

Betydning av genetisk bakgrunn og ulike nivåer av omega-3-fettsyrer i fôr i tidlige livsfaser for fiskehelse, fettsyresammensetning og muskelkvalitet ved slaktestørrelse
FHF-prosjekt 900770 – delrapport 2

Gerd Marit Berge, Tone-Kari Østbye, Marte A. Kjær, Anna Sonesson, Turid Mørkøre og Bente Ruter





Nofima er et næringsrettet forskningsinstitutt som driver forskning og utvikling for akvakulturnæringen, fiskerinæringen og matindustrien.

Nofima har om lag 350 ansatte.

Hovedkontoret er i Tromsø, og forskningsvirksomheten foregår på fem ulike steder: Ås, Stavanger, Bergen, Sunndalsøra og Tromsø

Hovedkontor Tromsø:

Muninbakken 9–13
Postboks 6122 Langnes
NO-9291 Tromsø

Ås:

Osloveien 1
Postboks 210
NO-1431 ÅS

Stavanger:

Måltidets hus, Richard Johnsen gate 4
Postboks 8034
NO-4068 Stavanger

Bergen:

Kjerreidviken 16
Postboks 1425 Oasen
NO-5828 Bergen

Sunnalsøra:

Sjølseng
NO-6600 Sunndalsøra

Felles kontaktinformasjon:

Tlf: 02140

E-post: post@nofima.no

Internett: www.nofima.no

Foretaksnr.:

NO 989 278 835

Rapport

	ISBN: 978-82-8296-267-4 (trykt) ISBN: 978-82-8296-268-1 (pdf) ISSN 1890-579X
<i>Tittel:</i> Betydning av genetisk bakgrunn og ulike nivå av omega-3-fettsyrer i fôr i tidlig livsfaser for fiskehelse, fetttsyresammensetning og muskelkvalitet ved slaktestørrelse	<i>Rapportnr.:</i> 8/2015
<i>Forfatter(e)/Prosjektleder:</i> Gerd Marit Berge, Tone-Kari Østbye, Marte A. Kjær, Anna Sonesson, Turid Mørkøre og Bente Ruyter	<i>Tilgjengelighet:</i> Åpen
<i>Avdeling:</i> Ernæring og forteknologi	<i>Dato:</i> 24. mars 2015
<i>Oppdragsgiver:</i> Fiskeri- og Havbruksnæringens Landsforening, Oslo	<i>Ant. sider og vedlegg:</i> 32
<i>Stikkord:</i> EPA og DHA, fôr, genetikk	<i>Oppdragsgivers ref.:</i> FHF # 900770
<i>Sammendrag/anbefalinger:</i> Et viktig mål i dette prosjektet var å studere potensialet for å påvirke EPA og DHA nivået i muskel i slaktefisk ved fôring med ulike nivåer av EPA og DHA i tidlig livsfase; rett etter smoltifisering og om det foreligger genetiske forskjeller mellom familiegrupper. To andre viktige mål var å identifisere eventuelle langtidseffekter av forskjeller i lipidmetabolismen mellom Høy og Lav desaturase familier på fettdeponering, EPA og DHA nivå i filet, kvalitet og utvalgte helsemarkører. Fisk med forskjellig genetisk bakgrunn (Høy og Lav desaturase) og forskjellig nivå av EPA og DHA i fôr fra 100-500g, ble satt i samlemerd i sjø og gitt fôr med 1 % EPA og DHA fram til slakting (4 kg). Ved avslutning ved 4 kg hadde gruppene lik kroppsvekt og fettnivå i filet. Høy-desaturase-fisk var lengre, hadde høyere SGR og Lavere k-faktor enn Lav-desaturase-fisk. Det var lavest dødelighet, minst fettlever, innvollsfett og fettavleiring på hjerte i Høy-desaturase-fisk, men innhold av DHA var likt i Høy og Lav. Våre data viser at genetisk bakgrunn hadde betydning for fettfordelingen i fiskekroppen, med spesielt stor betydning for utvikling av fettlever og mengde innvollsfett. Lever fra Lav-desaturase-gruppene inneholdt nesten dobbelt så mye fett som Høy-desaturase-gruppene, men lever fra Høydesaturase-gruppene inneholdt likevel mer EPA og DHA i % av fettsyrer enn fra Lav-desaturase-gruppene. Kvantitativt innhold (gram per 100 gram) av EPA var høyest i Lav-desaturase-gruppene, mens innhold av DHA var høyest i Høydesaturase-gruppene. Høy-desaturase gruppene har høyere genuttrykk for Cox1 og lavere uttrykk for Cox2 enn Lav-desaturase gruppene Den genetiske pre-disponeringen til høyere kapasitet til EPA og DHA syntese i Høy desaturase familiene sammenlignet med Lavdesaturasefamiliene i tidlig livsfase, synes å forsvinne når dietter med høyt nivå av planteolje ble benyttet i vekstfasen i sjø. Undersøkelser av filet viste tilfredsstillende kvalitet i alle grupper. For noen parametre var effekt av genetikk mer markert der fisken tidligere hadde fått lave nivåer av EPA og DHA i fôr.	<i>Prosjektnr.:</i> 10109
<i>English summary/recommendation:</i> Fish with different genetic background (High and Low desaturase) fed diets with different levels of EPA and DHA from 100-500 g, were held in a common sea cage and fed a low- omega-3-diet. Fish were slaughtered at 4 kg. Low desaturase fish had lower survival and higher fat deposition in internal organs. . Low desaturase fish developed fatty liver with less EPA and DHA than High desaturase fish. High EPA and DHA level in early phase diet caused higher levels of EPA and DHA in fillet at slaughter size, compared to low-EPA/DHA-diets	

Innhold

1	Innledning	1
1.1	Bakgrunn for prosjektet	1
1.1	Omfang og organisering	2
2	Problemstilling og formål	3
2.1	Overordna målsetting.....	3
2.2	Hovedmål og delmål.....	3
3	Material og metoder	4
3.1	Gjennomføring av forsøk.....	4
3.2	Analysemetoder	8
4	Resultat og diskusjon	9
4.1	Overlevelse, tilvekst og kondisjonsfaktor.....	9
4.2	Registreringer ved slakting	12
4.3	Fettinnhold og fettsyreprofil i lever	16
4.4	Genuttrykk av utvalgte helsemarkører	18
4.5	Fettsyreprofil i filet	24
4.5.1	Effekt av genetisk bakgrunn	24
4.5.2	Effekt av tidligere fôring	25
4.6	Undersøkelser av filetkvalitet.....	26
4.7	Nytteverdi av resultatene.....	28
5	Referanser	29
6	Leveranser	31

1 Innledning

1.1 Bakgrunn for prosjektet

Atlantisk laks er en viktig kilde til de langkjeda omega-3-fettsyrene EPA og DHA i human ernæring. For at laksen skal fortsette å være en god kilde til omega-3, må den få tilført en del av disse fettsyrene i fôret. Den viktigste kilden til EPA og DHA i fiskefôr er marine oljer. Etterspørselen etter marine oljer har økt kraftig på verdensmarkedet de siste årene, både til kosttilskudd og til bruk i fiskefôr. Produksjonen av fiskeolje har vært relativt stabil siden 1970-tallet. Det er heller ikke forventet at produksjonen skal kunne økes innen bærekraftige rammer i fremtiden. Oppdrettsnæringen står dermed overfor en stor utfordring dersom lakseproduksjonen skal fortsette å øke i volum samtidig med at etterspørselen etter fiskeolje øker. I dag blir en stadig større andel av fiskeolje i fôr til laks erstattet med planteoljer, noe som har ført til redusert innhold av omega-3-fettsyrene EPA og DHA i laksefilet.

Laksens evne til å syntetisere EPA og DHA fra den kortere omega-3 fettsyren 18:3 n-3 (ALA) og til å deponere EPA i muskel er avhengig av flere faktorer som genetikk, fettsyresammensetningen av fôr, miljø og livsstadier. Det er derfor av interesse i dette prosjektet å forstå og maksimere den iboende evnen laksen har til å syntetisere og deponere de langkjedede n-3 fettsyrene EPA og DHA i filet gjennom livet, for å utnytte den begrensede fôrressursen fiskeolje i størst mulig grad.

Det er kjent at genetisk bakgrunn kan påvirke evnen til produksjon og utnyttelse av EPA og DHA. Schlechtrim et al. (2007) viste at det er individuell variasjon i evne til å opprettholde høye nivåer av n-3 HUFA i muskel til Atlantisk laks, uavhengig av fôr. Og det er i flere studier vist at evnen til å omdanne ALA til EPA og DHA i laks er i stor grad påvirket av nivået av fiskeolje og planteolje i dietten (Moya Falcon et al. 2005). Et av målene i prosjektet er dermed å studere potensialet for å påvirke EPA og DHA nivået i muskel i slaktefisk ved å se på samspillet mellom fôr og iboende genetiske egenskaper i ulike livsfaser.

Et annet viktig mål i prosjektet er å studere hvorvidt eventuelt samspill mellom fôr i ulike livsfaser og genetikk vil påvirke utvalgte helsemarkører inkludert forekomst av fettlever og overlevelse i sjø.

Både fettlever, økt mengde innvollsfett og økt fettavleiring på hjerte er tilstander som kan være viktig for fiskens helse, men det er for lite kunnskap om både årsakssammenhenger og konsekvenser. Nivå av EPA og DHA i fôr kan påvirke mengde innvollsfett hos laks (Todorovic et al. 2008, Torstensen et al. 2011). Planteoljer kan gi økt fettakkumulering i lever hos laks (Ruyter et al. Mørkøre et al., 2012), mens enkelte planteolje kombinasjoner ikke gir samme effekt (Torstensen et al., 2014 FHF-rapport). Upubliserte data fra laks viser at det er en tendens til økende fettavleiring på hjerte når fiskeolje i fôr erstattes med planteolje (Torstensen et al., 2014 FHF-rapport). Fettsyresammensetning i fôr påvirker lagringsmønster for fett, men forskningsresultater er motstridende når det gjelder årsaker, og mer kunnskap trengs på dette feltet.

I NFR-prosjektet «Towards a sustainable salmonid aquaculture – Salmon as a net producer of n-3 fatty acids» har vi produsert laksefamilier der foreldre er valgt ut fra familier med høyt eller lavt genuttrykk av delta-6-desaturase. Dette genet koder for et nøkkelenzym i omdanning fra plante-omega-3 (ALA) til EPA og DHA. Hypotesen var at høyere uttrykk av dette genet ville ha en positiv sammenheng med kapasiteten til å produsere EPA og DHA i laksen. I dette prosjektet har vi fulgt fisk

fra Høy og Lav desaturase familier gjennom liver for å studere sammenhenger mellom genetisk bakgrunn og fôr og hvordan disse faktorene sammen kan påvirke fiskens sammensetning (inkludert fettresammensetning), helse og kvaliteten til sluttproduktet som går til forbruker.

1.1 Omfang og organisering

Prosjektgruppa besto i utgangspunktet av involverte forskere fra Nofima, og representanter fra SalmoBreed og BioMar som begge har vært aktive prosjektdeltagere. Prosjektleder, Gerd Marit Berge, har vært ansvarlig for gjennomføring av prosjektet.

I desember 2013 bevilget FHF en ekstra sum for utvidelse av prosjektet som også omfattet samarbeide med NIFES, og forskere fra NIFES ble inkludert i prosjektgruppa.

Prosjektet omfattet 3 deler, som alle bygget på fiskemateriale fra det tidligere nevnte NFR-prosjektet. Hvert delprosjekt var relativt omfattende, og de tre delprosjektene blir rapportert separat.

Styringsgruppe for prosjektet ble oppnevnt av FHF, og har bestått av følgende medlemmer:

Arne Schei	Lerøy Seafood Group
Eldar Bendiksen	Salmar
Øyvind Oaland	Marine Harvest
Tommy Hansen	Nordlaks
Kjell Maroni	FHF (observatør/kontaktperson FHF)

Prosjektgruppa har bestått av følgende personer:

Gerd Marit Berge	Nofima
Bente Ruyter	Nofima
Tone-Kari Østbye	Nofima
Marte Avranden Kjær	Nofima
Anna Sonesson	Nofima
Trygve Sigholt	BioMar
Håvard Bakke	SalmoBreed
Bente Torstensen	NIFES
Ninni Sissener	NIFES
Rune Waagbø	NIFES

2 Problemstilling og formål

2.1 Overordna målsetting

For oppdrettsnæringen er det grunnleggende viktig å finne de mest effektive måtene å utnytte den begrensede ressursen marine oljer. Det er mange faktorer som kan påvirke laksens innhold av de marine fettsyrene EPA og DHA i filet, og det er viktig å vite hvor i livssyklus man skal sette inn ressursene for å få mest mulig EPA og DHA igjen i fisken. Er det faser i fiskens liv som er viktigere enn andre med tanke på forsyning og utnyttelse av EPA og DHA? Og er det samspill med fiskens genetiske egenskaper som gir grunnlag for genetisk seleksjon?

