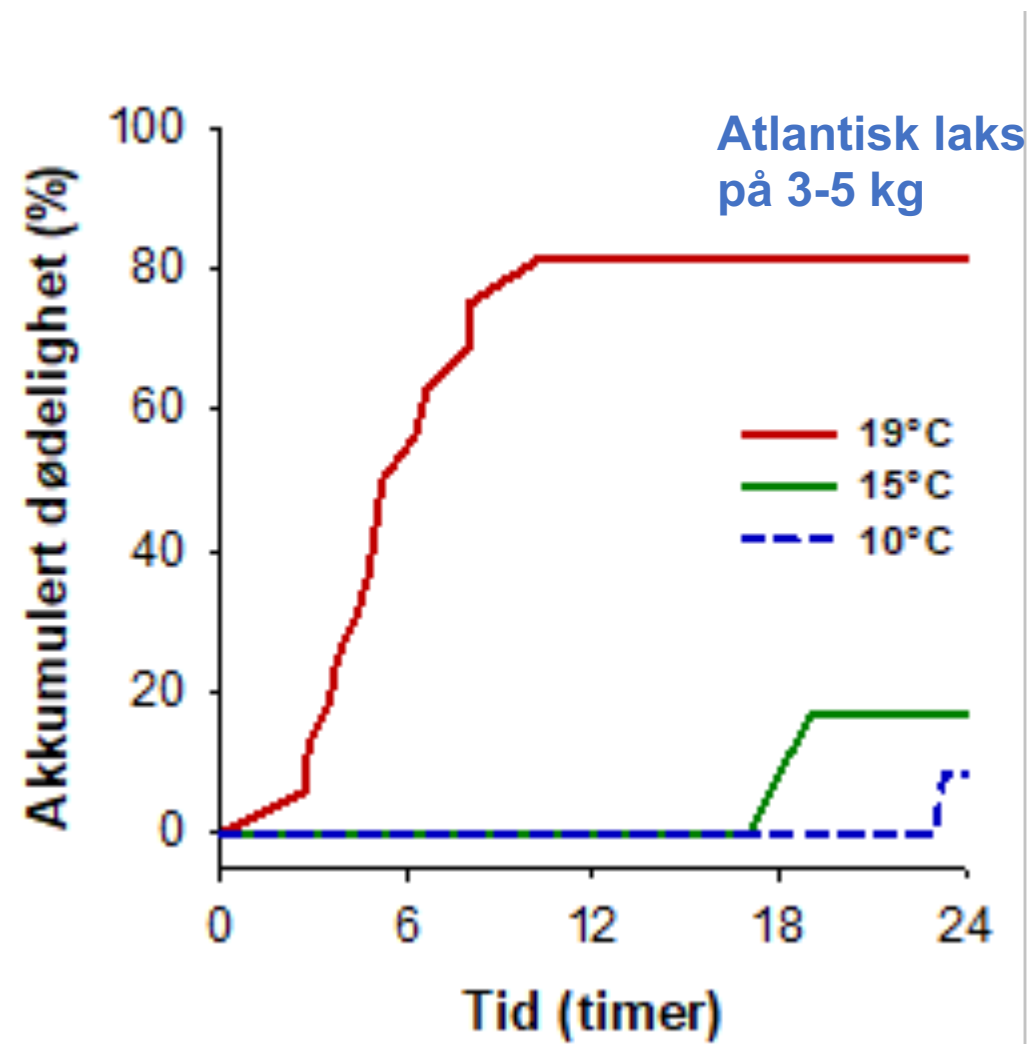
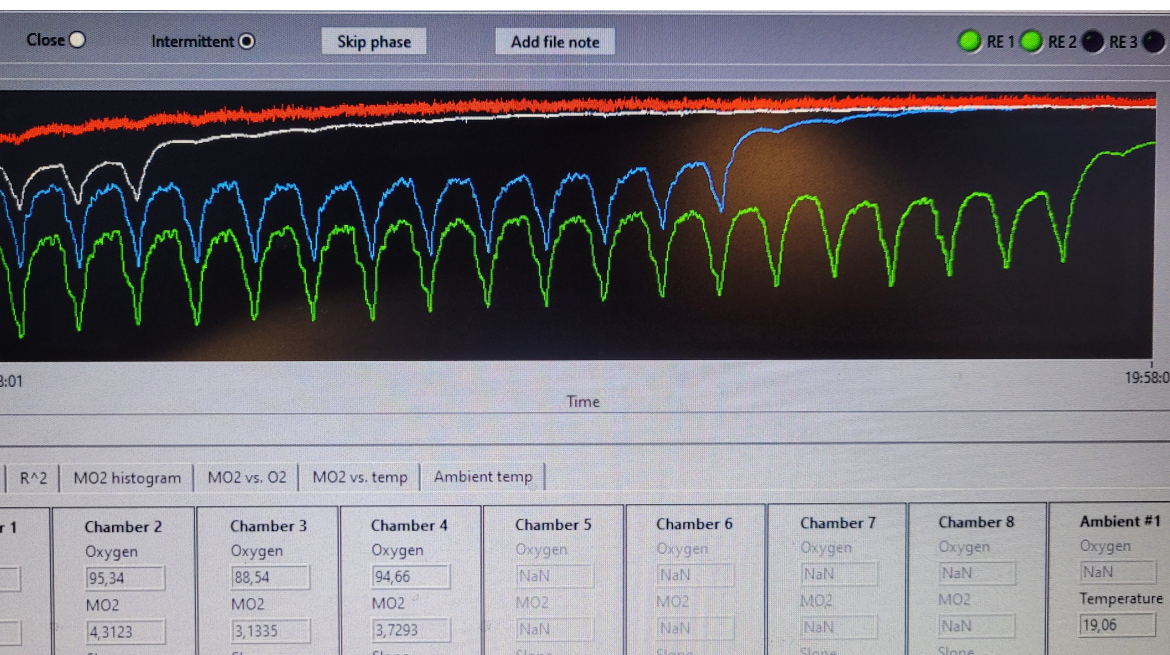
Katarakter (grå stær)

