

Kvalitetsaspekter hos laks som matvare ved endret fettsyresammensetning

Turid Mørkøre (Nofima), Trine Ytrestøyl (Nofima), Bente Ruyter (Nofima), Bente E. Torstensen (Nifes), Magny S. Thomassen (IHA, NMBU)





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

Nofima har om lag 400 ansatte.

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

Hovedkontor Tromsø:

Muninbakken 9–13
Postboks 6122
NO-9291 Tromsø

Ås:

Osloveien 1
Postboks 210
NO-1431 ÅS

Stavanger:

Måltidets hus, Richard Johnsensgate 4
Postboks 8034
NO-4068 Stavanger

Bergen:

Kjerreidviken 16
NO-5141 Fyllingsdalen

Sunnalsøra:

Sjølseng
NO-6600 Sunndalsøra

Averøy:

Ekkilsøy
NO-6530 Averøy

Felles kontaktinformasjon:

Tlf: 02140
Faks: 64 97 03 33
E-post: post@nofima.no
Internett: www.nofima.no

Foretaksnr.:

NO 989 278 835

Rapport

	ISBN: 978-82-8296-185-1 (trykt) ISBN: 978-82-8296-186-8 (pdf) ISSN 1890-579X
<i>Tittel:</i> Kvalitetsaspekter hos laks som matvare ved endret fetttsyresammensetning	<i>Rapportnr.:</i> 19/2014 <i>Tilgjengelighet:</i> Åpen
<i>Forfatter(e)/Prosjektleder:</i> Turid Mørkøre (Nofima), Trine Ytrestøyl (Nofima), Bente Ruyter (Nofima), Bente E. Torstensen (Nifes), Magny S. Thomassen (NMBU)	<i>Dato:</i> 5. mars 2014
<i>Avdeling:</i> Sjømatindustri, Ernæring og fôrteknologi	<i>Ant. sider og vedlegg:</i> 30
<i>Oppdragsgiver:</i> Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond (FHF)	<i>Oppdragsgivers ref.:</i> FHF#900936
<i>Stikkord:</i> Oppdrettslaks, kvalitet, omega-3, farge, tekstur, gaping, sensorik	<i>Prosjektnr.:</i> 10739
<i>Sammendrag:</i> Knapphet på marint fôrråstoff har medført redusert bruk av fiskemel og fiskeolje i fôr til norsk oppdrettslaks. I 1990 utgjorde marine råvarer 90 % av fôret mens andelen var redusert til 32 % i 2012. Planteoljer ble for alvor tatt i bruk ved årtusenskiftet, og i dag utgjør rapsolje cirka 2/3 av oljefraksjonen i fôret. Fettsammensetningen i filet vil gjenspeile den i fôret. Derfor har fetttsyreprofilen i oppdrettslaksen endret seg vesentlig de siste årene. Overgangen til planteråvarer har gjort det mulig å produsere mer laks fra begrensede marine ressurser, men det er viktig å sikre at filetene bevarer god ernæringsmessig, sensorisk og teknologisk kvalitet ved omfattende endringer av laksens fôrseddel. Denne rapporten gir en oversikt over kunnskapsstatus om kvalitetsaspekter hos laks som matvare ved endret fetttsyresammensetning. Produkttegenskaper som er vektlagt er ernæringsmessig kvalitet, filetfarge, tekstur og filetspalting, væskebindingsevne samt lukt og smak. Kildene som er benyttet i rapporten er både publiserte og upubliserte data. Det er også gjennomført nye statistiske analyser av gamle forsøksresultater for å bedre grunnlaget for å definere prioriterte innsatsområder for forskningen. Det ble avholdt et arbeidsmøte med de største aktørene i norsk oppdrettsindustri og fôrproduksjon, samt marked. På møtet ble oppdatert kunnskapsstatus og vesentlige kunnskapshull vedrørende betydningen av endret fetttsyresammensetning for filetkvaliteten diskutert. Hovedkonklusjonen fra møtet var at vi må sikre at laks med endret fetttsyresammensetning ikke utvikler avvikende kvalitet, men at filetene har en stabil og forutsigbar kvalitet ved prosessering og lagring.	
<i>Summary:</i> Shortage of marine feedstuffs has resulted in reduced use of fishmeal and fish oil in feed for farmed Norwegian salmon. In 1990, marine ingredients comprised 90% of the feed, while the percentage was reduced to 32% in 2012. From 1990 salmon feed has been supplemented with proteins from plants, while plant oils were introduced 10 years later. Today about 2/3 of the lipid fraction in salmon feed is comprised by rapeseed oil, but other plant oils may also be relevant in the future. The fatty acid composition of the fillet will reflect that of the feed. Hence, the fatty acid profile of farmed salmon has changed significantly during the last decade. The transition to a plant based diet has made it possible to expand the salmon production from limited marine resources, but it is important to ensure that the fillets retain a superior sensory and technical quality when performing radical feed formulation changes. This report gives an overview of current knowledge about quality aspects of salmon as food related to altered fatty acid composition. The following quality aspects are emphasized: nutritional composition, fillet color, texture and gaping, liquid holding capacity, and organoleptic properties. The data presented are obtained from both published and unpublished sources. Additionally some reanalyzing of old research data has been performed to get a better basis for pointing out significant knowledge gaps and research needs that are required to ensure good quality of salmon fillets in the future.	

Innhold

1	Bakgrunn	1
2	Innledning	2
2.1	Planteoljer	4
3	Sammensetning av filet.....	6
3.1	Fettinnhold	6
3.2	Fettfordeling.....	7
3.3	Vitaminer	8
4	Filetfarge	9
4.1	Biotilgjengelighet av astaxanthin i laksefisk.....	9
4.2	Effekt av fettkvalitet	9
5	Tekstur og filetpalting	13
5.1	Effekt av fettkvalitet	14
6	Væskeslipp	17
7	Lukt og smak.....	19
7.1	Effekt av fettkvalitet	19
7.2	Ferskhet.....	21
8	Forsknings og utviklingsbehov	23
9	Referanser	24

1 Bakgrunn

Oppdrettslaks er anerkjent som sunn og smakelig mat som verdsettes over store deler av verden, både som rå, kokt, marinert, saltet og røkt. Laksens allsidighet som matvare er en vesentlig årsak til dens økende popularitet og konkurransedyktighet. Langsiktig FoU-satsing vil være et viktig virkemiddel for å sikre at norsk oppdrettslaks også har lønnsom og bærekraftig vekst i fremtiden slik at man kan fortsette å tilby flere forbrukere et etterspurt, sunt og godt produkt.