Ny kunnskap rundt disse spørsmålene kan ha verdi for næringen på flere ulike måter. Bærekraft og ressursutnyttelse er viktig i seg selv, og et grunnlag for godt omdømme. Økonomisk verdi er vanskelig å fastsette, men hvis man kan produsere mer fisk av samme kvalitet uten høyere forbruk av begrensede ressurser, vil det ha et klart positivt økonomisk potensial. Det er viktig å sikre god dyrevelferd, og all ny kunnskap om samspill mellom fôr og ernæring i ulike livsfaser som bidrar til bedret fiskehelse, vil dette være positivt.

Med bakgrunn i dette delprosjektet er det levert et faktaark med tittel «Genetisk bakgrunn er av betydning for laksens evne til å opprettholde god helse ved lave nivå av EPA og DHA i fôret» og resultater fra prosjektet er presentert ved konferanser i inn- og utland.

2.2 Hovedmål og delmål

Hovedmål: Undersøke om genetisk bakgrunn og ulike nivåer av omega-3 fettsyrer i fôr i en periode (100-500 gram) før utsett i sjø, påvirker laksens evne til å produsere og deponere EPA og DHA gjennom livet fram til slaktestørrelse, og å studere betydningen av disse faktorene for fiskehelse og muskelkvalitet i seinere livsfase

Delmål 1: Beskrive fettsyreprofil i laks med forskjellig bakgrunn ved slaktestørrelse, og identifisere effekter av ulik genetisk bakgrunn og ulik fôring.

Delmål 2: Undersøke et utvalg helsemarkører i laks på 4-5 kg.

Delmål 3: Sikre prøvemateriale av vev og organer for evt. seinere analyse av et større utvalg helsemarkører.

Delmål 4: Analyse av muskelkvalitet.

3 Material og metoder

Fiskematerialet som ble brukt i forsøk var fullsøskengrupper (familier) fra SalmoBreed AS, produsert innenfor NFR-prosjektet «Towards a sustainable salmonid aquaculture – Salmon as a net producer of n-3 fatty acids». Genuttrykk for delta-6b-desaturase ble analysert i 1000 individer fordelt på ca 100 familier. Foreldrefisk ble valgt ut fra familier med enten høyt eller lavt gjennomsnittlig uttrykk av genet for delta-6b-desaturase. Til sammen 9 nye familier ble produsert, 5 «Høy-desaturase» og 4 «Lav-desaturase». Alle familiene var holdt under like vilkår i småskala klekkebakker sammen med de andre familiene fra SalmoBreed's familieproduksjon, fram til startfôring. Sju av familiene ble startfôret med kommersielt fôr. Av de 7 familiene som ble startfôret med kommersielt fôr, var det 4 «Høy» og 3 «Lav» familier.

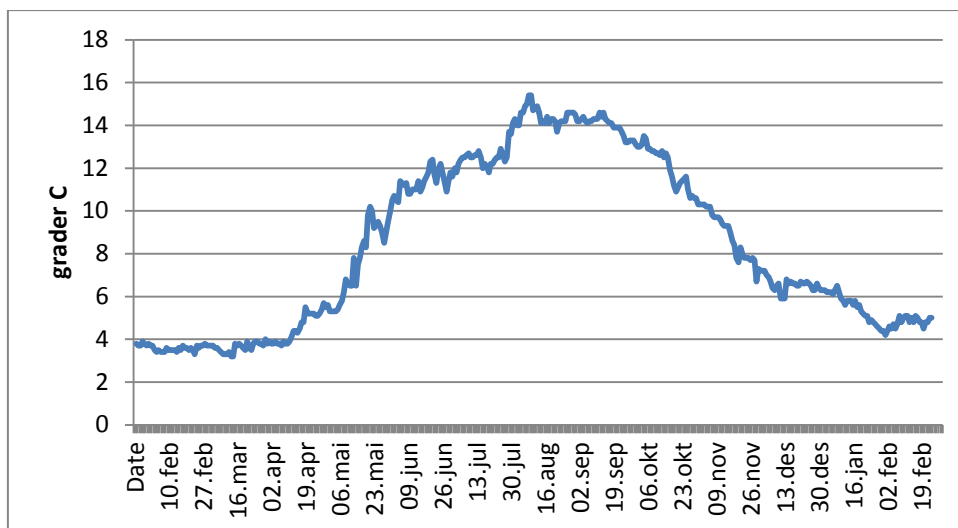
Til sammen 6 av disse familiene fra NFR-prosjektet, 3 «Høy» og 3 «Lav», ble brukt videre i fôringsforsøk. Fra fisken ble satt i sjøvann ved snittvekt 95 gram, ble fisken gitt ulike nivåer av EPA og DHA i fôret fram til prøveuttak ved 500 gram. Deretter ble restfisk satt i samlemerd i sjø og fôret med lavt innhold av omega-3, 1 % EPA og DHA, fram til slaktestørrelse.

Fisk fra startfôringsforsøk i FHF-prosjektet (Delrapport 1), der to andre familier enn i dette delprosjektet, en «Høy» og en «Lav», ble brukt, ble på samme måte satt i merd i sjø og deretter fôret med samme lav-omega-3-fôr som NFR-fisken, fram til slaktestørrelse. Resultater er presentert i Delrapport 1.

3.1 Gjennomføring av forsøk

NFR-fôringsforsøket, der fisk fra 6 familier (3 Høy og 3 Lav desaturase) ble gitt 4 forskjellige fôr med ulik ratio Rapsolje/Fiskeolje, ble startet i november 2012 og avsluttet i januar 2013. Sammensetning av de ulike fôrene brukt fra ca. 100 til 500 gram er vist i tabell 1, og innhold av totalfett og EPA og DHA i hel fisk ved avslutning av fôringsforsøk på fiskevekt omkring 500 gram er vist i Tabell 2. Dette er startmaterialet for oppfølgingsforsøket i sjø. Sammensetning av fôr brukt i sjø fra 500 gram fram til slaktestørrelse er vist i Tabell 2 og Tabell 3.

Fisken var ca 500 gram ved overføring til merd i sjø i slutten av januar 2013. Ved overføring var temperaturen i sjø på lokaliteten 3,8 °C og dette lave temperaturnivået vedvarte til siste halvdel av april (Figur 1). Fisken ble holdt i sjø fram til antatt vekt omkring 4 kg, og avsluttende prøveuttak ble gjort i februar 2014.



Figur 1 Temperatur for perioden i merd i sjø (2013-2014).

Ved avslutning ved 4 kg fiskestørrelse ble det foretatt en rekke registreringer, og tatt prøver av flere organer for å ha mulighet til flere analyser på et seinere tidspunkt. Følgende registreringer/prøver ble tatt på alle individer under prøveuttaket, i tillegg til vekt og lengde på alle resterende fisk i merden:

- Vekt lengde, og foto av hel fisk, levervekt, hjertevekt og visuell vurdering av mage/tarm.
- Blod serum (lagret ved -80 °C).
- Organprøver av hjerte, lever, innvollsfett og muskel (lagret ved -80 °C og fiksert til histologi).
- En filet til fettsyreanalyser og den andre fileten til kvalitetsanalyser.

Det ble gjort kataraktmålinger, og prøver av øyelinse ble tatt for analyser av utvalgte grupper, disse resultatene blir rapportert separat.

Tabell 1 Sammensetning av fôr brukt i forsøk fra 100 til 500 gram.

	% EPA og DHA i fôr			
	5,4	3,9	1,7	0,9
Tørrstoff	93,0	93,0	92,9	93,1
Fett	27,1	26,4	27,6	26,9
Protein	43,9	43,2	43,3	44,3
Aske	8,0	8,0	8,0	8,0
% av fettsyrer:				
EPA	12,9	9,8	4,2	2,1
DHA	9,2	6,5	2,7	1,6
SFA	24,5	20,1	12,7	10,5
MUFA	37,5	43,6	53,4	56,9
PUFA	35,3	34,8	32,7	31,8

Tabell 2 Kjemisk innhold, EPA + DHA (g/100g), n-3/n-6 ratio i fôr fra ca 500 gram fram til 4 kg fiskestørrelse.

	Pelletstr	FO	RO	Lipid	Protein	Tørrstoff	EPA+DHA	
							g/100g	N3/n6
Jan - mars	5mm	10	90	24,1	41,8	92,6	1,0	0,65
Mars - jun	7mm	10	90	29	40	94	1,0	0,46
Jun - Sept	9mm	10	64*	32,2	35,5	92,5	1,8	0,86
Sept - feb	10mm	18	80*	35,2	34,8	92,6	1,1	0,60

*Også brukt noe palmeolje

Tabell 3 Fettsyresammensetning (% av total fettsyrer) av fôr, forskjellige pelletstørrelser, brukt i sjø, fra 500- 4000 gram.

Diet	5 mm	7 mm	9 mm	10 mm	10 mm
C 12:0			7,2	8,2	8,5
C 14:0	1,1	1	3,6	4	3,9
C 16:0	7	6,8	8,7	7,5	8,1
C 18:0	2,1	2,1	2,3	2,4	2,7
C 20:0	0,4	0,4	0,5	0,6	0,5
C 22:0	0,2	0,2	0,4	0,7	0,2
C 24:0	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1
Sum SFA¹	11,4	11	19,9	24,1	24,3
C 16:1 n-7	1,3	1,2	2,3	1,4	1,3
C 17:1 n-7	0,1	0,1	0,4	0,1	0,1
C 18:1 n-11	0,4	0,1			
C 18:1 n-9	46,7	48,4	38,8	44,1	43,4
C 18:1 n-7	2,2	2	1,3	0,2	1,4
C 20:1 n-11	0,4	0,4	0,7	0,4	0,4
C 20:1 n-9	2,1	2,1	2,5	1,4	1,3
C 20:1 n-7	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1
C 22:1 n-11	0,2	0,1	2,3	0,6	0,5
C 22:1 n-9	0,6	0,6	0,5	0,2	0,3
C 24:1 n-9	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2
Sum MUFA²	54,6	55,5	45,8	48,9	49,2
C 18:2 n-6	19,4	20	15,0	15,4	15,6
C 18:3 n-6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
C 18:3 n-4	0,1	0,1			0,0
C 18:3 n-3	8,3	5,7	6,1	6,4	6,3
C 20:2 n-6	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1
C 20:4 n-6	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1
C 20:5 n-3	2,3	2	3,4	1,8	1,7
C 22:5 n-3	0,3	0,3	0,5	0,2	0,2
C 22:6 n-3	1,8	1,3	2,9	1,6	1,5
Sum PUFA³	33	30,1	29,1	26,2	26,0
Sum EPA/DHA	4	3,3	6,2	3,3	3,2
n-3/n-6 ratio	0,65	0,46	0,8	0,6	0,6

¹ Includes C13:0, C15:0, C17:0 ² Includes C14:1n-5, C15:1, C16:1n-5, C22:1n-7

³ Includes C16:2n-6, C16:2n-3, C16:3n-4, C18:4n-3, 20:3n-3, 22:2n-6

3.2 Analysemetoder

Fett og fettsyrer:

Total lipid ble ekstrahert ved hjelp av en metode beskrevet av Folch et al. (1957). Kloroformfasen dampes inn til tørrhet under nitrogengass og lipidet reløses i kloroform. Methyl estere av fettsyrene dannes etter en metode beskrevet av Mason og Waller (1964) og av Hoshi et al. (1973). De ulike fettsyrene separeres i en GC (Hewlett Packard 6890) med en splitt injektor, SGE BPX70 kapillær kolonne (lengde 60 m, indre diameter 0,25 mm og en tykkelse på film på 0.25 µm), flammeionisasjonsdetektor og HP ChemStation programvare. Helium ble brukt som bæregass, og injektor- og detektortemperatur var begge 280°C. Temperaturen ble hevet fra 50 til 180°C med en hastighet på 10°C min⁻¹, og deretter hevet til 240°C med en hastighet på 0,7°C min⁻¹. Den relative mengden av hver FA ble bestemt ut i fra arealet under toppen.

Tørrstoff og protein i fôr:

Ved bestemmelse av tørrstoff tørkes prøven til konstant vekt ved 105°C. Total mengde nitrogen ble bestemt ved hjelp av Kjeltch Auto System (Tecator, Höganäs, Sweden), og råprotein i fôr ble beregnet som total N * 6,25.