- Risiko øker på høy temperatur.
- Oksidativ stress.
- Ernæringsbehov (histidin).



Dødelighet etter akutt stress i stor laks

- Eksempelvis etter avlusninger og anden håndtering.
- Oksygen begrensning i stor laks på høy temperatur?



Negative synergieffekter

- Lus, avlusninger, hypoksi, mindre robusthet.
- Dårlig velferd og høy dødelighet.

Lav oksygen
Sykdom
Stress
Høy temperatur



Seleksjon for klimarobust fisk?

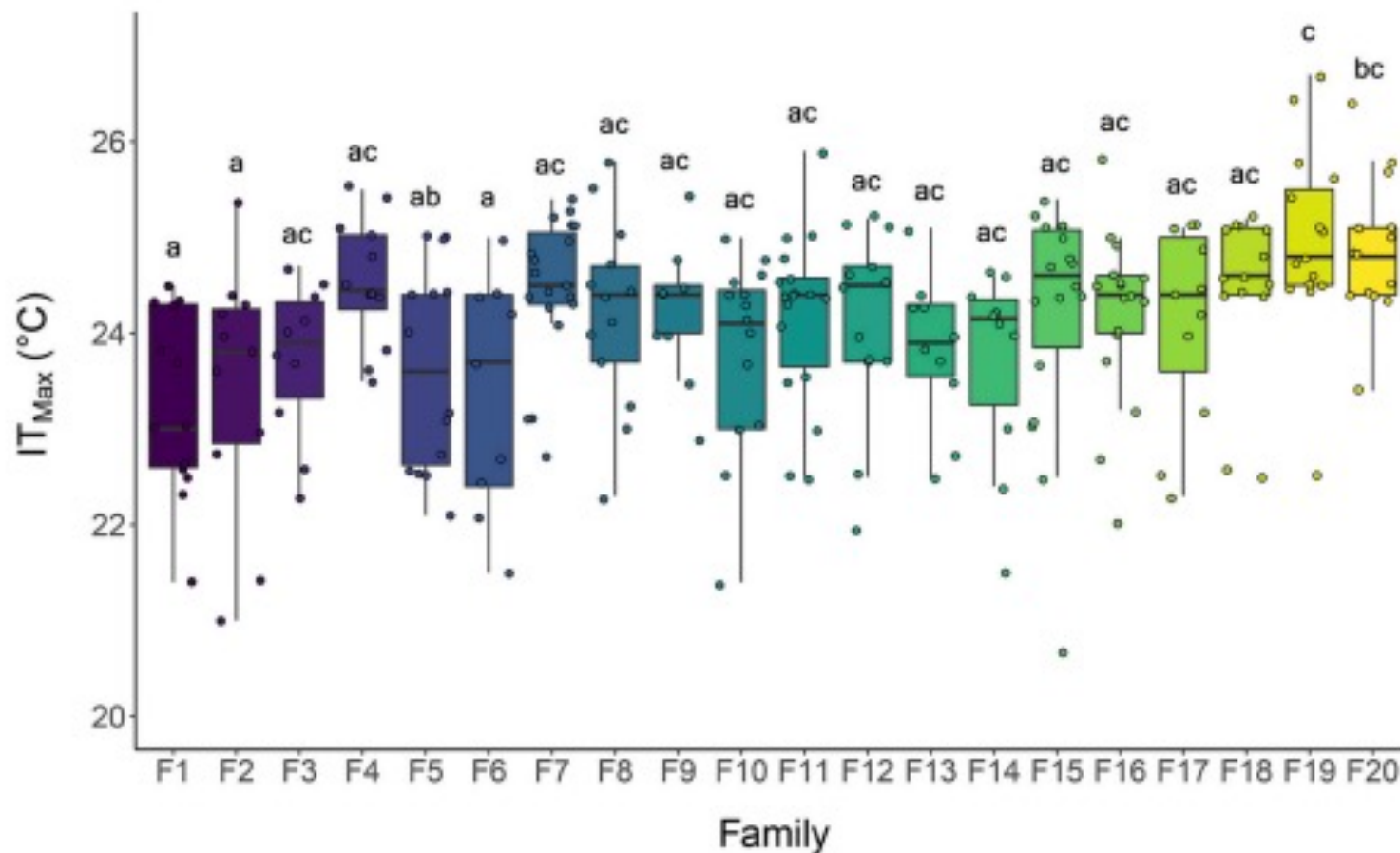
- Hva er en klimarobust fisk?
- Hvordan selektere?
- Atlantisk laks bliver aldri en tropisk fisk.

- Der er få studier og bare på små fisk.



Eksempel: Temperatur toleranse i ulike familier

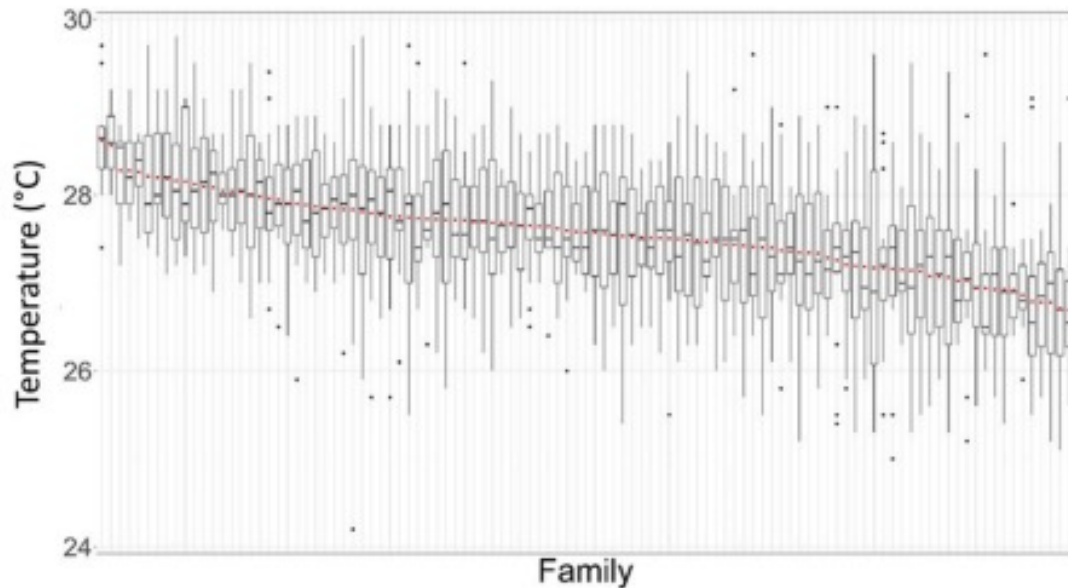
- Trinnvis termisk maksimum (IT_{Max}) (0.2 °C per dag).
- Gjennomsnittlige familie IT_{Max} varierer fra 23.3 °C til 25.0°C hos Atlantisk laks på 300-400 g.