Fôr er den største innsatsfaktoren i lakseoppdrett. De senere årene har konkurransen om fiskeråstoff som tradisjonelt har vært brukt i laksefôr økt betraktelig og spørsmålet om bærekraft i produksjonen knyttes stadig oftere til forråvarene. Spesielt fordrer bærekraftig lakseoppdrett at man begrenser anvendelsen av fôrråstoff som kan brukes som menneskemat. Ønsket om å redusere forbruket av konkurranseutsatt fiskeråstoff har medført at laksenæringen har tilpasset fôrreseptene mot en grønnere profil. I dag utgjør fiskeproteiner bare en tredjedel av proteinene i fôret mens planteproteiner utgjør to tredjedeler. Utviklingen har gått i samme retning for fett. I dag tilsettes fôret omtrent dobbelt så mye planteolje som fiskeolje. Laksen nyttiggjør seg av planteoljer men den evner kun i liten grad å omdanne planteoljer til marint omega 3 (EPA, DHA). Ettersom fettsyresammensetningen i fileten i stor grad gjenspeiler den i fôret, vil innholdet av EPA og DHA avta med økende innblanding av planteoljer.

Det er viktig at laksen bevarer en god og forutsigbar matkvalitet når det gjøres vesentlig endringer i fettsyresammensetningen av fileten. Blant annet er det viktig å overvåke egenskaper som egnethet for prosessering, lagringsevne og sensorisk kvalitet. Fettsyreprofil, innhold av andre fettstoffer (fytosteroler) og tekniske egenskaper (viskositet, smeltepunkt, stabilitet med mer) varierer mellom ulike oljetyper. Det er nærliggende å anta at tekniske og sensoriske egenskaper samt lagringsevne av laks påvirkes når det gjøres endringer av laksens fôrresept og at visse alternative fôroljer kan medføre større endringer enn andre. En viktig forskningsutfordring blir å definere egnede og bærekraftige fôroljer eller fôroljeblandinger slik at man kan fortsette å tilby flere forbrukere et etterspurt, sunt og godt produkt.

Kunnskap om kvalitetsaspekter hos laks med endret fettsammensetning er fragmentert og til dels mangelfull. Næringen har derfor etterspurt en sammenstilling av eksisterende kunnskap samt peke på vesentlige kunnskapsmangler og forskningsbehov. Denne rapporten er skrevet etter initiativ fra FHF og prosjektet er også forankret i FoU-institusjonenes strategier (Nofima, NMBU, Nifes). Prosjektet hadde en styringsgruppe med representanter fra Marine Harvest, Salmar, Lerøy og Firda Sjøfarmer. Kvalitetsaspekter som er vektlagt i rapporter er filetfarge, tekstur, væskebinding samt lukt og smak. Prioriterte innsatsområder for forskningen ble definert på et arbeidsmøte med deltakere fra oppdrettsindustri, fôrindustri, marked, forskning og FHF.

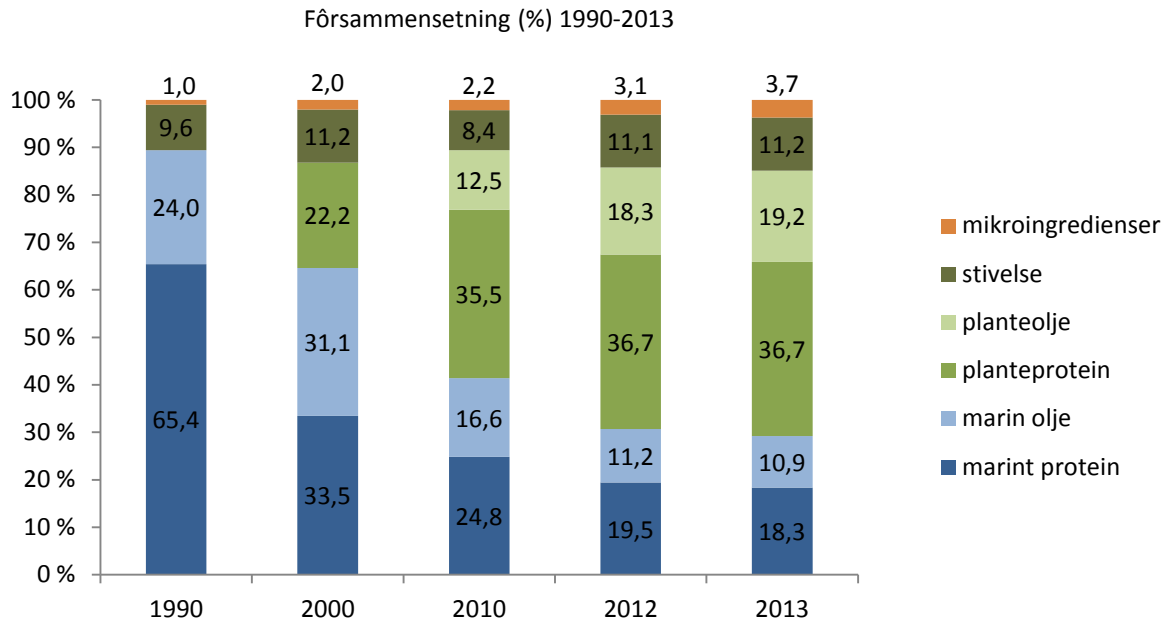
2 Innledning

Denne rapporten fokuserer på ernæringsmessig kvalitet, filetfarge, tekstur og filetpalting, væskebindingsevne samt lukt og smak. For å belyse kunnskapsstatus vedrørende fôrfettets betydning for filetkvaliteten, har vi benyttet ulike skriftlige kilder slik som studier publisert i vitenskapelige og populærvitenskapelige tidsskrifter, rapporter, studentoppgaver med mer, upubliserte arbeider og erfaringsbasert kunnskap fra forskning og industri. Av upubliserte resultater har vi særlig benyttet et stort datamateriale fra et EU prosjekt (FAIR project CT-95-1101) der en omfattende kartlegging av oppdrettslaks med stor spredning med hensyn til opprinnelse, fôr med mer ble gjennomført (1998). Norske partnere i EU-prosjektet var Nofima (Akvaforsk), Nifes (Fiskeridirektoratets ernæringsinstitutt) og Havforskningsinstituttet. Datamatriksen som er analysert på nytt inneholder resultater av fettsyrer i rå og røkt laksefilet, fett, vitaminer, pigment, farge, tekstur, bindevev, enzymaktivitet, vannbindingsevne og histologi. Selv om oppdrettslaksen har endret seg betydelig de siste 15 årene, kan resultatene gi en nyttig pekepinn på betydningen av fettsyresammensetning i filet for viktige kvalitetsegenskaper og bidra med å definere aktuelle FoU-tilnærminger som er viktige for å sikre god kvalitet av laksefilet i fremtiden.