Metoder for kvalitetsanalyser:

Pre-rigor laksefileter ble pakket på is og sendt til Ås der kvalitetsanalyser ble utført 7 dager etter slaktning. Lengde og vekt på fileten ble registrert. Grad av filetspalting (gaping) ble vurdert etter en skala fra 0 til 5, der 0 er ingen gaping og 5 er mye gaping (Andersen m.fl. 1994). Vannbindingsevne ble målt som væsketap ved tining av en muskelbit fra ryggdelen av fileten. Muskelbiten ble frosset inn ved -25°C og tint ved 20°C Fasthet ble målt instrumentelt (Texture Analyzer TA-XT2) som beskrevet av Mørkøre og Einen (2003). Fettinnhold og pigmentinnhold i fileten ble målt ved hjelp av PhotoFish (Folkestad et al. 2008). Melanin (mørke flekker) i buk og rygg er presentert som en enten/eller-egenskap, 1 hvis melanin ble observert, 0 hvis melanin ikke ble observert.

Beregninger og statistiske analyser:

Kondisjonsfaktor (KF): $W / L^3 * 100$, der W is total kroppsvekt (g) og L er lengde (cm)

Hepatosomatisk indeks (HSI): levervekt i prosent av total kroppsvekt

Kardiosomatisk indeks (CSI): hjertevekt i prosent av total kroppsvekt

Spesifikk vekstrate (% tilvekst pr dag): $SGR = (\ln W_2 - \ln W_1) / (t) * 100$, der W_1 og W_2 er kroppsvekt (g) ved start og slutt, og t er antall dager i forsøk.

Siden all restfisk fra tidligere fôringsforsøk ble holdt i en og samme forsøksmerd, ble data fra sluttregistreringer ved 4 kg behandlet med samme statistiske modell som tidligere forsøksdata. Det ble kjørt «mixed model» variansanalyse der diett og desaturase/familie er faste effekter, og kar er tilfeldig effekt. "Proc mixed procedure" i programpakken SAS® System for Windows Release 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) ble brukt i analysen. Effekter ble ansett som signifikante når $P < 0.05$

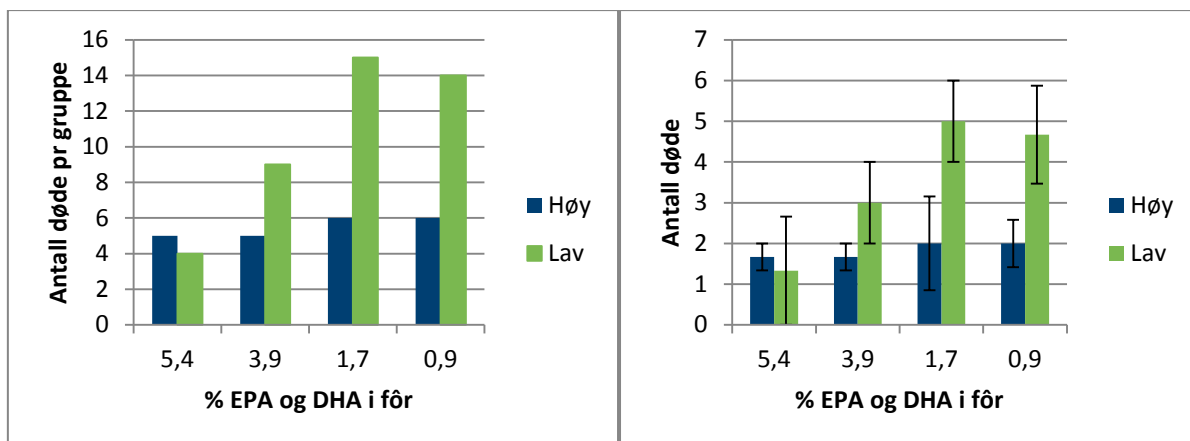
4 Resultat og diskusjon

Fisken som ble satt i samlemerd i dette forsøket kom fra et fôringsforsøk der effekt av genetisk bakgrunn og forskjellig fôring skulle undersøkes. Resultatene i det forsøket viste at Lav-desaturase-familiene hadde en liten, men signifikant raskere tilvekst fra 100 til 500 gram, og dermed hadde disse familiene en signifikant høyere vekt enn Høy-desaturase-familiene ved utsett i merd, selv om forskjellen var liten (499 g vs 467 g) (Se tabell 4). Også K-faktor var forskjellig mellom Høy og Lav ved utsett i merd. På dette tidspunktet hadde Lav-desaturase-familiene signifikant høyere innhold av fett i helkropp, 14,6 % vs 13,4 %. Innhold av EPA (% av totale fettsyrer) var høyere i Høy-desaturase enn i Lav desaturase i gruppene som hadde fått moderate nivåer av planteolje i fôret. For prosent DHA var det ingen signifikant forskjell mellom de genetiske gruppene. (Tabell 5). Deponeringsraten av DHA var likevel signifikant høyere i Høy-desaturase enn i Lav-desaturase-familiene (resultater presenteres i NFR-rapport). Innhold av EPA og DHA ved ca 500 gram fiskestørrelse var signifikant påvirket av tidligere fôring. Innhold i helfisk lå på omkring 7 % EPA og 11 % DHA (% av fettsyrer) i fisk som hadde fått fôr med lavest andel rapsolje, mens fisk som hadde fått de høyeste nivåene av rapsolje inneholdt omkring 2 % EPA og 5,5 % (% av fettsyrer).

Når Lav-desaturase-fisken i utgangspunktet hadde noe høyere vekt enn Høy-desaturase-fisken, var det teoretisk forventet at fettinnhold i hel fisk i lav desaturasegruppen også kunne være noe høyere. Det kjent at det er en positiv sammenheng mellom kroppsvekt og fettinnhold. En forskjell i fettinnhold på i overkant av 1 %-poeng virker likevel mye i forhold til den faktiske forskjellen i kroppsvekt, så det er like sannsynlig at andre faktorer spiller inn på fettdeponeringen. For å kunne se bort fra forskjell i størrelse og fettinnhold når vi vurderer innhold av EPA og DHA, har vi sett på fettsyreprofil (% av totale fettsyrer) i stedet for kvantitativt innhold (g/100g).

4.1 Overlevelse, tilvekst og kondisjonsfaktor

I løpet av perioden fra utsett 25. januar og til slutten av april var temperaturen i gjennomsnitt 3,9 °C. I denne perioden hadde vi en dødelighet på 44 fisk av totalt 998 fisk. I løpet av resten av forsøksperioden døde ytterligere 25 fisk. Total dødelighet i løpet av 13 måneder var altså på 6,9 %. Det var et interessant mønster i dødelighetstall, selv med begrenset antallet døde fisk. Vi observerte høyere dødelighet i Lav-desaturase-grupper enn i Høy-desaturase-grupper, og økende dødelighet med redusert andel fiskeolje i fôr i det forutgående fôringsforsøket (Figur 2). Regner man med gjennomsnittlig antall døde per gruppe, er det signifikant lavere dødelighet i Høy-desaturase-fisken. Dødelighet i Lav-desaturase-gruppene er spesielt høy i de gruppene som har fått lave nivåer av EPA og DHA i fôret før utsett i merd. Basert på disse observasjonene kan det se ut til at den genetiske kapasiteten til å produsere EPA og DHA påvirker fiskens robusthet. Siden mange andre gener relatert til for eksempel immunforsvar, i følge resultater fra genanalyser på disse familiene (upubliserede data, NFR-prosjekt), også er forskjellig regulert i Høy- og Lav-desaturase-gruppene, kan det også være andre mekanismer som ligger bak. I NFR prosjektet ble det utført en del helsemarkøranalyser i fisken ved 500 gram før overføring til sjø og disse analysene viste allerede på dette tidspunktet vesentlig lavere forekomst av fettlever og lavere plasmanivåer av inflammatoriske markører (sannsynligvis på grunn av lavere forekomst av fettlever) i Høydesaturasefamiliene enn i Lavdesaturasefamiliene.

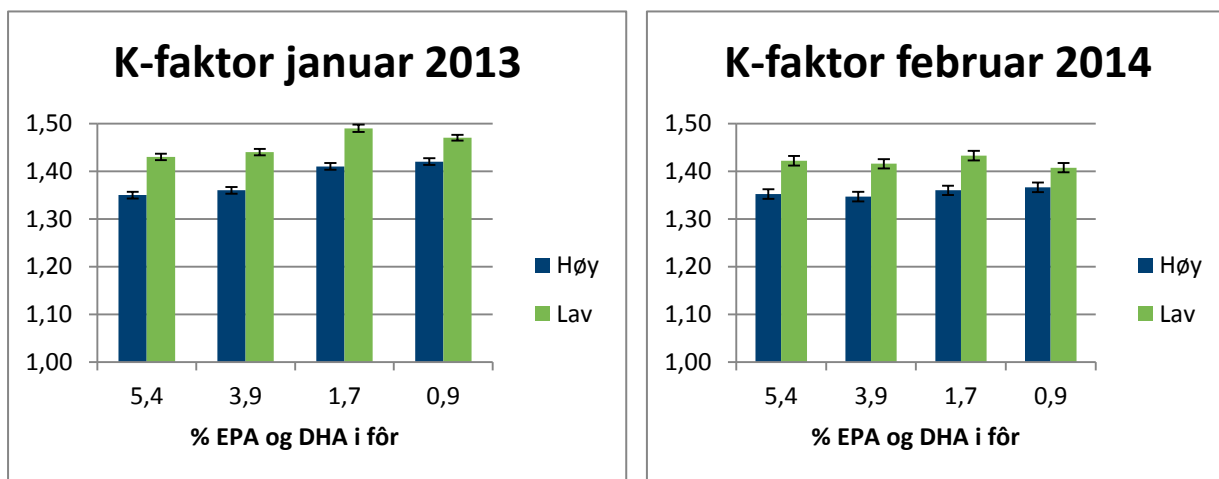


A

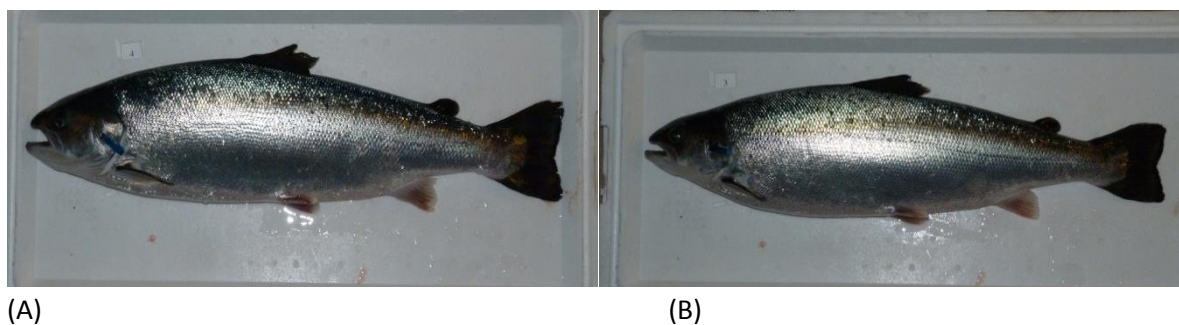
B

Figur 2 Dødelighet etter 13 måneder i sjø, vekstperiode fra 500 – 4000g, hos laks med forskjellig genetisk bakgrunn (Høy eller Lav desaturase) og forskjellig nivå av EPA og DHA i fôret i perioden 100-500 gram. Fisken fra alle tidligere fôrgruppene ble satt i samlemerd og gitt samme fôr med 1 % EPA og DHA fra 500 g til 4 kg. A) Totalt antall døde fisk fra forskjellige forsøksgrupper, og B) gjennomsnittlig antall døde pr gruppe.

Ved avsluttende slakting ved ca 4 kg observerte vi variasjon i kroppsform hos forsøksfisken. Fisk i Høy-desaturase gruppen hadde signifikant lavere kondisjonsfaktor enn fisk fra Lav-desaturase gruppen. Tilsvarende forskjell i kondisjonsfaktor mellom Høy- og Lav- desaturase-gruppene så vi også ved start av perioden, ved utsett i sjø. Forskjellig nivå av EPA og DHA i fôr i perioden 100-500 gram hadde effekt på K-faktor ved utsett i sjø, høyere K-faktor ved lave nivå av EPA og DHA, men ingen effekt på K-faktor ved slaktestørrelse. Figur 3 viser K-faktor i fiskegrupper med Høy/Lav desaturase og forskjellig andel fiskeolje i fôr, både ved start og slutt av sjøperioden. Bildene i Figur 4 illustrerer forskjellen i kroppsform ved slaktestørrelse. Høy-desaturase-fisken var også signifikant lengre enn Lav-desaturase-fisken, noe som bidrar til å forklare forskjellen i K-faktor. I tillegg kan forskjeller i fettdeponering i forskjellige vev bidra til forskjellig kroppsform.



Figur 3 K-faktor målt i ved utsett i sjø (januar 2013) og ved avslutning (februar 2014) i fiskegrupper med forskjellig familiebakgrunn og forskjellig fôring i perioden fra 100-500 gram.



Figur 4 Typisk kroppsform i fisk fra Høy-desaturase (A) og Lav-desaturase (B) familier.