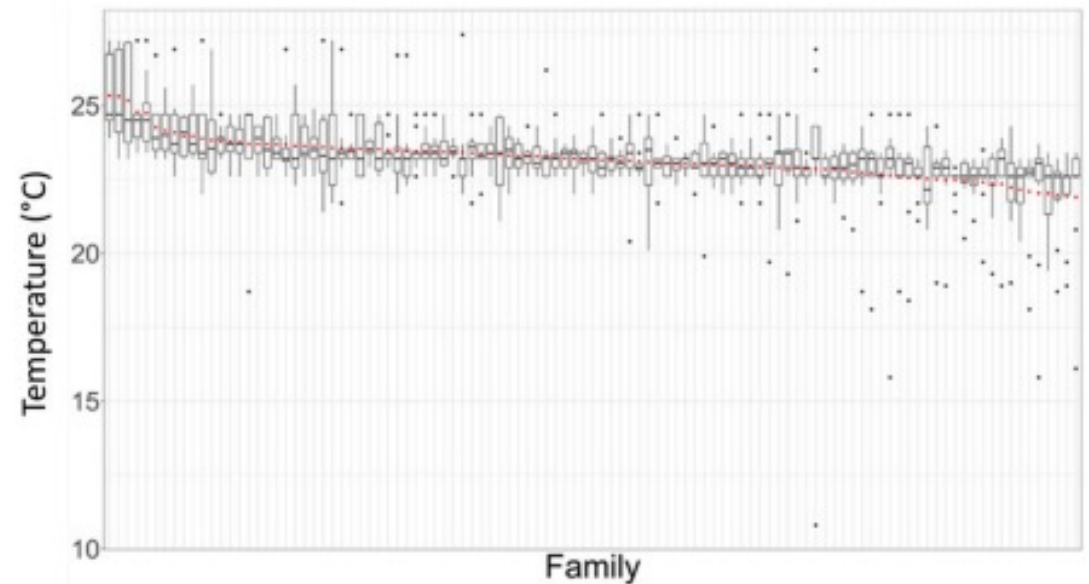
Et annet eksempel i Atlantisk laks

- Noe arvelighet. Men CT_{Max} og IT_{Max} var ikke korrelert mellom familier.
- Så hva skal man velge? Andre faktorer?

CT Max (0.4°C per minute)



IT Max (0.3°C per day)



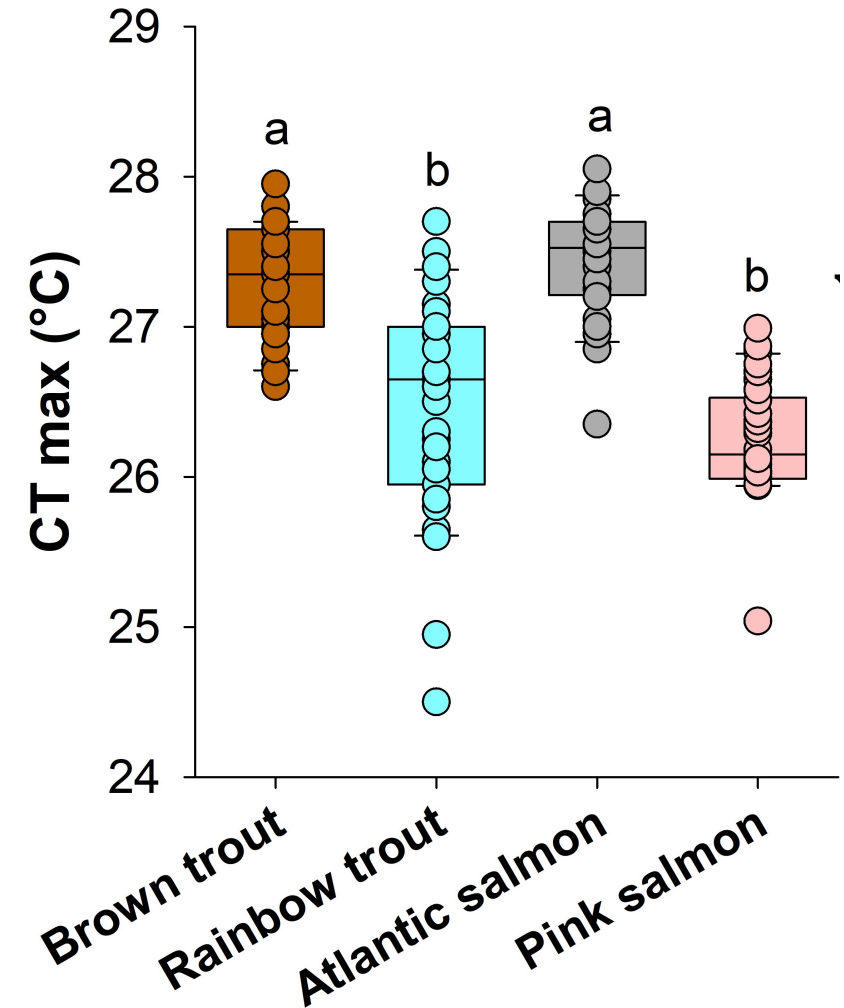
Skal man satse på andre arter i fremtidens klima?