I 1990 besto fôret til norsk oppdrettslaks av 90 % marine råvarer (Figur 1). I 2012 var andelen marine råvarer redusert til rundt 32 %. Fra 1990 til 2012 ble mengden planteprotein tredoblet og marint protein i fôret halvert. Andelen fiskeolje økte imidlertid fra 1990 til 2000 som følge av økt fettinnhold i fôret. Ved årtusenskiftet var planteoljer kun i liten grad tatt i bruk i fôret til norsk oppdrettslaks, men utover på 2000-tallet økte særlig bruken av rapsolje i fôret. Rapsolje er i dag den dominerende oljekilden i fôret til oppdrettslaks, men andre planteoljer kan være aktuelle i fremtiden. I 2010 utgjorde rapsolje 13,6 % av dietten og 43 % av oljen i fôret i gjennomsnitt. I 2012 økte andelen av rapsolje til 18,3 % av dietten (62 % av oljen i fôret) (Ytrestøyl *m.fl.*, 2013). I 2013 var andelen rapsolje økt ytterligere til 19,2% (upublisert) (Figur 1). Fiskemel inneholder en viss oljeandel. Mengden avhenger av fiskemelstypen, men den kan ligge på opp til 10 %. En reduksjon av fiskemelsandelen i fôret vil således ytterligere bidra til redusert fiskeoljeandel i fôret.

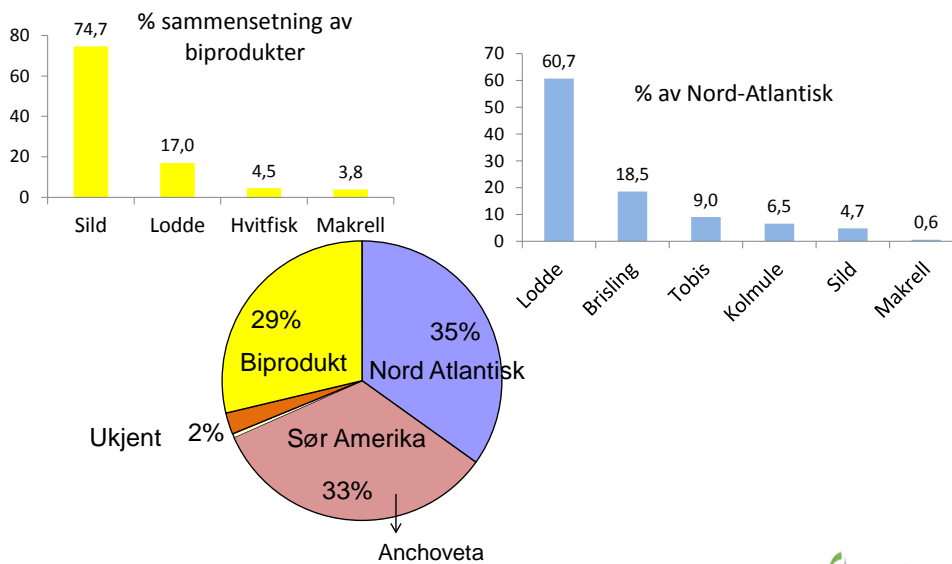


Overgangen fra marine råvarer til planteråvarer har gjort det mulig å produsere mer laks fra en begrenset mengde marine ressurser, men det er viktig å sikre at filetene opprettholder en god kvalitet ved omfattende endringer av laksens fôrseddel.

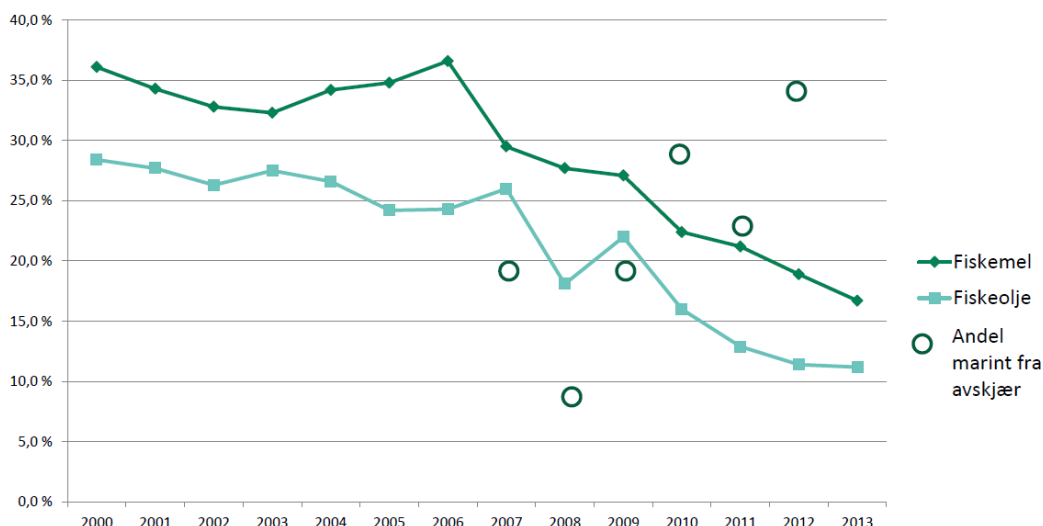


Figur 1 Endring i råvarebruk i norsk laksefôr fra 1990–2013

Opprinnelse av fisken brukt i fiskemelet i 2012



Figur 2 Opprinnelse av fisken brukt i fiskeolje 2012



Figur 3 Utvikling i laksefôr (Mollan, 2013)