Tabell 4 A) viser vekt og K-faktor ved start og slutt av 13 måneder i sjø, samt vekstrate (SGR) for ALLE fisk i merden. Det var signifikante effekter av genetisk bakgrunn (Høy/Lav desaturase), Høy-desaturase gruppene hadde lavere vekt ved start av sjøperioden (Vekt 13), og lavere K-faktor både ved start og slutt av de 13 månedene i sjø. Tilvekst i sjøfasen (SGR), målt i % pr dag, var signifikant høyere i Høy-desaturase enn i Lav-desaturase-familien, det motsatte av perioden fra 100-50gram der Lav-desaturase hadde bedre vekst. Den bedre veksten i Høy-desaturase-gruppene i sjøfasen demonstreres også ved at fisken er lengre enn fisk fra Lav-desaturase-gruppene. Sluttvekt etter 13 måneder i sjø var lik for Høy- og Lav-desaturase, Fôrtype i den forutgående perioden fra 100-500 gram hadde signifikant effekt på K-faktor ved utsett i sjø, men ingen effekt på K-faktor etter 13 måneder i sjø eller sluttvekt og vekstrate i perioden,

Tabell 4 B) viser tilsvarende data for de fiskene som ble tatt ut til prøver og flere registreringer, Gjennomsnittlig vekt er høyere her, siden vi valgte å sette nedre vektgrense ved 4 kg for fisk til slakteregistreringer og videre analyser, dette for at data skulle være representative for fisk av slaktestørrelse, Resultatene i slaktegruppene bekrefter ellers resultatene fra datasettet der all fisk er med.

4.2 Registreringer ved slakting

Registrering av en rekke slakteparametere er vist i Tabell 6. Det var ingen signifikante forskjeller i slakteutbytte, leverindeks (HSI) eller hjerteindeks (CSI). Mengde innvollsfett og avleiring av fett på hjerte ble begge vurdert visuelt etter en skala fra 1-3 der 1 er minst og 3 er mest innvollsfett/fett på hjerte. Leverfarge, som indikerer grad av fettlever, ble vurdert visuelt etter en skala fra 1-5 der 1 er lysest og 5 er mørkest. Lys farge indikerer fettlever, mens mørk farge blir regnet som normalt frisk. Det var signifikant effekt av genetisk bakgrunn for både mengde innvollsfett, fettavleiring på hjerte, og leverfarge.

Leverfarge var signifikant lysere/dårligere i Lav-desaturase enn i Høy-desaturase-familiene, noe som indikerer større grad av fettlever i Lav-desaturase-familiene. Fettlever er en tilstand der leverceller fylles opp med fettdråper. Dette gjør at cellene ikke klarer å utføre sine oppgaver like godt som de skulle, og det kan føre til en betennelsessituasjon. Årsakene til fettlever er ikke fullt ut kjent, men faktorer som oksidativt stress og feilernæring er trolig viktig. Figur 6 viser eksempel på observerte forskjeller i leverfarge. Økt fettdeponering i lever er rapportert som en indikator på mangel av essensielle fettsyrer i ørret (Owen et al. 1975), og det er også vist i mange forsøk at fettnivå i lever hos laks øker når fiskeolje erstattes med rapsolje (Liland et al., 2013; Torstensen et al., 2011; Mørkøre et al., 2012). I vårt forsøk har vi både lave nivåer av EPA og DHA, og høye nivåer av rapsolje i fôr. Det er interessant å merke seg at genetisk bakgrunn hadde den største effekten på grad av fettlever.

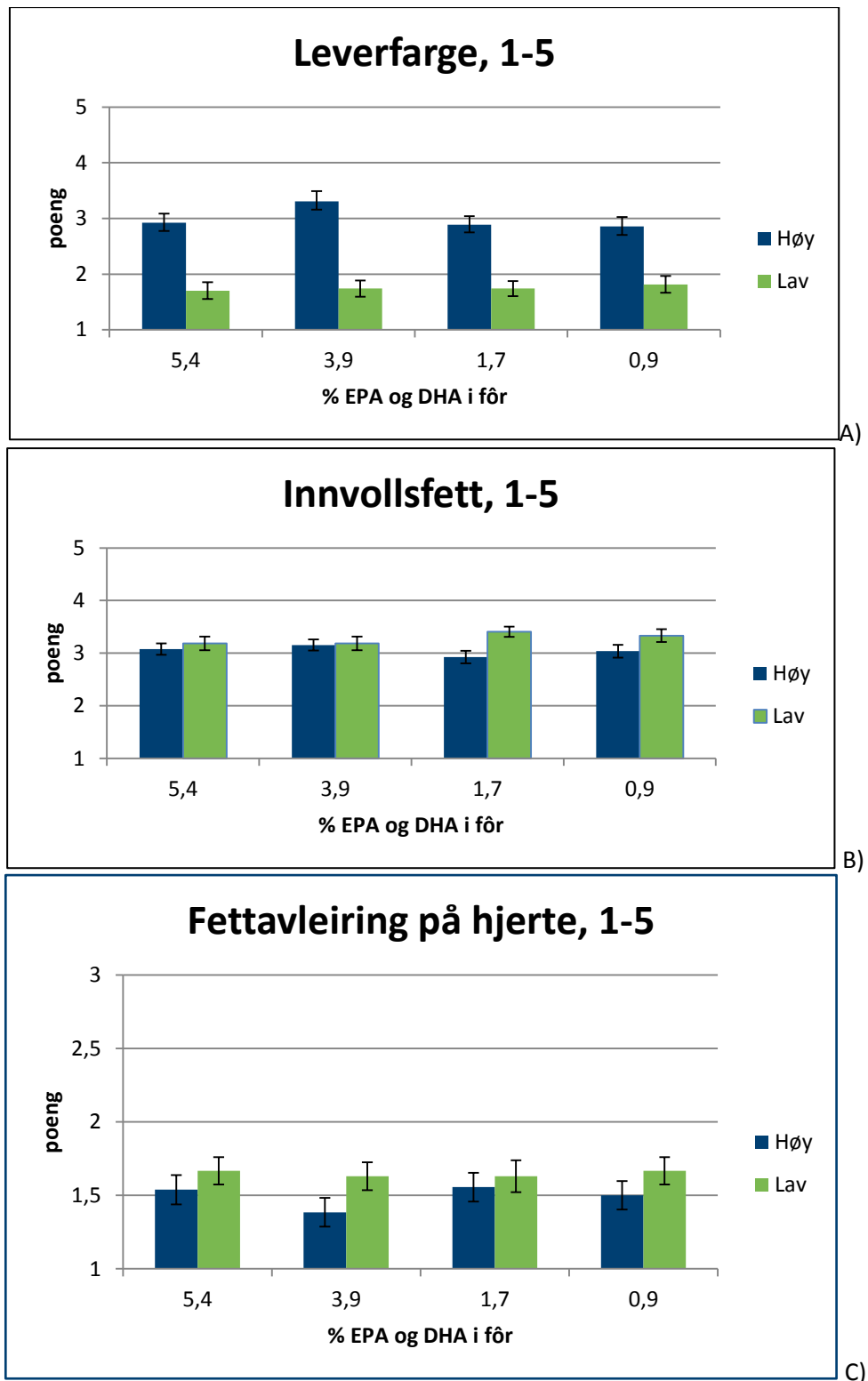
Figur 5 viser resultater fra de visuelle vurderingene for henholdsvis A) leverfarge, B) innvollsfett, og C) fett på hjerte. Lav-desaturase-gruppene hadde mer av både innvollsfett og fett på hjerte enn Høy-desaturase-gruppene. For innvollsfett ser vi at dette er tydeligst i gruppene som har fått de lave nivåene av fiskeolje i fôr i perioden fra 100 til 500 gram og Figur 7 viser hjerter med forskjellig grad av fettavleiring. Det er vist at nivå av EPA og DHA i fôr kan påvirke mengde innvollsfett i laks (Todorcevic et al. 2008), og upubliserte data referert av Torstensen et al., 2014 (FHF-rapport) viser til tendens til økt fettavleiring på hjerte når fiskeolje erstattes med ulike planplanteoljer, men mekanismene er ikke kjent.

Det var ingen signifikant forskjell i sluttvekt mellom de to genetiske gruppene og heller ikke i fettnivå i muskel, men Høy desaturase gruppene hadde signifikant lavere grad av fettlever og mengde innvollsfett enn lav desaturase gruppen, noe som viser at det er forskjellig fettfordeling i ulike vev og organer mellom de genetiske gruppene. I delrapport 1 hvor vi fulgte en annen Lav- desaturase familie og en annen Høy desaturasefamilie fant vi også endret fettfordeling i de genetiske gruppene. I motsetning til familiene i denne delrapporten var det både signifikant høyere fettnivå i muskel og lavere grad av fettlever i Høy-desaturase- gruppen enn i Lav-desaturase-gruppen. Og det var heller ingen signifikante forskjeller i mengde innvollsfett mellom de genetiske gruppene. Våre to delrapportstudier viser dermed forskjeller i fettfordeling både mellom ulike Høy desaturasefamilier og også mellom Lav og Høy desaturasefamilier. Tilsvarende resultater er tidligere funnet i regnbueørret selektert for egenskapen mager eller feit (Kolditz et al. 2008 a,b), selv om det i vår studie med laks, ble selektert familier på basis av uttrykk av Δ -6 desaturase gen. I studien med regnbueørret fant man det samme totale fettinnholdet i kroppen i de ulike genetiske familiegruppene, men fettfordelte seg forskjellig i kroppen mellom muskel, innvoller og lever.

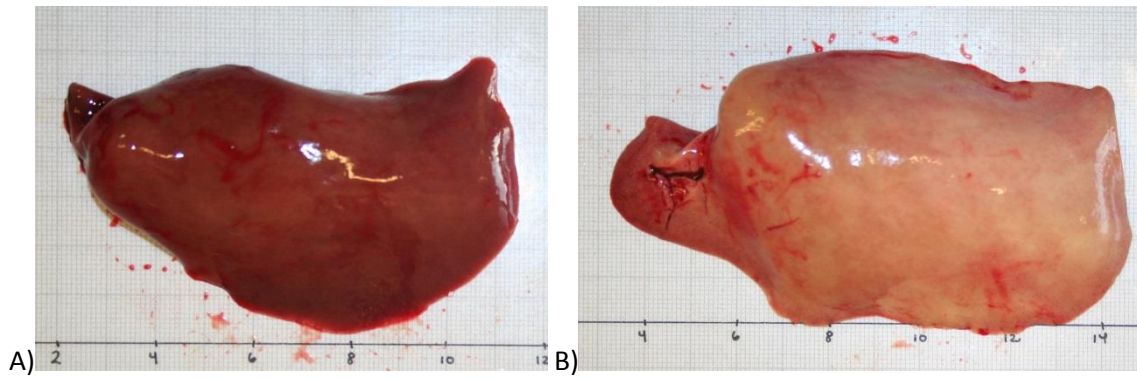
Visuell vurdering av tarm viste at det var markert flere fisk med sterk infiltrasjon av melanomakrofager i bukhulen i Lav-desaturase-gruppene. Det var 33/108 fisk i Lav-desaturase-gruppene,

mot 14/108 i Høy-desaturase-gruppene. Det var ingen klare forskjeller mellom fôr. Det er ikke klart hva slik infiltrasjon av melano-makrofager i bukhalen betyr, men det stilles spørsmål om det kan være et tegn på økt inflammasjon (Agius og Roberts, 2003).

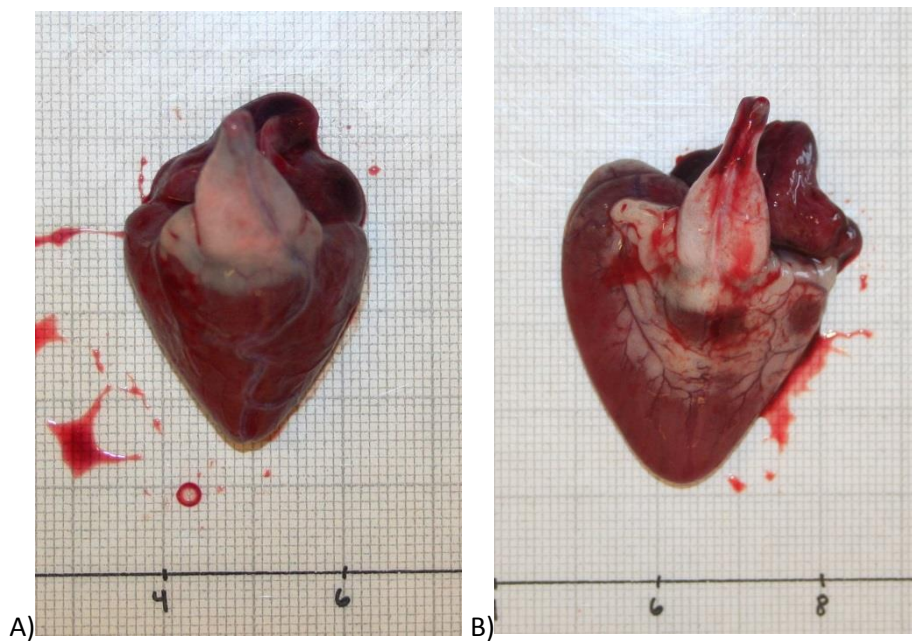
Dette kan muligens ha en viss sammenheng med økt mengde visceralt fettvev i Lav-desaturase-fisken sammenlignet med Høy-desaturase-fisken, siden lipidmetabolisme og helse kan ha komplekse interaksjoner. I pattedyr kan fedme f.eks føre til en kronisk betennelsestilstand siden fettvev skiller ut flere pro-innflammatoriske cytokiner, inkludert tumornekrosefaktor alfa (TNF α) (Rocha og Libby, 2009). I Atlantisk laks, er det tidligere vist at endring EPA og DHA nivået i fisken kan redusere betennelsesresponser og hjerte lesjoner forårsaket av virusinfeksjoner (Martinez - Rubio et al. 2014).



