

3.5.5 Kjønnsmodning hos atlantisk laks (*Salmo salar*)

Tidlig kjønnsmodning er et stort problem innen lakseoppdrett, siden moden laks slutter å vokse og kjøttkvaliteten blir dramatisk forringet utover seinsommer og høst. I tillegg representerer modning hos laksefisk i sjøvann et velferdsproblem. Rømt moden laks kan ha større genetiske og økologiske effekter på villaks, da det er mer sannsynlig at de vandrer opp i en nærliggende elv enn umoden fisk. Fra tidligere forsøk vet vi at lysstyring kan redusere andelen tidlig kjønnsmodning hos laks. Imidlertid varierer resultatene fra år til år, uten at en har gode forklaringer på hvorfor lys virker bedre i noen situasjoner enn andre. For å bedre kunne forstå hvordan lys virker inn på kjønnsmodning og vekst har vi studert samspillet mellom ulike fôringsregimer og lysbehandling i ulike familiegrupper av laks. Vi har også målt en rekke fysiologiske parametre for å avdekke mer av sammenhengen mellom tilvekst, fettdeponering og kjønnsmodning, og hvordan dette blir påvirket av andre ytre faktorer som lys og fôr.

Miklos Pall
miklos.pall@imr.no

Birgitta Norberg
birgitta.norberg@imr.no

Eva Andersson
eva.andersson@imr.no

Geir Lasse Taranger
geirt@imr.no

Alle levende organismer har et begrenset energibudsjett som skal fordeles mellom ulike basale fysiologiske funksjoner og fysiske aktiviteter. Den energi som "blir til overs" blir investert i vekst og reproduksjon. I fangenskap har man mulighet til å eliminere mange av de "negative" kostnadene (f. eks. å unngå predatorer) samt at førtilgangen normalt ikke er noen begrensning. På den andre siden fører denne "ekstra" vekstøkningen hos oppdrettslaks til hyppigere forekomst av tidlig kjønnsmodning. Dette er negativt, fordi det hindrer kroppsveksten til fordel for gonadetilvekst og produksjon av egg og spermier. Resultatet er et tap av biomasse, både kvantitativt og kvalitativt.

Oppdrettsmiljøet påvirker alder ved kjønnsmodning

Selv om det har vært selektert for sein kjønnsmodning i avlsprogrammene for laks over flere tiår, kan andelen tidlig modning (etter 1,5 år i sjø) fremdeles komme over 50 % i enkelte grupper. Dette henger sammen med den store betydningen oppdrettsmiljøet har for alder ved kjønnsmodning. Modningsandelen varierer fra år til år, og mellom ulike lokaliteter, uten at en har en klar forståelse for årsaksforholdene. En bedre forståelse av samspillet mellom de ytre miljøfaktorene og de indre fysiologiske og endokrine (hormonelle) prosessene som styrer fordelingen av energi mellom vekst og kjønnsmodning er derfor meget viktig for å kunne forutsi omfang av modning under ulike oppdrettsforhold. Dette er også viktig for å kunne utvikle bedre protokoller, f.eks. med lysstyring for å redusere omfanget av tidlig modning.