2.1 Planteoljer

De mest dominerende planteoljer på markedet er soyaolje, palmeolje, rapsolje og solsikkeolje. I laksefôr er det rapsolje som benyttes i dag, men andre oljer kan også være aktuelle. Fettsyresammensetningen varierer mellom planteoljer (Tabell 1), og det kan også være en viss batchvariasjon innenfor den samme oljen. Planteoljer vil variere mindre enn fiskeolje siden de er fra en art. Fettsyresammensetningen i fôrroljene vil gjenspeiles i fileten, men det er også viktig å ta i betraktning at planteoljer inneholder andre fettstoffer (fytosteroler). Fytosteroler betegner steroler som kommer fra planteriket. Betydningen av disse for kvaliteten av oppdrettsfisk er lite undersøkt. I en studie med oppdrettstorsk som fikk fôr innblandet soyaolje (all tilført olje) ble mengden fytosteroler analysert i fôr, filet og lever. Resultatene viste at fôret inneholdt fytosterolene sitosterol, stigmasterol og camposterol, men fytosteroler ble ikke detektert i filet (Mørkøre *m.fl.*, 2007; Pickova & Mørkøre, 2007). Fytosterolene sitosterol, stigmaseterol og camposterol ble derimot detektert i lever og muskel hos planteoljefôret atlantisk laks, men i lave mengder (høyst 6µg per 100g muskel) (Liland *m.fl.*, 2013a). Nye forskningsresultater kan tyde på at utvikling av fettlever i stor laks som har fått høy innblanding av rapsolje kan knyttes til høyt nivå av fytosteroler (Mørkøre *m.fl.*, 2012a; Liland *m.fl.*, 2013a). Nivået av fytosteroler varierer mellom planteoljer og er spesielt høyt i rapsolje (Tabell 2). Laks med fettlever kan være i metabolsk ubalanse, hvilket kan gjøre den mer utsatt for å utvikle avvikende filetkvalitet (Larsson *m.fl.*, 2012). Det er viktig å følge med på fiskens metabolske status når nye fôrroljer testes ut, også av hensyn til filetkvaliteten.

Tabell 1 Egenskaper ved utvalgte fiskeoljer og vegetabiliske oljer

Fettsyrer	Fiskeoljer					Vegetabiliske oljer						
	Lodde	Sardin	Krill	Anchovy	Menhaden	Solsikke (høy 18:1)	Solsikke	Linfrø	Palme	Soya	Raps (canola)	Mais
14:0	6,3	7,2	16,3	7,8	7,7	0,1	0,1	0,1	1,1	0,1	0,1	-
16:0	11,0	16,2	19,0	18,2	16,5	4,0	6,3	5,3	40,0	10,7	3,8	10,3
18:0	0,9	2,9	1,4	4,2	3,0	4,3	4,9	3,2	4,1	4,6	1,8	1,8
Mettede	18,2	27,3	38,6	30,2	27,2	8,4	12,3	8,6	45,2	15,6	5,7	12,1
18:1 n-7	1,9	3,1	7,8			-	0,7	0,7	-	1,3	3,0	0,6
18:1 n-9	6,7	9,3	15,8	16,0	12,2	79,4	23,0	17,1	41,1	23,8	58,3	31,1
20:1 n-9	15,9	1,5	1,4	1,0	3,0	11,4	0,2	-	-	0,2	1,8	0,2
22:1 n-11	20,2	0,9	0,3	1,6	2,9	-	-	-	-	-	-	-
Enumettede	56,5	25,4	38,1	29,6	25,8	90,8	23,9	17,8	41,1	25,3	63,1	31,9
18:2 n-6(LA)	1,3	1,1	1,6	2,8	1,8	11,4	62,5	14,3	10,8	53,9	22,5	54,1
20:4 n-6	-	0,8	0,1	0,1	0,8	-	-	-	-	-	-	-
Sum n-6	1,3	1,9	2,1	2,9	3,2	11,4	62,5	14,3	10,8	53,9	22,5	54,1
18:3 n-3(ALA)	0,7	0,6	0,8	1,8	0,8	0,4	0,5	57,0	-	6,6	10,8	1,3
18:4 n-3	4,8	3,2	3,6		2,3	-	-	-	-	-	-	-
20:5 n-3(EPA)	7,5	18,4	6,4	14,8	14,5	-	-	-	-	-	-	-
22:5 n-3(DPA)	0,6	2,2	0,21	1,8	1,7	-	-	-	-	-	-	-
22:6 n-3(DHA)	5,7	12,3	2,3	10,9	12,0	-	-	-	-	-	-	-
Sum n-3	19,8	37,7	14,6	29,3	32,7	0,4	0,5	57,0	-	6,6	10,8	1,3
n-3/n-6	15,23	19,84	6,95	10,1	10,2	0,04	0,01	3,99	-	0,12	0,48	0,02
Smeltepunkt							-17		35		-10	

De fleste dataen er fra «The lipid handbook» av Gunstone *m.fl.* 1994. Enkelte data er også fra Bjerkeng *m.fl.* 1999b; Young, 1986; Philips *m.fl.* (2002);

Tabell 2 Typisk sammensetning av steroler i utvalgte planteoljer (mg kg⁻¹)

	Olivenolje	Rapsolje	Soyaolje	Linolje	Palmeolje
Campesterol	28	1530	720	1218	358
Stigmasterol	14	-	720	378	204
β-sitosterol	1310	3549	1908	1932	1894
Δ ⁵ -avenasterol	29	122	108	546	51
Δ ⁷ -stigmastenol	58	306	108	84	25
Δ ⁷ -avenastenol	-	-	36	-	-
Brassicasterol	-	612	-	-	-
Totalt:	1439	6119	3600	4158	2532

Kilde: Harwood *m.fl.*, 1994

3 Sammensetning av filet

Sammenlignet med andre husdyrproduksjoner som kylling og gris, er laksen svært effektiv til å omdanne og lagre næringsstoffene fra fôret til mat for mennesker. I gjennomsnitt regner man med en deponering (retensjon) av fett fra fôret på 29 % i laksefilet, mens deponeringen ligger på 21 og 18 % for henholdsvis kylling og gris (Ytrestøyl *m.fl.*, 2013). Retensjon av næringsstoffer i norsk laksefilet i 2012 er vist i Tabell 3 nedenfor. Fettet gir saftighet til fiskekjøttet og mange smaksstoffer sitter i fett. For mye fett er imidlertid ikke ønsket. Når fettinnholdet kommer over et vist nivå (cirka 18 %), vil mye av fettet være synlig mellom muskelsegmentene, særlig i buken, og det vil være løsere bundet. Fileter med høyt fettinnhold vil derfor være mer utsatt for fettslipp ved lagring og røyking (Mørkøre *m.fl.*, 2001). Det bør imidlertid nevnes at en mager laks generelt vil inneholde mindre av de flerumettede fettsyrer (EPA og DHA) per porsjon enn laks med høyere fettinnhold.