Figur 5 A) Leverfarge vurdert etter en skala fra 1 til 5, der 1 er lys, gjerne skjoldete, (dårlig) farge knyttet til fettlever, og 5 er mørk rød og jevn (god) farge B) Innvolls fett og C) fett på hjerte, mengde vurdert etter en skala fra 1-5 der 1 er minst og 5 er mest.



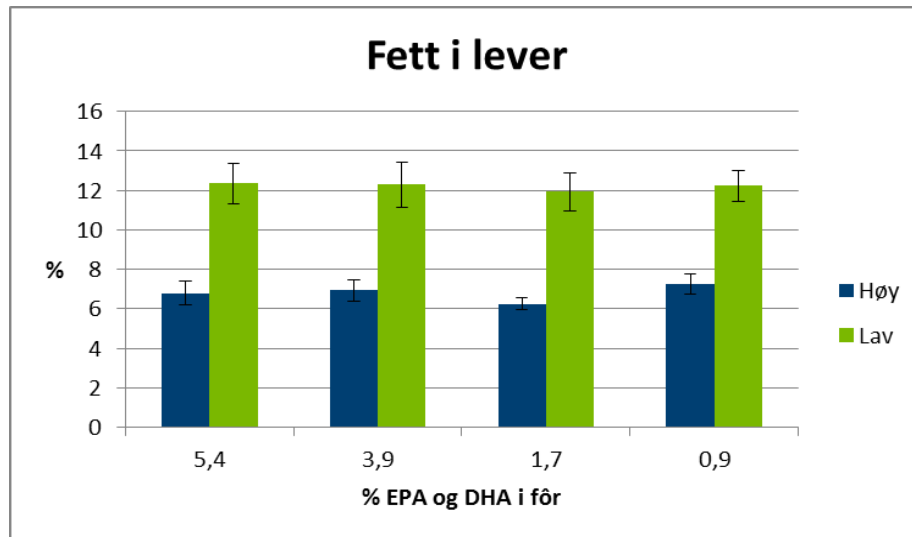
Figur 6 Leverfarge i to individer fra familiegrupper med Høg (A) eller Lav (B) desaturase.



Figur 7 Hjerter med lite eller mye fettavleiring fra A) Høg og B) Lav desaturase grupper.

4.3 Fettinnhold og fettsyreprofil i lever

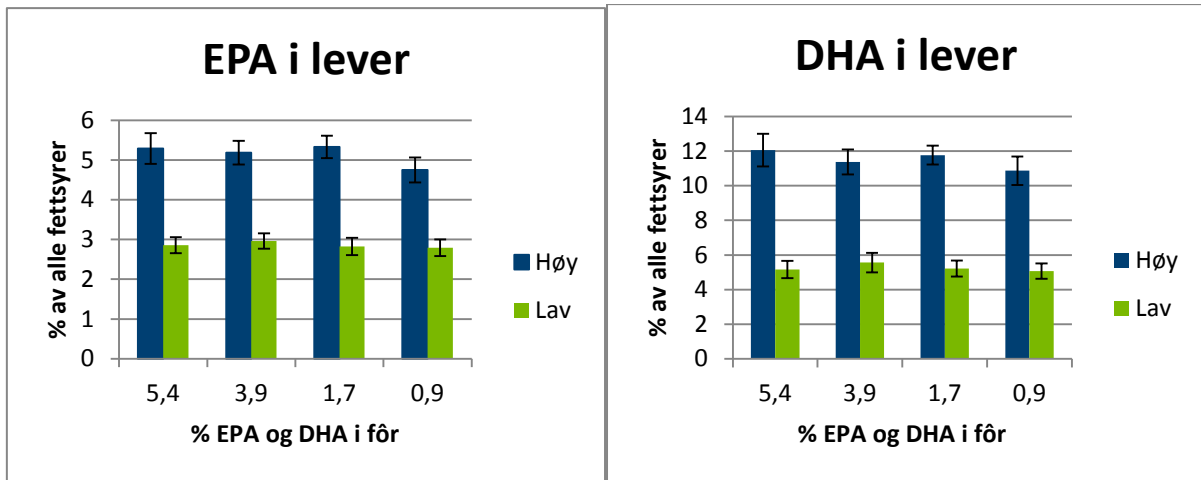
Med bakgrunn i de markerte forskjellene ved scoring av leverfarge, var det meget interessant å undersøke innhold av fett og fettsyrer i lever. Kjemisk analyse (Tabell 7) viste at lever fra Lav-desaturase-gruppene inneholdt ca 12 % fett, nesten dobbelt så mye som Høy-desaturase-gruppene, som hadde 6-7 % fett.



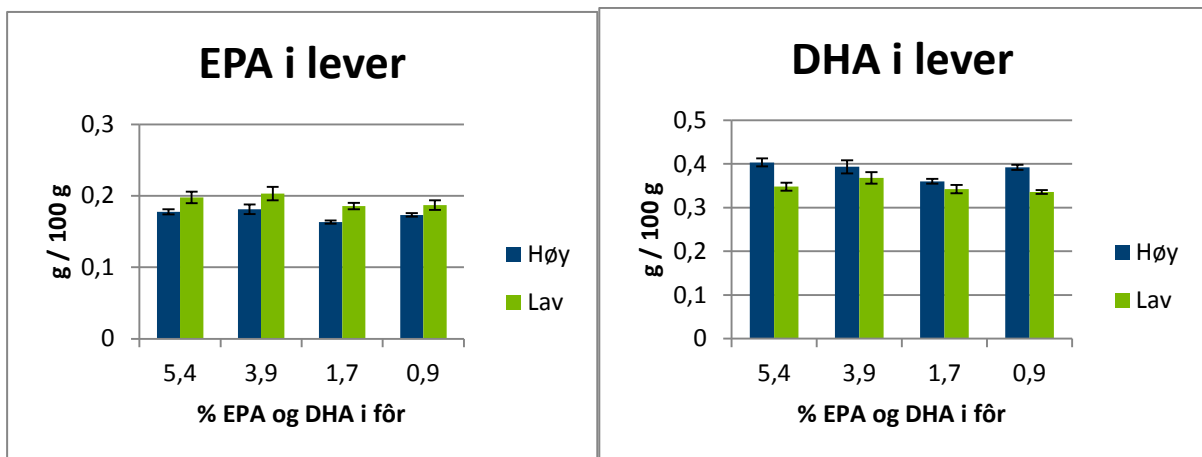
Figur 8 Totalt fettinnhold (%) i lever fra Høy og Lav desaturase familiegrupper ved 4 kg. Fisken er gitt fôr med forskjellig EPA og DHA nivå i perioden 100-500 gram og 1 % EPA og DHA fra 500gram til 4 Kg.

Innhold av EPA og DHA i % av fettsyrer, var betydelig høyere i lever fra Høy-desaturase- enn fra Lav-desaturase-gruppene (Figur 9). Ser man kvantitativt på innhold av fettsyrer, som gram per 100 gram, hadde Lav-desaturase-fisken mer EPA i lever, mens Høy-desaturase-fisken hadde mest DHA (Figur 10). Resultatene er også vist i Tabell 7.

Selv om Lav-desaturase-gruppene hadde dobbelt så høyt innhold av fett totalt, var de ikke i stand til å deponere like stor mengde DHA som Høy-desaturase-gruppene per gram lever. Lavere EPA nivå og høyere DHA nivå i lever i Høydesaturasegrupper enn i Lavdesaturase grupper, tyder på høyere kapasitet til å omdanne EPA til DHA i Høydesaturasegruppen. Noe som også er i samsvar med signifikant høyere kapasitet til å deponere DHA i helkropp når fisken var 500 gram og høyere uttrykk av Δ -6b desaturase i Høydesaturasegruppen.



Figur 9 Innhold av EPA og DHA, % av fettsyrer, i lever fra Høy og Lav desaturase familiegrupper ved 4 kg. Fisken er gitt fôr med forskjellig EPA og DHA nivå i perioden 100-500 gram og 1 % EPA og DHA fra 500gram til 4 Kg.



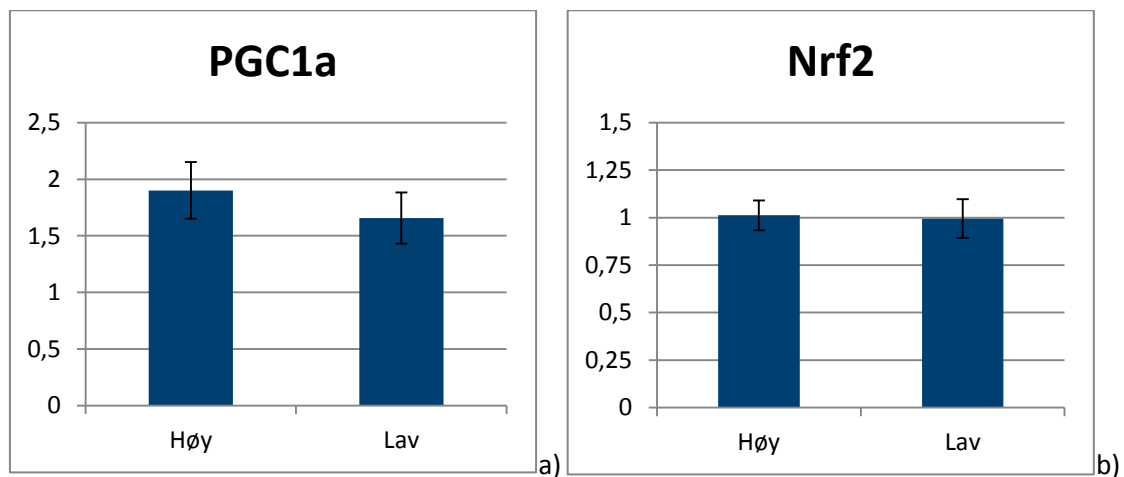
Figur 10 Innhold av EPA og DHA, gram per 100 gram, i lever fra Høy og Lav desaturase familiegrupper ved 4 kg. Fisken er gitt fôr med forskjellig EPA og DHA nivå i perioden 100-500 gram og 1 % EPA og DHA fra 500gram til 4 Kg.

4.4 Genuttrykk av utvalgte helsemarkører

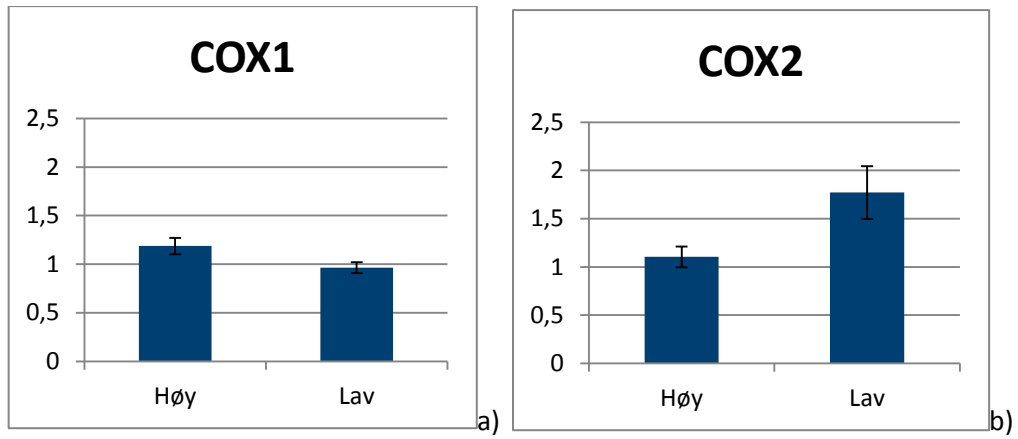
Leverprøver fra fisk i alle forsøksgrupper ble analysert for uttrykk av gener relatert til helse. Resultatene er vist i Tabell 8. Noen gener er mest påvirket av genetisk bakgrunn av fisken (Høg/Lav desaturase), mens fôring i tidligere periode (100-500 gram) ser ut til å ha mindre betydning.