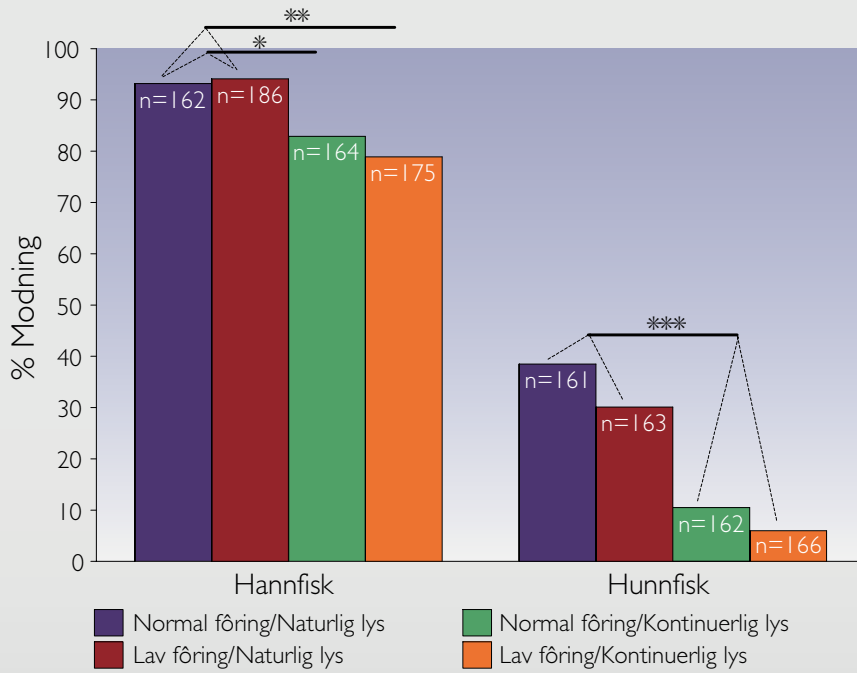
Laksens naturlige gyteperiode er om høsten når vannet blir kaldere og døgnet blir kortere. Dette kan skje hos laksen allerede etter det første leveåret i sjøen (tertmodning). Laks kan også modne som små dvergghanner i elven før de går ut i havet. I oppdrett er det tertmodning som er det største problemet, men også høy dvergghannmodning og modning allerede etter 6 måneder i sjø kan tidvis være et problem i oppdrett. Det er sannsynligvis den gode førtilgangen og veksten som er hovedårsak-

ken til den økte andelen av tidlig modning i oppdrett i forhold til naturen. God tilvekst er vanligvis også koblet til økt fettdeponering hos laksen, og i andre dyr er størrelsen på fettdepotene viktig for å sette i gang puberteten (1. kjønnsmodning). En rekke forsøk er gjennomført med å redusere førtilgangen i deler av sjøvannsfasen for å redusere andelen tidlig modning. Selv om dette har gitt god effekt i en del tilfeller, har det vanligvis også ført til kraftig nedsett vekst. Lysstyring har derimot vist seg både å kunne redusere andelen tidlig modning og å føre til økt vekst. Kunstig lang dag eller kontinuerlig lys fra midtvinter har i de fleste forsøk redusert modningsandelen til veldig lave nivåer, og dette er en teknikk som brukes av de fleste lakseoppdrettere i dag.

Skiftende effekt av lysstyring

Imidlertid virker ikke alltid lysstyringen like godt, og dette kan skyldes at andre faktorer som ernæringsstatus (eks. fettlagre), førtilgang gjennom vinter og vår (type og mengde) og vanntemperatur virker inn på hvordan laksen reagerer på lysstyringen. Der er også store forskjeller i hvoreffektive behandlingene er mellom ulike fiskestammer med ulik genetisk bakgrunn, og også mellom kjønn. Vanligvis modner hannene ved lavere alder enn hunnene. Den gjeldende hypotesen er at modningen skjer i følgende to trinn: 1) Kjønnsmodningen starter tidlig høst/vinter året før gyting, forutsatt at et genetisk bestemt utviklingsnivå hos et individ blir oppnådd. 2) Modningen kan slås av igjen under kommende måneder hvis individet ikke får tilgang på tilstrekkelige energireserver og/eller ikke når et gitt stadium av gonademodning før et kritisk tidspunkt om våren. Det er antatt at lyset påvirker dette kritiske tidspunktet slik at færre laks klarer å oppnå rett status før denne datoen om våren, og at de enten ikke starter modningen eller at de stopper en igangsatt modning.