Tabell 3 Oversikt over innhold (% av muskelvev) og deponering av næringsstoff fra fôret i norsk oppdrettslaks i 2012 (Ytrestøyl *m.fl.*, 2013)

2012	Innhold i filet, g/100g	Andel av fôrfettet deponert, %
Fett	18,4	29
EPA + DHA	1,36	23

Resultatene er basert på total norsk lakseproduksjon og verdiene for retensjon er beregnet på total mengde utfôret og total mengde slaktet.

3.1 Fettinnhold

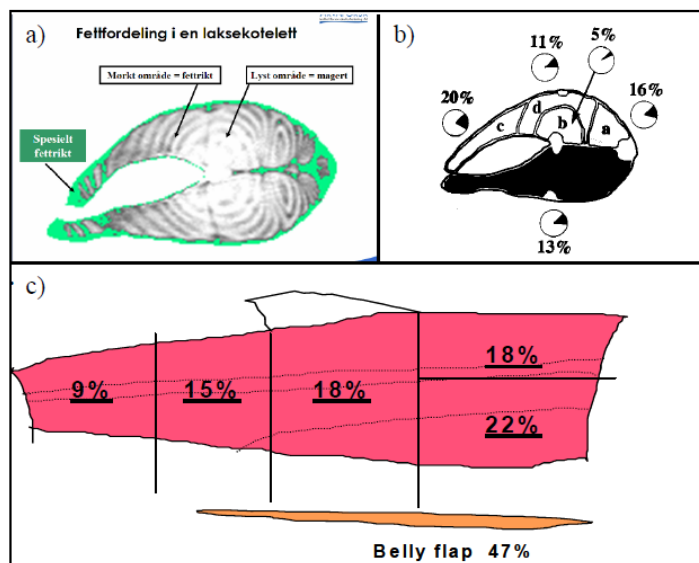
Dagens kunnskapsgrunnlag viser at utbytting av fiskeolje med vegetabiliske oljer i fôr til laks har en ubetydelig effekt på fettinnholdet i muskelen. Allerede for mer enn 20 år siden ble det vist at all fiskeolje tilsatt i fôr til laks kunne byttes ut med vegetabiliske oljer (soyaolje, rapsolje) uten at dette hadde noen negativ effekt på tilvekst eller fettinnhold (Hardy *m.fl.*, 1987; Thomassen & Røsjø, 1989). Tilsvarende resultater er vist i de aller fleste undersøkelser som har blitt gjennomført siden den gang. Det gjelder også med dagens laksefôr med høyere fettnivåer og andre oljer så som solsikkeolje, olivenolje, linfrøolje, kyllingolje, blanding av rapsolje, palmeolje og linfrøolje (Rafoa-mix) og ulike innblandinger med palmeolje. (Bell *m.fl.*, 1997; Ruyter *m.fl.*, 2000; Torstensen *m.fl.*, 2000 og 2005; Bell *m.fl.*, 2001; Rosenlund *m.fl.*, 2001; Grisdale-Helland *m.fl.*, 2002; Bell *m.fl.*, 2003; Torstensen *m.fl.*, 2004; Ruyter *m.fl.*, 2006; Karalazos *m.fl.*, 2011). Liland *m.fl.* (2013b) fant en korrelasjon mellom fytosteroler i fôret og økt fettlagring i lever men ikke i muskel.

Sammensetningen av oljene i fôret kan påvirke fordøyeligheten. I et forsøk med 100 % palmeolje ved lav vanntemperatur ble det funnet redusert tilvekst og fett fordøyelighet (Torstensen *m.fl.*, 2000). Forsøk med 60 % rapsolje i fôret til stor fisk ved 11,7 °C vanntemperatur viste bedre tilvekst, bedre fettfordøyelighet og økt totalfett enn med 100 % fiskeolje (Karalazos *m.fl.*, 2011). I et annet forsøk med mindre fisk (80–350 gram) med forskjellige innblandingsnivåer av rapsolje (Bell *m.fl.*, 2001), ble det funnet mer protein i muskel hos de rapsfôrede gruppene, og en tendens til mindre fett. Muligens skyldes dette forskjellig fiskestørrelse, men fordøyeligheten av de fiskeoljene som det sammenlignes med kan også ha vært forskjellig. Fôret i disse forsøkene inneholdt nok fiskemel til å dekke laksens eget omega-3 behov. Når også tilsetningen av fiskemel blir redusert, er det mulig at en høy innblanding av vegetabiliske oljer kan gi andre resultater enn de man har sett i eldre studier. Dette er det viktig å få mer kunnskap om.

3.2 Fettfordeling

Få studier har undersøkt om forandringer i fett-sammensetningen i laksefôr påvirker fordelingen av fett i fisken. Nanton *m.fl.* (2007) ga laks et fôr med 100 % fiskeolje (loddeolje) og et med 100 % vegetabilsk olje (55 % rapsolje, 30 % palmeolje og 15 % linfrøolje) fra startfôring og helt til slaktestørrelse (27 måneder), for så å studere fordelingen av fett i de forskjellige delene av kroppen. I dette forsøket ble det ikke funnet forskjeller i fettinnhold, hverken i hvit muskel, rød muskel, buklist eller innvollsfett. Det ble heller ikke funnet noen forskjeller i måten fett ble lagret på når det ble undersøkt histologisk. I et annet forsøk (Bell *m.fl.*, 2001) ble fiskeolje erstattet av rapsolje (0, 10, 25, 50 og 100 % rapsolje), og laksen ble fôret i sjøvann i 17 uker, fra cirka 80 til 350 gram. Det ble ikke funnet forskjell i vekst eller fôrutnyttelse, og ingen histopatologi ble observert, hverken i lever, hjerte, muskel eller nyre. I dette forsøket så man imidlertid en tendens til gradvis økende fett i lever med økende rapsoljeinnblanding. Med 100 % rapsolje var forskjellen til 100 % fiskeolje statistisk signifikant. Ettersom god helse er viktig for filetkvaliteten er det viktig å overvåke unaturlig fettakkumulering i lever som kan ha negativ innvirkning på organfunksjonen. Effekten av fettsyresammensetning i fôr på fettlagring i lever og rundt indre organ er oppsummert i rapporten «Fett for fiskehelse» (Torstensen *m.fl.*, 2013).