- Våres arter er bedre end dem fra Stillehavet.

Regnbueørret



Pukkellaks



Ny rapport om klima og akvakultur



EFFEKTEN AV KLIMAENDRINGER PÅ RISIKO FOR DÅRLIG DYREVELFERD OG NEGATIVE MILJØEFFEKTER AV FISKEOPPDRETT – KUNNSKAPSSTATUS

Redaktør(er): Mari Skuggedal Myksvoll, Katherine Mary Dunlop, Malthe Hvas, Ingrid Askeland Johnsen og Monica F. Solberg (HI)



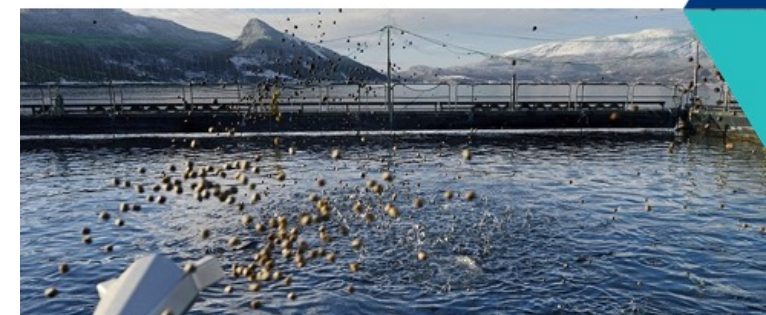
Kunnskapshuller

- Patogener i et varmere klima (*smittespredning og helse*).
- Ernæringsbehov og produksjonslidelser.
- Effekter på stor fisk (>3 kg).
- Samlede effekter av marine hetebølger.
- Negative synergi effekter.
- Produksjon av klimarobust laks (*tidlig miljøhistorikk, seleksjon, steril fisk*).
- Egnethet for nye teknologier (*semi-lukket, nedsenket, havbruk til havs*).



EFFEKTEN AV KLIMAENDRINGER PÅ RISIKO FOR DÅRLIG DYREVELFERD OG NEGATIVE MILJØEFFEKTER AV FISKEOPPDRETT – KUNNSKAPSSTATUS

Redaktører: Mari Skuggedal Myksetøl, Katherine Mary Dunlop, Ellen Sofie Grelsrud, Malthe Hvas, Ingrid Askeland Johnsen og Monica F. Solberg (H)



RAPPORT FRA
HAVFORSKNINGEN
NR. 2026-20

Konklusjon

- Atlantisk laks er en kaldtvanns art.
- Blir temperaturen for høy:
 - Dårlig appetitt og vekst.
 - Tidlig kjønnsmodning.
 - Stress og økt dødelighet.
- Oksygen dynamikken er helt sentralt for å forstå effektene av økende temperatur.
- Oksygenopptak blir en begrensende faktor - spesielt hos stor fisk og syk fisk.



Sommer på Vestlandet

Takk for oppmerksomheten!

Matre Forskningsstasjon, Norge

- **Kontakt:**
malthe.hvas@hi.no