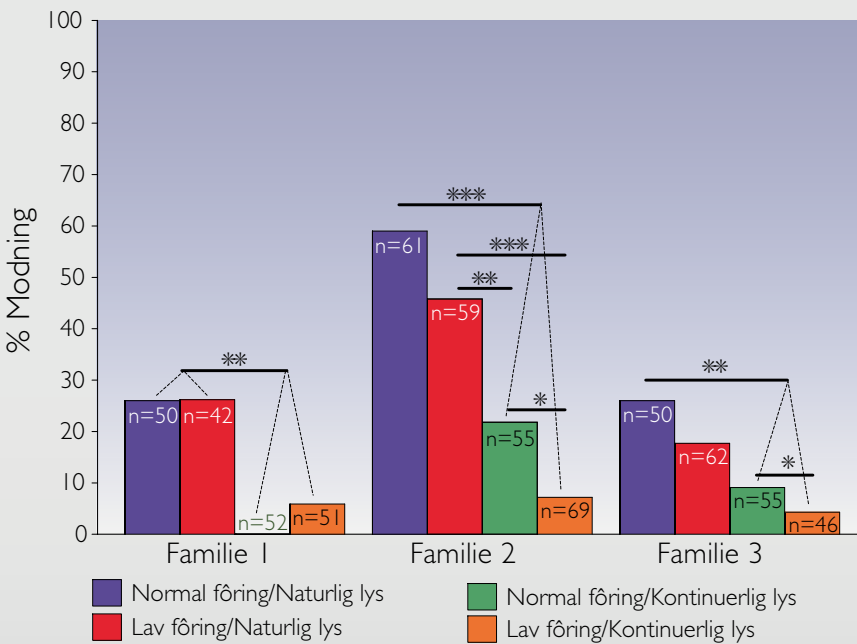
For å undersøke dette nærmere har vi gjennomført et forsøk ved Havforskningsinstituttet, Matre der fisk fra ulike familier ble lengdemålt, veid og individmerket med PIT-merker og deretter fordelt i seks merder. Fra september 2003 til januar 2004 ble tre av merdene gitt redusert fôring (60 % av full fôring). Fra januar 2004 ble fisken veid og målt, samt omfordelt slik at det var like mange fra fisk hver fôrgruppe i hver merd. Tre av merdene fikk så kontinuerlig tilleggslis fram til sommeren, mens fisken i de tre øvrige merdene fortsatt gikk på naturlig lys. I tillegg ble det satt 100 fisk i en egen merd på naturlig lys (50 fra full fôring og 50 fra redusert fôring), og det ble tatt blodprøver av all fisk en gang i måne-



Figur 3.5.5.1

Prosent modne hanner og hunner i ulike behandlingsgrupper sommeren 2004. Lav fôrgruppe = 60 % av normal.

Percentage of mature males and females respectively (out of total n) in different treatment groups during summer 2004. Low feed = 60 % of normal.



Figur 3.5.5.2

Prosent modne hunner (av totalt antall individer, n) i ulike behandlingsgrupper, fordelt på familiegrupper, sommeren 2004. Lav fôrgruppe = 60 % av normal.

Percentage of mature females (out of total n) in different treatment groups, divided on families, during summer 2004. Low feed = 60 % of normal.

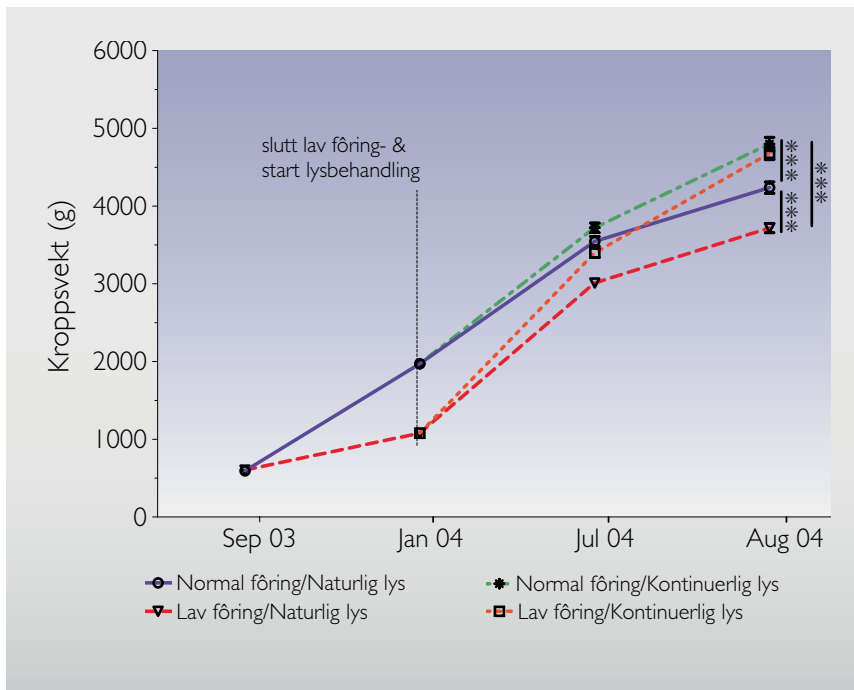
den fra januar 2004 til september 2004. Det ble tatt ut prøver for analyse av fett i filet og innvoller i september 2003, januar 2004 og juni 2004, og på samme tidspunkt ble det tatt blodprøver for hormonanalyser og ulike prøver fra hjerne-hypofyse-gonadeaksen som kontrollerer modningen.