Formen på fisken regnes som en kvalitetsegenskap, ofte uttrykt som kondisjonsfaktoren (kf). En viktig årsak er en generell positiv sammenheng mellom kf og filetutbyttet. I et nylig forsøk fant Mørkøre *m.fl.*, 2012 høyere kf av laks som fikk et fôr med høy innblanding av rapsolje (70%) sammenlignet med lavere rapsolje innblanding (30%). Årsaken til den høyere kf i dette forsøket var mer innvollsfett i laksen som fikk 70% rapsolje og ikke økt muskelfylde (filetutbytte). Det var ingen forskjell i fettinnhold i muskel, og bredden av fettstripene i buken («zebra-stripene») var omtrent lik for fôrgruppene. Laksen som fikk høy innblanding av rapsolje utviklet fettlever etter at den hadde passert 4 kilo. Det er viktig å unngå utvikling av fettlever (for eksempel knyttet til ubalanse i omsetningen av kolesterol) fordi mye fett i leveren kan føre til funksjonssvikt og helseproblemer, og derav økt sannsynlighet for å utvikle kvalitetsavvik.



Figur 4 Fettinnhold og egenskaper som farge og tekstur varierer mellom ulike deler av samme filet. a) Bilde av laksekotelett tatt ved datatomografering, illustrerer hvordan muskelsegmentene er organisert og fettfordeling (Mørkøre upublisert), b) Fettinnhold i ulike deler av samme kotelett målt ved kjemisk analyse (Rye m.fl. 1994), c) Fettinnhold målt kjemisk i ulike deler av samme filet (Einen m.fl., 1998). Fettkilde i fôret synes ikke å påvirke makroskopiske fettfordelingen nevneverdig, men vi mangler kunnskap om måten fett lagres på inne i muskelcellene. Dette er viktig kunnskap da fett lagret som store dråper inne i cellene kan være «løse» bundet og derved være mer utsatt for å lekke ut under lagring og/eller oppvarming.

3.3 Vitaminer

Det finnes lite tilgjengelig kunnskap om sammenhengen mellom fettsyresammensetningen i fileten og vitaminer. I EU-prosjektet som er omtalt innledningsvis, ble innholdet av vitamin E og vitamin C analysert i rå og røkt laksefilet. Resultatene viste at vitamin E var betydelig mer stabilt gjennom røykeprosessen enn vitamin C. For vitamin E var reduksjonen på 17 % i gjennomsnitt, mens vitamin C viste en reduksjon på 86 % etter røyking (kaldrøyking). Statistisk analyse av resultatene viste ingen samvariasjon mellom fettsyresammensetning og nedbrytning av vitamin E gjennom røykingen. For vitamin C avtok nedbrytningen med økende innhold av enumettede fettsyrer i fileten ($r = -0,91$), mens et høyt nivå av flerumettede fettsyrer i fileten (omega 3 og omega 6) økte nedbrytningen av vitamin C gjennom røykeprosessen ($r = 0,90-0,93$).

4 Filetfarge

4.1 Biotilgjengelighet av astaxanthin i laksefisk

Den karakteristiske rødfargen av laksefilet kommer fra pigmenter som fisken får gjennom fôret. Det viktigste pigmentet er astaxanthin, men også cantaxanthin og andre pigmenter gir laksefileten den ettertraktede rødfargen. Fettinnholdet i laksefôr har betydning for hvor mye pigment (astaxanthin eller canthaxanthin) som blir deponert i laksemuskelen (Einen & Roem, 1997; Nickell & Bromage, 1998; Bjerkeng *m.fl.*, 1997 og 1999ab; Clark *m.fl.*, 2000). Dette skyldes at mengden fett i tarmen påvirker hvor mye astaxanthin som tas opp i tarmcellene. Det er vist at fordøyeligheten av astaxanthin øker lineært med fettinnholdet i fôret (Torrissen *m.fl.*, 1990, Chobert *m.fl.*, 1991). Fordøyeligheten av astaxanthin og andre karotenoider er en flaskehals for biotilgjengeligheten, ofte er fordøyeligheten (ADC) mindre enn 50 % av spist mengde (Ytrestøyl *m.fl.*, 2006). Astaxanthin og andre karotenoider er svært lite vannløselige og må derfor løses i fettdråper i tarmen før de inkorporeres i miceller som består av gallesalter, fosfolipider og fettsyrer før de kan tas opp i tarmcellene (Borel *m.fl.*, 1996; Furr & Clark, 1997; Tyssandier *m.fl.*, 2002). Mer fett i tarmen fører til dannelse av flere miceller slik at mer astaxanthin kan løses og tas opp.

I blodet transporteres karotenoidene ved hjelp av lipoproteiner og albumin i laksefisk (Ando *m.fl.*, 1985, Aas *m.fl.*, 1999). Det virker ikke å være noen begrensninger i transportkapasiteten i blodet hos fisk (Chavez *m.fl.*, 1998; Ytrestøyl & Bjerkeng, 2007). I muskel er karotenoidene bundet til proteinfraksjonen (α -actinin) hos laksefisk (Saha *m.fl.*, 2005), men opptak og binding av astaxanthin i muskel er heller ikke begrensende faktor for utnyttelse av astaxanthin (Ytrestøyl & Bjerkeng, 2007). Det er derfor nærliggende å anta at effekter av fettsyreprofil i dietten på biotilgjengelighet av astaxanthin skyldes effekter på absorpsjon i tarm og transport gjennom tarmcellene. Men astaxanthin er også en effektiv antioksidant og en forløper for vitamin A. Det kan derfor tenkes at en fettsyresammensetning i dietten som medfører økt oksidativt stress (Olsvik *m.fl.*, 2010), kan øke omsetningen av astaxanthin med redusert innfarging som resultat. Forsøk med tilsetning av α -tocopheryl acetat i dietten til laks har gitt økt utbytte av astaxanthin fra fôret (Bjerkeng *m.fl.*, 1999a), muligens som følge av økt beskyttelse mot oksidativ nedbrytning.

Resultater fra EU-prosjektet FAIR project CT-95-110 viste at nedbrytningen av astaxanthin gjennom røyking var lavere i fileter med høyt vitamin E ($r=0,78$; $P=0.04$) og vitamin C ($r=0,79$; $P=0.03$) i fileten. Tap av astaxanthin etter røyking var sammenfallende med økte verdier for harskningsparameteren TBARS ($r = -0,83$; $P=0.02$).