Peroksisomproliferatoraktivert reseptor - γ coaktivator (PGC) -1 α tilhører en familie av transkripsjons co-aktivatorer som spiller en sentral rolle i reguleringen av energi metabolismen i celler. PGC - 1 α stimulerer mitokondriell biogenese og deltar i reguleringen av både karbohydrat og lipidmetabolisme. PGC1a er vist i pattedyr å gi økt genuttrykk som kompensasjon for fettlever (Chaturvedi et al. 2010). I vår studie fant vi ikke tilsvarende økt uttrykk av PGC1a med høyere grad av fettlever i Høydesaturase enn i Lavdesaturasegrupper (Figur 11 a). Levercelle spesifikk Nrf1 (NF-E2-related factor 1) - knockout-mus er kjent for å utvikle leversteatose (fettlever), men det er fortsatt uklart hvordan Nrf1 bidrar til lipid homeostase. Økt fettlever i Lavdesaturase enn Høydesaturase grupper påvirket ikke uttrykk av Nrf1 i laksen (Figur 11 b), slik som tidligere vist for rotte Fettlever påvirket heller ikke uttrykket av de proinflammatoriske gen markørene interleukin 1 beta eller TNFa. Figur 12 viser genuttrykk for Cox1 og Cox2, som er nøkkelenzymer i biosyntese av prostaglandiner. Cox1 er ønskelig å holde oppe på et stabilt nivå og har anti-inflammatorisk effekt.

Cox2 er et viktig enzym i omdannelsen av n-6 fettsyren arakidonsyre til det pro-inflammatoriske eikosanoidet PGE2. Det er dermed ønskelig med lave nivå av Cox2 og høye nivå av Cox1. Våre resultater viser at genetisk bakgrunn har signifikant betydning for uttrykk av både Cox1 og Cox2. Høydesaturase gruppene har høyere genuttrykk for Cox1 og lavere uttrykk for Cox2 enn Lav-desaturase gruppene.



Figur 11 Genuttrykk for PGC1a (a) og Nrf2 (b) i lever fra fisk ved slakting, gjennomsnitt for grupper gitt forskjellig fôr i perioden 100-500 gram.



Figur 12 Genuttrykk for Cox1 (a) og Cox2 (b) i lever fra fisk ved slakting, gjennomsnitt for grupper gitt forskjellig fôr i perioden 100-500 gram.

Tabell 4 Vekt (gram) og K-faktor ved start (januar 2013) og slutt (februar 2014), kroppslengde (cm) (februar 2014) og tilvekst (SGR), for A) alle fisk i forsøksfor, B) fisk slaktet ved prøveuttak etter 13 måneder i sjø.

A) Alle fisk

Tidl, før: Genetikk:	5,4 % EPA og DHA		3,9 % EPA og DHA		1,7 % EPA og DHA		0,9 % EPA og DHA		p-verdier		
	Høy	Lav	Høy	Lav	Høy	Lav	Høy	Lav	Desat	Fôrolje	Samspill
Vekt 13	451 ± 7	488 ± 7	472 ± 7	502 ± 6	459 ± 6	503 ± 7	485 ± 8	501 ± 6	<0,0001	0,2	0,16
Vekt 14	3931 ± 71	3893 ± 65	3936 ± 70	3962 ± 56	3795 ± 61	3865 ± 78	3854 ± 66	3928 ± 67	0,49	0,35	0,82
Lengde 14	69,5 ± 0,4	67,1 ± 0,4	68,8 ± 0,6	67,5 ± 0,5	67,9 ± 0,6	68,1 ± 0,6	68,8 ± 0,6	67,9 ± 0,5	0,003	0,90	0,12
K-faktor 13	1,35 ± 0,01	1,43 ± 0,01	1,36 ± 0,01	1,44 ± 0,01	1,41 ± 0,01	1,49 ± 0,01	1,42 ± 0,01	1,47 ± 0,01	<0,0001	0,0001	0,16
K-faktor 14	1,35 ± 0,01	1,42 ± 0,01	1,35 ± 0,01	1,42 ± 0,01	1,36 ± 0,01	1,43 ± 0,01	1,36 ± 0,01	1,41 ± 0,01	<0,0001	0,81	0,46
SGR	0,52 ± 0,01	0,50 ± 0,00	0,51 ± 0,00	0,50 ± 0,00	0,51 ± 0,00	0,49 ± 0,01	0,50 ± 0,01	0,50 ± 0,00	<0,0001	0,02	0,3

Vekt 13: Høy<Lav

K-faktor 13: Høy<Lav 100RO=90RO>50RO=25RO

K-faktor 14: Høy<Lav

Lengde 14: Høy<Lav

SGR: Høy>Lav

B) Prøvefisk slakta

Tidl, før: Genetikk:	5,4 % EPA og DHA		3,9 % EPA og DHA		1,7 % EPA og DHA		0,9 % EPA og DHA		p-verdier		
	Høy	Lav	Høy	Lav	Høy	Lav	Høy	Lav	Desat	Fôrolje	Samspill
Vekt 13	485 ± 13	514 ± 10	514 ± 13	493 ± 16	484 ± 12	544 ± 12	496 ± 17	521 ± 11	0,01	0,72	0,03
Vekt 14	4658 ± 112	4396 ± 75	4529 ± 104	4405 ± 78	4298 ± 113	4596 ± 97	4476 ± 90	4464 ± 92	0,72	0,87	0,02
K-faktor 13	1,36 ± 0,02	1,44 ± 0,02	1,37 ± 0,01	1,42 ± 0,02	1,43 ± 0,01	1,49 ± 0,02	1,41 ± 0,02	1,47 ± 0,01	<0,0001	0,04	0,83
K-faktor 14	1,38 ± 0,02	1,45 ± 0,02	1,39 ± 0,02	1,43 ± 0,02	1,37 ± 0,02	1,46 ± 0,02	1,38 ± 0,02	1,43 ± 0,02	<0,0001	0,88	0,67
SGR	0,55 ± 0,01	0,52 ± 0,01	0,53 ± 0,01	0,54 ± 0,01	0,53 ± 0,01	0,52 ± 0,01	0,54 ± 0,01	0,52 ± 0,01	0,03	0,54	0,19

Vekt 13: Høy<Lav

K-faktor 13: Høy<Lav 90RO=100RO=25RO>50RO

K-faktor 14: Høy<Lav

SGR: Høy>Lav

Tabell 5 Innhold av total fett, EPA og DHA (% av total fettsyre) i hel fisk ved avslutning av fôringsforsøk fra 100-500 gram, dvs ved start av fôring i sjø fram til slaktestørrelse.

Tidl. fôr:	5,4 % EPA og DHA		3,9 % EPA og DHA		1,7 % EPA og DHA		0,9 % EPA og DHA		p-verdier		
Genetikk:	Høy	Lav	Høy	Lav	Høy	Lav	Høy	Lav	Desat	Fôrolje	Samspill
Totalfett, %	13,2 ± 0,4	14,9 ± 0,3	13,0 ± 0,3	14,4 ± 0,4	13,6 ± 0,3	14,4 ± 0,3	13,7 ± 0,3	14,7 ± 0,4	<0,0001	0,69	0,51
20:5 n-3(EPA)	7,04 ± 0,08	6,84 ± 0,06	4,77 ± 0,06	4,69 ± 0,02	1,98 ± 0,02	2,00 ± 0,02	1,96 ± 0,02	1,97 ± 0,02	0,04	<0,0001	0,03
22:6 n-3(DHA)	11,26 ± 0,22	11,30 ± 0,06	9,34 ± 0,08	9,28 ± 0,05	5,71 ± 0,06	5,67 ± 0,06	5,44 ± 0,02	5,22 ± 0,05	0,28	<0,0001	0,55

Tabell 6 Registreringer ved avslutning; slakteutbytte, hepatosomatisk indeks (HSI), cardiosomatisk indeks (CSI), visuell scoring av leverfarge, fett på hjerte og mengde innvollsfett.

Tidl, fôr:	5,4 % EPA og DHA		3,9 % EPA og DHA		1,7 % EPA og DHA		0,9 % EPA og DHA		p-vedier		
Genetikk:	Høy	Lav	Høy	Lav	Høy	Lav	Høy	Lav	Desat	Fôrolje	Samspill
Slakteutbytte	87,1 ± 0,1	87,1 ± 0,2	87,9 ± 0,4	87,2 ± 0,2	87,2 ± 0,3	86,9 ± 0,2	87,3 ± 0,2	87,2 ± 0,2	0,13	0,32	0,46
HSI	0,83 ± 0,07	0,95 ± 0,04	0,89 ± 0,04	0,90 ± 0,05	0,89 ± 0,05	0,82 ± 0,07	0,87 ± 0,05	0,98 ± 0,06	0,23	0,7	0,27
CSI	0,15 ± 0,00	0,15 ± 0,01	0,15 ± 0,00	0,15 ± 0,00	0,16 ± 0,00	0,15 ± 0,00	0,15 ± 0,00	0,15 ± 0,00	0,47	0,13	0,97
Leverfarge	2,9 ± 0,2	1,7 ± 0,2	3,3 ± 0,2	1,7 ± 0,2	2,9 ± 0,2	1,7 ± 0,1	2,9 ± 0,2	1,8 ± 0,2	<,0001	0,44	0,37
Hjerte (fett)	1,5 ± 0,1	1,7 ± 0,1	1,4 ± 0,1	1,6 ± 0,1	1,6 ± 0,1	1,6 ± 0,1	1,5 ± 0,1	1,7 ± 0,1	0,03	0,81	0,8
Innvollsfett	3,1 ± 0,1	3,2 ± 0,1	3,2 ± 0,1	3,2 ± 0,1	2,9 ± 0,1	3,4 ± 0,1	3,0 ± 0,1	3,3 ± 0,1	0,007	0,98	0,23

Leverfarge: Høy>Lav
Hjerte-score: Høy<Lav
Innvollsfett: Høy<Lav

Tabell 7 Innhold av total fett, EPA og DHA (% av total fettsyre) i lever ved avslutning slaktestørrelse 4 kg.

Tidl. fôr: Genetikk:	5,4 % EPA og DHA		3,9 % EPA og DHA		1,7 % EPA og DHA		0,9 % EPA og DHA		p-verdier		
	Høy	Lav	Høy	Lav	Høy	Lav	Høy	Lav	Desat	Fôrolje	Samspill
Totalfett, %	6,8 ± 0,6	12,4 ± 1,0	6,9 ± 0,6	12,3 ± 1,2	6,3 ± 0,3	11,9 ± 1,0	7,3 ± 0,5	12,2 ± 0,8	<0,0001	0,86	0,97
% av fettsyrer:											
20:5 n-3(EPA)	5,3 ± 0,4	2,9 ± 0,2	5,2 ± 0,3	3,0 ± 0,2	5,3 ± 0,3	2,8 ± 0,2	4,7 ± 0,3	2,8 ± 0,2	<0,0001	0,60	0,74
22:6 n-3(DHA)	12,1 ± 0,9	5,2 ± 0,5	11,4 ± 0,7	5,6 ± 0,6	11,8 ± 0,5	5,2 ± 0,5	10,9 ± 0,8	5,1 ± 0,4	<0,0001	0,76	0,78
Gram per 100g											
20:5 n-3(EPA)	0,18 ± 0,00	0,20 ± 0,01	0,18 ± 0,01	0,20 ± 0,01	0,16 ± 0,00	0,19 ± 0,00	0,17 ± 0,00	0,19 ± 0,01	<0,0001	0,21	0,88
22:6 n-3(DHA)	0,40 ± 0,01	0,35 ± 0,01	0,39 ± 0,01	0,37 ± 0,01	0,36 ± 0,01	0,34 ± 0,01	0,39 ± 0,01	0,34 ± 0,00	<0,0001	0,44	0,01

Tabell 8 Relativt genuttrykk for gener relevante for immunforsvar og oksydativt stress.