Disse prøvene blir analysert ved hjelp av en rekke histologiske, fysiologiske og molekylære metoder for å få en bedre grunnleggende forståelse for hvordan modningsprosessen starter og forløper hos laks under ulike miljøforhold. I september 2004 ble modningen kontrollert i alle individer, og analysert i henhold til fôring, lys, familie og individuell vekstrate. Blodprøvene ble analysert for flere kjønnssteroider for å finne ut når de ulike individene rekrutteres inn til modning.

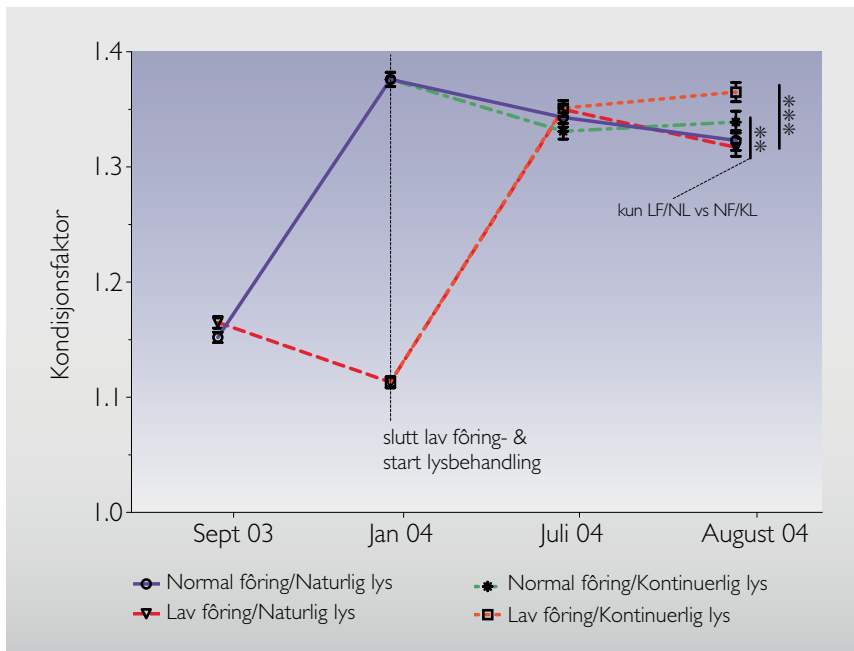
Analysen av kjønns hormonene testosteron og 11-ketotestosteron i hannfisk tyder på at modningen startet tidlig på vårparten i dette forsøket, da vi fant forhøyede nivåer i blodplasma allerede i januar og februar (data ikke vist). Det var store forskjeller i andelen tidlig modne hannfisk og hunnfisk selv om de har fått samme behandling (Figur 3.5.5.1). Både lysbehandlingen og den reduserte fôringen hadde klare effekter på modningen, men effektene var mindre enn forventet. Det var gjennomgående svært høy modningsandel i alle gruppene, selv om dette var familier som var selektert for sein modning. Det er mulig at den høye modningsandelen i dette forsøket skyldes at fisken gikk i små merder (5x5x8m), da vi har sett veldig høy tidlig modningsandel (opp mot 100 % av hannfisk) i slike merder i tidligere forsøk. Det var en tendens til at laks som hadde hatt redusert fôrtilgang om høsten reagerte sterkere på lysbehandlingen enn laks som hadde fått full fôring gjennom hele forsøket, men denne tendensen var svakere enn forventet.