4.2 Effekt av fettkvalitet

Det finnes en del tilgjengelig informasjon om hvordan endret fettsammensetning kan påvirke innfarging av laksefileten, men effekten er avhengig av hvilken type olje som er brukt. Temperatur kan også påvirke oljers effekt på biotilgjengeligheten av karotenoider. Oljer med høyt smeltepunkt (Tabell 1) kan påvirke fordøyeligheten av astaxanthin negativt ved temperaturer man finner langs norskekysten om vinteren mens de samme oljene kan fungere bra ved sommertemperaturer. Generelt synes lange marine flerumettede fettsyrer (HUFA) å fremme deponering av karotenoider i muskelen hos laksefisk selv om det fortsatt finnes mangelfull kunnskap om sammenhengen mellom filetfarge og fôrets fettsammensetning (for eksempel mettet fett/kolesterol). Waagbø og

medarbeidere fant økt innfarging i laksefilet med økt innhold av n-3 flerumettede fettsyrer (PUFA) i dietten (Waagbø *m.fl.*, 1993). Lignende resultat er rapportert i flere senere studier. Laks fôret med en diett som inneholdt Peruviansk fiskeolje rik på PUFA inneholdt 13 % mer astaxanthin enn laks fôret med sildeolje (Bjerkeng *m.fl.*, 1999b) og 41 % mer pigment (astaxanthin og canthaxanthin) enn laks fôret med soyaolje (Regost *m.fl.*, 2004, Rørå *m.fl.*, 2005 a,b). Hardy *m.fl.* (1987) fant også redusert deponering av canthaxanthin i laks fôret med soyaolje sammenlignet med laks fôret med menhadenolje (Hardy *m.fl.*, 1987). Nylig fant Waagbø *m.fl.* en positiv effekt på astaxanthin-innholdet i muskel ved å tilsette høy omega sør-Amerikansk fiskeolje i dietter med en kombinasjon av raps- og fiskeolje (70:30), kombinert med lavt innhold av fiskemel (14,3–21,3 % av dietten) (Waagbø *m.fl.*, 2013).

Man antar at flerumettede langkjedete fettsyrer øker størrelsen på micellene slik at mer karotenider kan løses og tas opp i tarmcellene. Men man tror også at større miceller beveger seg saktere og dermed kan absorpsjon av karotenoider bli redusert. Forsøk *in vitro* har vist at løseligheten av både upolare karotenoider som β -carotene og mer polare karotenoider som zeaxanthin øker med kjedelengden til fettsyrene i emulsjonen (Borel *m.fl.*, 1996).

En korrelasjonsanalyse av resultatene fra EU prosjektet (FAIR project CT-95-110) viste en signifikant sammenheng mellom astaxanthin innholdet i rå filet og fettsyresammensetningen. Spesielt kan det nevnes at nivået at pigmentinnholdet avtok med økende innhold av enumettede fettsyrer med en kjedelengde over C18 (18:1n-11, 20:1n-11; 20:1n-9, 20:1n-7, 22:1n-11; $r=-0,62$ til $r=-0,77$). 18:1n-7 og 18:1n-9 viste ikke samme trend. Slike resultater er ikke vist tidligere og bør verifiseres. Vi bør likevel være forsiktige med å tolke ovenstående resultater fra korrelasjonsanalysen som viser negativ effekt av lange enumettede fettsyrer ettersom sammenhengen mellom filetfarge og fettsyrer synes å være kompleks. Men resultatene er såpass entydige (7 laksegrupper analysert) at de bør følges opp og undersøkes i dagens oppdrettslaks for å unngå å oppleve fargeproblemer knyttet til endret fettsyreprofil i fôret.

I en nyere studie der kvaliteten av økologisk og konvensjonelt oppdrettet laks ble sammenlignet fant Åsli & Mørkøre (2011) bedre innfarging av den økologiske laksen. Fettsyreprofilen varierte mellom laksegruppene, med en lavere andel mettede fettsyrer i den konvensjonelle laksen (14,2 %) enn i den økologiske (20,4 %), og nesten dobbelt så høyt innhold av flerumettede omega-3 fettsyrer i den økologiske laksen. Andelen enumettede fettsyrer var høyere i den konvensjonelle. Dette skyldtes høyt bidrag fra C18:1 mens innholdet av lange enumettede fettsyrer (C20:1 og 22:1) var høyere i den økologiske laksen. Pigmentkildene som ble benyttet for den økologiske laksen var paffia og panaferd (to oppdrettere som hadde både økologisk og konvensjonell laks). All konvensjonell laks hadde fått astaxanthin i fôret. Fisken som ble undersøkt hadde samme avstamning og oppdrettsmiljø. Flere forhold utover fettsyresammensetningen i filet kan ha bidratt til fargeforskjellene mellom fiskegruppene (fôrets pigmentkilde, produksjonsforhold/tilvekst mm.)

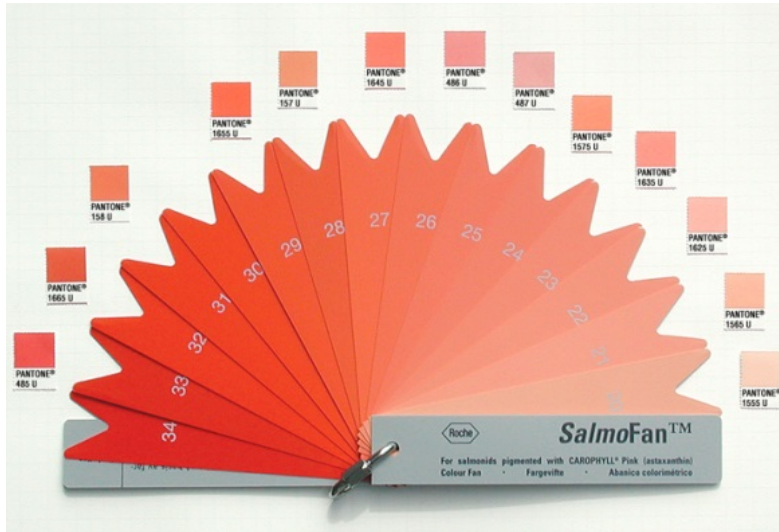
Olsen og medarbeidere fant en 20 % reduksjon i astaxanthin-konsentrasjonen i plasma hos laks fôret en diett som inneholdt 10 % soya lecitin sammenlignet med en kontrolldiett som inneholdt sildeolje (Olsen *m.fl.*, 2005b). Fosfolipider er relativt polare sammenlignet med astaxanthin og tilsats av lecithin kan derfor ha ført til en redusert løselighet av astaxanthin i micellene. Tilsetning av dyrefett (lard) med en høyere andel kortere fettsyrer i dietten førte til en 25 % økning av konsentrasjonen av astaxanthin i plasma sammenlignet med kontrolldietten. Det var imidlertid stor individuell variasjon i plasma-astaxanthin-konsentrasjon slik at forskjellene mellom diettgruppene ikke var signifikante.