Tidligere fôr: Genetikk:	5,4 % EPA og DHA		3,9 % EPA og DHA		1,7 % EPA og DHA		0,9 % EPA og DHA		p-verdier		
	Høy	Lav	Høy	Lav	Høy	Lav	Høy	Lav	Desat	Fôrolje	Samspill
COX1	1,27 ± 0,20	0,77 ± 0,09	1,33 ± 0,22	2,43 ± 1,41	1,07 ± 0,09	0,95 ± 0,11	1,07 ± 0,16	1,12 ± 0,14	0,03	0,64	0,27
COX2	1,16 ± 0,21	1,84 ± 0,76	1,10 ± 0,24	2,36 ± 0,65	0,94 ± 0,22	1,18 ± 0,29	1,18 ± 0,23	1,7 ± 0,38	0,02	0,53	0,66
LOX5	1,05 ± 0,09	1,08 ± 0,14	1,24 ± 0,25	1,39 ± 0,21	0,97 ± 0,16	1,09 ± 0,19	1,13 ± 0,22	1,50 ± 0,22	0,18	0,58	0,8
Ilb1	1,12 ± 0,22	1,00 ± 0,35	1,66 ± 0,46	1,33 ± 0,43	0,97 ± 0,23	0,95 ± 0,20	1,14 ± 0,19	1,31 ± 0,63	0,78	0,51	0,92
TNF	1,16 ± 0,33	1,17 ± 0,41	1,64 ± 0,58	0,61 ± 0,40	1,20 ± 0,34	1,01 ± 0,33	1,24 ± 0,29	1,30 ± 0,39	0,31	0,97	0,49
PGC1a	2,54 ± 0,26	2,67 ± 0,62	2,14 ± 0,82	1,39 ± 0,29	1,68 ± 0,36	1,15 ± 0,20	1,29 ± 0,31	1,29 ± 0,33	0,37	0,12	0,78
Nrf2	1,03 ± 0,16	0,99 ± 0,16	0,99 ± 0,15	0,77 ± 0,15	0,94 ± 0,19	0,88 ± 0,20	1,09 ± 0,15	1,34 ± 0,27	0,87	0,67	0,52

Tabell 9 Innhold av total mengde fett, og EPA og DHA (% av alle fettsyrer) i filet.

Tidl, fôr: Genetikk:	5,4 % EPA og DHA		3,9 % EPA og DHA		1,7 % EPA og DHA		0,9 % EPA og DHA		p-verdier		
	Høy	Lav	Høy	Lav	Høy	Lav	Høy	Lav	Desat	Fôrolje	Samspill
Totalfett, %	18,2 ± 0,2	17,6 ± 0,4	17,6 ± 0,4	18,2 ± 0,6	16,9 ± 0,5	17,8 ± 0,4	17,1 ± 0,4	17,6 ± 0,3	0,26	0,36	0,28
18:1 n-9	46,6 ± 0,06	46,4 ± 0,08	46,9 ± 0,07	46,7 ± 0,06	47,4 ± 0,06	47,4 ± 0,08	47,5 ± 0,07	47,4 ± 0,07	0,008	<,0001	0,16
18:2 n-6	15,9 ± 0,06	15,7 ± 0,07	16,2 ± 0,07	15,9 ± 0,06	16,4 ± 0,09	16,1 ± 0,05	16,3 ± 0,06	16,1 ± 0,05	<,0001	<,0001	0,62
18:3 n-3	5,4 ± 0,06	5,2 ± 0,03	5,4 ± 0,06	5,2 ± 0,02	5,5 ± 0,05	5,3 ± 0,02	5,4 ± 0,06	5,3 ± 0,03	<,0001	0,08	0,95
20:5 n-3	1,9 ± 0,03	2,1 ± 0,01	1,8 ± 0,03	2,0 ± 0,02	1,7 ± 0,02	1,8 ± 0,01	1,7 ± 0,02	1,8 ± 0,02	<,0001	<,0001	0,05
22:5 n-3	0,8 ± 0,01	0,9 ± 0,01	0,7 ± 0,01	0,8 ± 0,01	0,7 ± 0,01	0,7 ± 0,01	0,7 ± 0,01	0,7 ± 0,01	<,0001	<,0001	0,07
22:6 n-3	2,9 ± 0,04	3,0 ± 0,03	2,9 ± 0,06	2,9 ± 0,07	2,7 ± 0,04	2,7 ± 0,04	2,6 ± 0,04	2,6 ± 0,02	0,45	<,0001	0,09
SFA	15,4 ± 0,07	15,7 ± 0,07	15,1 ± 0,08	15,5 ± 0,07	14,7 ± 0,13	15,1 ± 0,11	14,9 ± 0,07	15,2 ± 0,08	<,0001	<,0001	0,83
MUFA	52,5 ± 0,06	52,2 ± 0,05	52,7 ± 0,06	52,5 ± 0,06	53,1 ± 0,05	53,2 ± 0,08	53,3 ± 0,07	53,2 ± 0,06	0,006	<,0001	0,20
PUFA	29,0 ± 0,08	29,0 ± 0,09	29,2 ± 0,10	29,0 ± 0,13	29,2 ± 0,12	28,8 ± 0,10	28,9 ± 0,10	28,8 ± 0,08	0,01	0,14	0,25

Total lipid: n.s.

EPA: High<Low, 75>50>10=0

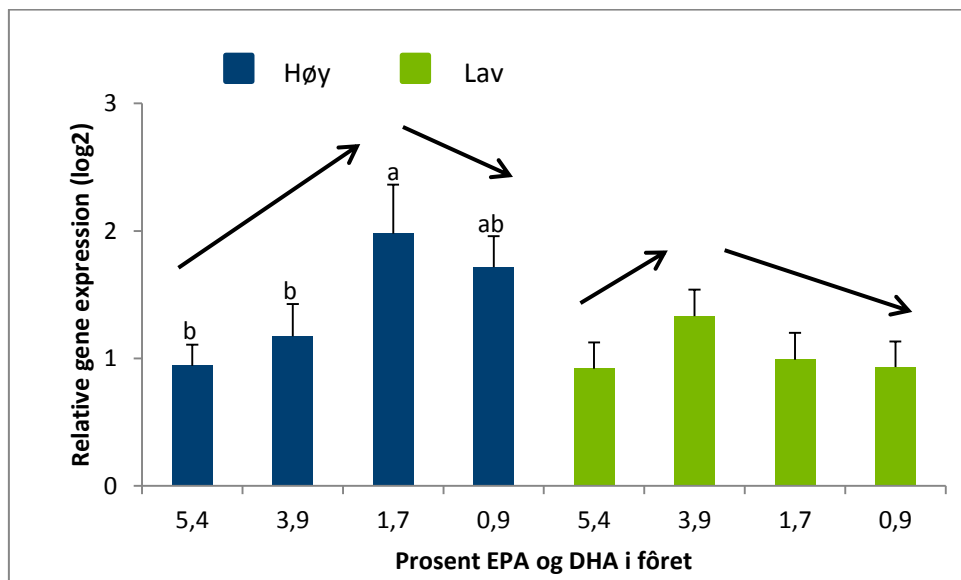
DHA: High=Low, 75>50>10=0

EPA+DHA: High<Low, 75>50>10=0

4.5 Fettsyreprofil i filet

4.5.1 Effekt av genetisk bakgrunn

Tidligere forsøk har vist at Høy-desaturase-laks har høyere kapasitet til å omdanne korte omega-3-fettsyrer til EPA og DHA enn Lav-desaturase-laks i visse livsfaser (for mer informasjon se delrapport 1 og 3). Denne forskjellen i kapasitet mellom familier er tidligere vist kun i fisk fôret med moderate nivå av planteolje i fôret. Da fisken i dette forsøket var 500 g, ble det observert økende uttrykk av $\Delta 6$ -desaturase i lever ved økende nivå av planteolje i fôret, men dataene tydet på at ved ekstremt høyt nivå av planteolje i fôret fikk man en hemming av $\Delta 6$ -desaturase uttrykket sammenlignet med de moderate innblandingsnivåene av planteolje Figur 13. Dette kan tyde på høyest kapasitet til egen produksjon av EPA og DHA i laks ved moderate nivåer av disse fettsyrene i fôr og at både ekstremt lave og ekstremt høye nivåer av EPA og DHA i fôr ikke gir optimalt desaturaseuttrykk.



Figur 13 Genuttrykk for $\Delta 6$ -desaturase ($\Delta 6fad_b$) i lever fra laks med Høy- og Lav-desaturase familiebakgrunn, som hadde fått forskjellig nivå av EPA og DHA i fôr fra 100 – 500 g.

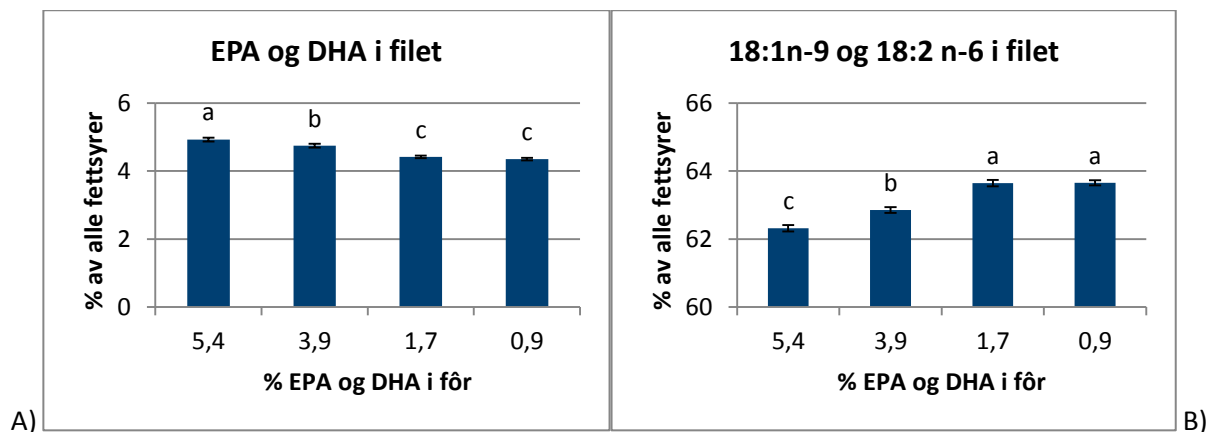
I laksens vekstfase fra 500 g til 4 kg ble fisken fôret med meget høyt nivå av planteolje, og bare 1 % EPA og DHA i fôret. Dette ga ingen forskjeller i nivået av DHA i filet mellom Høy- og Lav-desaturase-gruppene ved slaktestørrelse ca 4 kg. Innhold av totalfett og en del viktige fettsyrer i filet fra de forskjellige forsøksgruppene er vist i Tabell 9.

Tilsvarende resultater er funnet i regnbueørret selektert for å bli feit eller mager (Kamalam et al. 2013). På samme måte som vi har sett i Høy-desaturase-laks, har ørret selektert for endret fettfordeling (mindre innvolls fett og økt muskelfett), økt kapasitet til produksjon av EPA og DHA. I både regnbueørret studien og i våre laksefamilier fant man forskjellig kapasitet til å produsere EPA og DHA mellom de genetiske gruppene. I begge studiene ble omega-3 synteseveien stimulert ved et moderat nivå av planteolje i fôret, uavhengig av den genetiske bakgrunnen til fisken. Den genetiske pre-disponeringen til høyere EPA og DHA syntese i ørretfamilier synes å forsvinne når dietter med høyt nivå av planteolje ble benyttet (Kamalam et al. 2013). Tilsvarende som for ørretstudien, fant vi

høyere EPA og DHA produksjon i Høy-desaturase- gruppen enn i Lav-desaturase-gruppen når laks ble føret med moderate nivåer av planteoljer i tidligere livsfase. I vår studie, hvor et meget høyt nivå av planteolje i føret ble benyttet gjennom hele vekstperioden i sjø fra 400 gram til 4 kg (kun 1 % EPA og DHA i føret benyttet i forsøk beskrevet i både delrapport 1 og delrapport 2), forsvant forskjellen i prosent EPA + DHA mellom de genetiske gruppene.

4.5.2 Effekt av tidligere fôring

Etter 13 måneder i sjø med ett fôr, lavt i EPA og DHA, ser vi at det fortsatt er signifikante forskjeller i filetinnhold av EPA og DHA på grunn av ulik fôring i tidligere fase. Ved å gi fisken høyere nivå av EPA og DHA i perioden 100-500 gram, får vi signifikant høyere nivå av EPA og DHA, og signifikant lavere nivå av de typiske plantefettsyrene 18:1n-9 og 18:2n-6 (Figur 14) i filet.



Figur 14 Innhold av A) EPA og DHA og B) 18:1n-9 og 18:2n-6 i filet fra laks på 4 kg, som hadde fått fôr med forskjellig innhold av EPA og DHA i perioden fra 100 til 500 gram, men samme fôr med 1 % EPA og DHA i perioden fra 500 gram til 4 kg.

4.6 Undersøkelser av filetkvalitet

En filet fra hver av alle prøvafisk ble sendt til Ås for vurdering av produktkvalitet. Resultatene er vist i Tabell 10. Totalfett og pigmentinnhold ble estimert ved hjelp av Photofish, denne metoden gir fettverdier på samme nivå som ved kjemisk måling (jfr Tabell 8). Totalfett mål kjemisk (Tabell 9) ga ingensignifikant effekt av verken genetisk bakgrunn eller tidligere fôring, mens målingene med Photofish indikerte en forskjell mellom Høy- og Lav-desaturase-gruppene.