Store familiære forskjeller

Figur 3.5.5.2 viser hunnene oppdelt på familiegrupper og demonstrerer tydelig de store forskjellene som kan forekomme mellom fisk med ulik genetisk bakgrunn. Familie '1' svarer mye sterkere på nettopp denne behandlingen enn de andre familiene. Den samme tendensen var synlig hos hannene (ikke vist) fordelt på familie, hvor stort sett kun familie '1' svarer for den lavere modningen som vises hos de sammenslåtte familiene i Figur 3.5.5.1. Selv om vi kan identifisere de ulike familiene med hensyn til genetisk bakgrunn, er vår kjennskap til de fysiologiske forskjellene mellom de ulike familiene svært liten. Dette vil bli studert nærmere ved å analysere status i hjerne-hypofyse-gonadeaksen i prøver fra disse familiene gjennom forsøket.



Figur 3.5.5.3
Kroppsvektens utvikling hos hunner i ulike behandlingsgrupper mellom september 2003 og august 2004. Lav fôrgruppe = 60 % av normal. *Development of female bodyweight in different treatment groups from September 2003 to August 2004. Low feed = 60 % of normal.*



Figur 3.5.5.4
Kondisjonsfaktorens utvikling hos hunner i ulike behandlingsgrupper mellom september 2003 og august 2004. Lav fôrgruppe = 60 % av normal. *Development of female condition factor in different treatment groups from September 2003 to August 2004. Low feed = 60 % of normal.*

Early sexual maturation in *Salmo salar*

Early sexual maturation (puberty) in salmon is a common problem in Norwegian aquaculture. Maturing fish stop growing and the flesh quality decreases during late summer and autumn. Previous studies have shown that longer light regimes and their timing can reduce the number of individuals maturing in captivity and such protocols are already used in the industry. Later maturation has also been selected for in different salmon strains. However, the results vary highly between years, with up to $\geq 50\%$ maturation in fish as young as 1.5 years.

The reasons why light treatment is less successful in some situations than in others are not yet clear. In addition to the effects of light, there are many other environmental and internal factors that interact and influence maturation. We have studied the effects of different feeding- and light regimes in caged salmon with different genetic background in order to improve our understanding of the dynamics behind sexual maturation (Figure 3.5.5.1 & 3.5.5.2) and growth (Figure 3.5.5.3 & 3.5.5.4). These results will be put in relation to nutrient status (fat deposits) and annual changes in hormone levels (*i.e.* endocrinological or hormonal processes). A better understanding of the cues of maturation and ultimately of the mechanisms controlling the distribution of energy between growth and reproduction are of great importance to the salmon industry. This could lead to protocols that in a better way predict maturation during different rearing parameters and that may have the possibility to decrease and eventually control the incidence of early maturation much more successfully than today.

Redusert fôrmengde om høsten reduserte veksten som forventet. Dette gjenspeiles i både lavere vekt (Figur 3.5.5.3) og lavere kondisjonsfaktor (Figur 3.5.5.4) i løpet av vinter og vår. Til tross for denne reduksjonen i vekst og kondisjon var det bare en moderat nedgang i andelen modne fisk i gruppene med redusert fôring. Vi arbeider videre med analyse av disse fiskene, bl.a. ved å se på fettinnholdet i filet og innvoller for å få en bedre forståelse for hvilke faktorer som setter i gang modningen. Det er blant annet nylig karakterisert et hormon i flere fiskearter, som i pattedyr er viktig for å sette i gang puberteten. Dette hormonet, leptin, produseres i fettceller, og hvis individet har høye fettlagre vil de produsere mye av dette hormonet, som i sin tur er med

på å starte puberteten. Hvis leptin har en lignende rolle i laks, kan analyser av dette hormonet være med på å bedre forståelsen av hvordan indre og ytre faktorer spiller sammen for å starte puberteten i laks. Vi har sett at både familiebakgrunn, fôring og lys virker inn på tidlig modningsandel hos laks, men det ligger sannsynligvis også ukjente faktorer bak, som bl.a. kan medføre de svært høye modningsandelene vi ofte ser i små merder, mens samme gruppe av fisk har lavere modning i større merder. En rekke nye fysiologiske og molekylære verktøy er nå utviklet eller under utvikling, og vi vil bruke disse verktøyene for å prøve å finne mer ut om det komplekse samspillet som bestemmer igangsettingen av puberteten hos laks.