Både pigmentinnhold og fettinnhold var hver for seg signifikant høyere i Lav-desaturase-gruppene enn i Høy-desaturase-gruppene. Når man korrigerte pigmentinnhold for fettinnhold, det vil si kjørte statistisk analyse for pigment med fettinnhold som co-variater, var det ingen forskjell i pigment mellom grupper. Fasthet var signifikant høyere i Lav-desaturase-gruppene. For andre kvalitetsparametre var det ingen signifikante forskjeller.

Alle grupper hadde tilfredsstillende kvalitet. Dette viser at det er mulig å produsere laksefilet av god kvalitet selv om fisken har fått lavt nivå av EPA og DHA i fôr i lange perioder av livet. Den statistisk sikre forskjellen som ble observert mellom genetiske grupper i fasthet i filet, var godt innenfor normal variasjon.

Tabell 10 Kvalitet i filet, totalfett (%) og pigmentinnhold (mg/kg) målt med Photofish, fasthet målt instrumentelt.

Tid, før: Genetikk:	5,4 % EPA og DHA		3,9 % EPA og DHA		1,7 % EPA og DHA		0,9 % EPA og DHA		p-verdier		
	Høy	Lav	Høy	Lav	Høy	Lav	Høy	Lav	Desat	Fôrolje	Samspill
Totalfett, %	17,3±0,3	18,2±0,2	17,2±0,2	18,6±0,2	16,7±0,3	17,9±0,2	17,1±0,2	17,9±0,2	<,0001	0,04	0,48
Pigment, mg/kg	5,48±0,15	6,02±0,13	5,53±0,20	5,98±0,13	5,34±0,18	5,74±0,15	5,61±0,15	5,96±0,13	<,0001	0,36	0,94
Fasthet, N	10,9±0,4	11,4±0,4	10,5±0,3	11,3±0,3	10,6±0,3	11,9±0,4	10,5±0,3	11,6±0,3	0,0003	0,74	0,64
Filetpalting	0,38±0,17	0,27±0,13	0,12±0,08	0,24±0,13	0,19±0,08	0,11±0,08	0,12±0,07	0,04±0,04	0,62	0,12	0,65
Melanin buk	0,19±0,08	0,15±0,07	0	0,11±0,06	0,22±0,08	0,07±0,05	0,11±0,06	0,04±0,04	0,38	0,17	0,19
Melanin rygg	0,15±0,07	0	0,12±0,06	0,11±0,06	0,04±0,04	0,11±0,06	0,07±0,05	0,04±0,04	0,42	0,72	0,18
Vannbindingsevne	10,0±0,3	9,6±0,4	9,6±0,4	9,8±0,4	10,0±0,2	10,1±0,4	9,4±0,4	10,1±0,4	0,55	0,81	0,49

4.7 Nytteverdi av resultatene

Både i delprosjekt 1 og 2 har vi vist at fôring i perioden fra smoltstørrelse 80-100 gram og opp til 400 gram, har signifikant betydning for innhold av EPA og DHA i filet etter påfølgende 13 måneder med lavt innhold av omega-3 i fôr og 3,5 kg økning i kroppsvekt. *Disse resultatene kan tyde på at det bør undersøkes mer grundig om det kan være ressursøkonomisk gunstig å benytte høye nivåer av EPA og DHA i visse livsfaser fremfor andre.*

Vi har vist at omega-3 fettsyremetabolismen er en kompleks egenskap. Når vi har selektert for egenskapen Δ -6 desaturase for økt kapasitet til EPA og DHA produksjon, så følger flere andre egenskaper med på lasset. Våre data viser at genetisk bakgrunn, i tillegg til egenskapen vi selekterte for, kapasitet til EPA og DHA syntese, hadde betydning for fettfordelingen i fiskekroppen (spesielt stor betydning for utvikling av fettlever og fordeling mellom innvolls fett og muskelfett), og flere parametere relatert til fiskehelse, inkludert overlevelse i sjø. Videre viser våre data at ulike familier responderer ulikt på de ovennevnte egenskapene når nivået av planteoljer i fôret økes. Resultater fra transcriptom analyser av de ulike familiene i våre studier viste at et høyt antall gener er forskjellig uttrykt i Høy- og Lav-desaturase-familier. Mange av disse genene er relatert til fettsyremetabolisme, men også gener relatert til immunforsvar og inflammasjon. *Samlet sett viser studiene på disse laksefamiliene at det er et potensiale for genetisk seleksjon, men det er viktig å huske at mange gener samvarierer med Δ -6 desaturase slik at seleksjon medfører effekt på flere egenskaper.*

5 Referanser

- Agius, C. & Roberts, R.J., 2003. Melano-macrophage centres and their role in fish pathology. Review. *Journal of Fish Diseases*, 26, 499-509.
- Andersen, U.B., Strømsnes, A.N., Steinsholt, K., Thomassen, M.S., 1994. Fillet gaping in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Nor. J. Agric. Sci.* 8, 165–179.
- Folch, J., Lees, M. & Sloane Stanley, G.H. (1957) A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues, *J. Biol. Chem.*, **226**, 497–509
- Folkestad, A., Wold, J.P., Rørvik, K.-A., Tschudi, J., Haugholt, K.H., Kolstad, K., Mørkøre, T., 2008. Rapid and non-invasive measurements of fat and pigment concentrations in live and slaughtered Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* 280, 129-135
- Hoshi, M., Williams, M. & Kishimoto, Y. (1973) Esterification of fatty acids at room temperature by chloroform methanolic HCl cupric acetate. *J. Lipid Res.*, **14**, 599–601
- Kamalam BS, Medale F, Larroquet L, Corraze G, Panserat S., 2013 Metabolism and Fatty Acid Profile in Fat and Lean Rainbow Trout Lines Fed with Vegetable Oil: Effect of Carbohydrates. *Plos One*. 2013 Oct 4;8.
- Kolditz C, Borthaire M, Richard N, Corraze G, Panserat S, Vachot C, Lefevre F, Medale F., 2008a. Liver and muscle metabolic changes induced by dietary energy content and genetic selection in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *American Journal of Physiology-Regulatory Integrative and Comparative Physiology*. 2008 Apr;294:R1154-R1164.
- Kolditz CI, Paboeuf G, Borthaire M, Esquerre D, SanCristobal M, Lefevre F, Medale F., 2008b. Changes induced by dietary energy intake and divergent selection for muscle fat content in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), assessed by transcriptome and proteome analysis of the liver. *Bmc Genomics*. 2008 Oct 29;9.
- Liland, N. S., Rosenlund, G., Berntssen, M. H. G., Brattelid, T., Madsen, L., & Torstensen, B. E. (2013) Net production of Atlantic salmon (FIFO, Fish in Fish out < 1) with dietary plant proteins and vegetable oils. *Aquaculture Nutrition*, 19(3): 289-300.
- Martinez-Rubio L, Evensen O, Krasnov A, Jorgensen SM, Wadsworth S, Ruohonen K, Vecino JLG, Tocher DR., 2014. Effects of functional feeds on the lipid composition, transcriptomic responses and pathology in heart of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) before and after experimental challenge with Piscine Myocarditis Virus (PMCV). *Bmc Genomics*. 2014 Jun 11;15
- Mason, M.E. & Waller, G.R. (1964) Dimethoxypropane induced transesterification of fats and oils in preparation of methyl esters for gas chromatographic analysis. *Anal. Chem.*, **36**, 583–586
- Morais, S., Pratoomyot, J., Taggart, J.B., Bron, J.E., Bell, J.G., Tocher, D.J., 2010. Family-specific responses to dietary fish oil replacement by vegetable oil in Atlantic salmon: microarray analysis of liver transcriptome. XIV Int. Symp. on Nutr. and Feeding in Fish., Qingdao, China, May 31 - June 4, 2010, p 63. Abstract
- Moya-Falon C, Thomassen MS, Jakobsen JV, Ruyter B., 2005. Effects of dietary supplementation of rapeseed oil on metabolism of [1-C-14] 18 : 1 n-9, [1-C-14] 20 : 3n-6, and [1-C-14]20 : 4n-3 in Atlantic salmon hepatocytes. *Lipids*. 2005 Jul;40:709-17
- Mørkøre, T., Einen, O. 2003. Relating sensory and instrumental texture analysis of Atlantic salmon. *J. Food Sci.*, 1492-1497.
- Mørkøre T., Åsli, M., Sanden, K.W., Dessen, J.E., Bjerke, M.T., Hoås, K.G. & Rørvik, K.-A. (2012) Tekstur og fett i laksefilet. Rapport/Report 38/2012

- Owen, J. M., Adron, J. W., Middleton, C., & Cowey, C. B. 1975. Elongation and Desaturation of Dietary Fatty-Acids in Turbot *Scophthalmus-Maximus* L, and Rainbow-Trout, *Salmo-Gairdnerii* Rich. *Lipids*, 10(9): 528-531.
- Rocha VZ, Libby P., 2009. Obesity, inflammation, and atherosclerosis. *Nature Reviews Cardiology*. 2009 Jun;6:399-409
- Schlechtriem,C., Bron,J.E., Tocher,D.R., 2007. Inter-individual variation in total fatty acid composition of flesh of Atlantic salmon smolts fed diets containing fish oil or vegetable oils. *Aquaculture Research* 38, 1045-1055.
- Todorcevic, M., Vegusdal, A., Gjoen, T., Sundvold, H., Torstensen, B. E., Kjaer, M. A., & Ruyter, B. (2008) Changes in fatty acids metabolism during differentiation of Atlantic salmon preadipocytes; Effects of n-3 and n-9 fatty acids. *Biochimica Et Biophysica Acta-Molecular and Cell Biology of Lipids*, 1781(6-7): 326-335.
- Torstensen, B. E., Espe, M., Stubhaug, I., & Lie, O. (2011) Dietary plant proteins and vegetable oil blends increase adiposity and plasma lipids in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *British Journal of Nutrition*, 106(5): 633-647.
- Torstensen et al 2014. Utredning: Effekter av endret fettsyresammensetning i fôr til laks relatert til fiskens helse, velferd og robusthet. «Fett for fiskehelse» FHF-rapport NN 2014

6 Leveranser

I løpet av perioden har prosjektet gitt følgende leveranser:

01.01.2012	Møte med styringsgruppen
31.12.2012	Faktaark: «Kan vi gjennom avl og ernæring påvirke laksens kapasitet til å produsere omega-3 fettsyrene EPA og DHA?»
31.12.2012	Framdriftsrapport pr 2012
07.03.2013	Møte med styringsgruppen (telefonmøte)
05.06.2014	Møte med styringsgruppen
22.10.2013	Presentasjon på FHF-samling Verdikjede havbruk 21.-22.oktober
31.12.2013	Faktaark: «Kan størrelse ved overgang til sjøvann påvirke laksens kapasitet til å produsere omega-3 fettsyrene EPA og DHA?»
31.12.2013	Framdriftsrapport pr 2013
15.05.2014	Presentasjon på FHF-samling, dialogmøte med Nifes og industri, 15.05.2014
10.12.2014	Faktaark; «Genetisk bakgrunn er av betydning for laksens evne til å opprettholde god helse ved lave nivåer av EPA og DHA i fôret»
21.01.2015	Presentasjon på FHF-samling, dialogmøte med Nifes og industri

Under bearbeiding:

- Artikkel til fagpresse

Prosjektet har også fått omtale her:

18.09.2012

<http://www.forskning.no/artikler/2012/september/333809>

<http://www.intrafish.no/norsk/nyheter/article1355968.ece>

http://www.kyst.no/?page_id=120&article_id=95814

20.09.2012

http://www.fishnewseu.com/index.php?option=com_content&view=article&id=8983:genes-effect-omega-3-conversion&catid=46:world&Itemid=56

31.03.2014

http://www.kyst.no/nyhet/?article_id=104723

10.04.2014

http://www.kyst.no/nyhet/?article_id=104959

13.05.2014

<http://nofima.no/nyhet/2014/05/stor-laksesmolt-produserer-mer-sunt-fett/>

<http://www.sysla.no/2014/05/13/pressemelding/stor-laksesmolt-produserer-mer-sunt-fett/>

http://www.intrafish.no/gratis_nyheter/article1390358.ece

<http://www.fishupdate.com/larger-salmon-smolts-produce-healthier-fat-fishupdate-com/>

<http://www.dagligvarehandelen.no/oppdrettslaks-kan-produsere-mer-marint-omega-3/>

23.05.2014

<http://www.kystmagasinet.no/nyheter/2014/stor-laksesmolt-produserer-mer-sunt-fett/>

16.06.2014

Nationen (papirutgave) Gjør laksen enda sunnere (om stor smolt og omega-3)

<http://forskning.no/fisk-oppdrett-mat/2014/05/laksen-skal-lage-mer-av-det-sunne-omega-3-fettet>

http://www.kyst.no/nyhet/?article_id=106126

<http://www.sysla.no/2014/06/16/havbruk/slik-skal-oppdrettslaksen-bli-sunnere/>

<http://www.nord24.no/sjomat/article7422026.ece>