Det er også gjort forsøk der palmeolje har vært brukt til delvis å erstatte fiskeolje i laksefôr. Palmeolje inneholder en høy andel mettet fett (cirka 50 %) og kan også inneholde β -caroten (avhengig av type olje) som ikke tas opp i muskel hos laksefisk. Imidlertid kan interaksjoner mellom astaxanthin og β -caroten i tarmen ha en negativ effekt på opptaket av astaxanthin (ref). Bell *m.fl.*, (2002) rapporterte imidlertid ingen effekter på akkumulering av astaxanthin i muskel hos atlantisk laks fôret med innblanding av palmeolje fra 25–100 % av total mengde olje i fôret (Bell *m.fl.*, 2002). Laksen hadde imidlertid en sluttvekt på bare rundt 450 g og temperaturen i forsøket var i gjennomsnitt 11 °C. I et annet forsøk med palmeolje ble det funnet redusert fordøyelighet av astaxanthin med økende innblanding av palmeolje (Sigholt *m.fl.*, 2008).

Ulike blandinger av planteoljer har også vært testet i fôr til laks. Bell *m.fl.* fant ingen negative effekter på pigmentering ved å bruke en 1:1 blanding av linolje og rapsolje (Bell *m.fl.*, 2003). Rosenlund *m.fl.* 2001 fant heller ingen negative effekter på pigmentering ved å bruke ulike kombinasjoner av rapsolje, soya, linolje, palmeolje og fjørfeolje (Rosenlund *m.fl.*, 2001). Samme resultat fant Torstensen og medarbeidere etter å ha fôret laks (fra 0,1–2,7 kg) med ulike dietter bestående av en miks av planteoljer (rapsolje, palmeolje, linolje) sammenlignet med loddeolje (Torstensen *m.fl.*, 2005). Å erstatte fiskeolje med rapsolje er heller ikke vist å ha noen negative effekter på innfarging i laks (Bell *m.fl.*, 2001). Innholdet av astaxanthin i fileten var uendret etter at 25, 50, 75 og 100 % av fiskeoljen var erstattet med rapsolje (Torstensen *m.fl.*, 2004). Å erstatte halvparten av fiskeoljen med olivenolje hadde heller ingen negative effekter på pigmentinnholdet i filet (Torstensen *m.fl.*, 2004).

Mesteparten av arbeidet med å finne alternative fettkilder har vært fokusert på planteoljer. Det er derfor lite informasjon om eventuelle effekter av animalske oljer som for eksempel fjørfeolje både når det gjelder visuell farge i filet og astaxanthin målt med kjemiske metoder. Liu fant ingen effekter av fjørfeolje på pigmentering i regnbueørret (Liu *m.fl.*, 2004). I et forsøk hvor en kombinasjon av blodmel og fjørfeolje ble brukt i dietten til atlantisk laks ble det observert lavere nivå av astaxanthin i muskelen. Dette skyldes imidlertid et lavere nivå av astaxanthin i denne dietten sammenlignet med kontroldietten. Sannsynligvis som en følge av oksidativ nedbrytning av astaxanthin på grunn av det høye jerninnholdet i blodmelet (Hatlen *m.fl.*, 2013). Effekter på pigmentering og lagringsstabilitet av astaxanthin er noe som bør undersøkes nærmere før bi-produkter fjørfe og andre dyr tas i bruk som fettkilde i lakseproduksjon. Spesielt viktig er det å undersøke eventuelle kombinerte effekter av lav temperatur for biotilgjengelighet av astaxanthin. Til tross for at man antar at effekter på absorpsjon i tarm er de viktigste ved endret fettprofil i dietten er fordøyelighet bare målt i ett av de refererte arbeidene. Ingen av studiene har målt andel deponert av astaxanthin (% retinert av spist), selv om endret diettsammensetning kan gi endringer i fôrinntak og vekst og dermed påvirke pigmentering. Omsetning av astaxanthin er heller ikke målt i noen av de refererte studiene.

Fargejevnheter er en annen viktig faktor for kvalitetsvurdering av laksefilet. Fileter med ujevn innfarging eller lyse skjolder kan ikke omsettes som førsteklasses produkter og det er særlig røykeindustrien som stiller krav til jevn filetfarge. En enkelt upublisert studie har vist en tendens til noe mer ujevn filetfarge i laks fôret med høy innblanding av linolje. Ellers finnes ikke tilgjengelig informasjon om betydningen av fettsyresammensetning for fargejevnheter av rå, videreføret eller lagret laksefilet.



Figur 5 Salmofan fargekort som benyttes til fargemåling av laksefilet



Figur 6 Fersk laksefilet med lyst parti langs ryggen og bakre delen av buken. Vi kjenner ikke betydningen av fettsyresammensetning for fargejevnhet

5 Tekstur og filetspalting

Laks av «superior» kvalitet har kjøtt med god fasthet og spenst, mens bløt tekstur og filetspalting fører til redusert utbytte og nedklassing. Det kan være sammenheng mellom bløt tekstur og filetspalting, men ikke nødvendigvis. Årsaker til avvikende tekstur og filetspalting kan være knyttet til oppdrettsfasen, slakteprosessen og lagring, eller en kombinasjon av disse faktorene. I dette kapitlet vil kunnskap om betydningen av fettkildene i fôret for fastheten i laksekjøttet og filetspalting bli omtalt under ett. Fôrets betydning for teksturegenskaper og filetspalting i laks er betydelig mindre studert sammenlignet med filetfarge, selv om kunnskapsutviklingen har økt betraktelig de siste årene. Spesielt har FHF's langsiktige satsing (2008–2012) bidratt til økt kunnskap om faktorer som påvirker tekstur og filetspalting.

Tekstur er en egenskap som viser betydelig spredning mellom individer og mellom ulike deler av samme filet. Generelt er variasjonen mellom fisk fra en og samme merd normalfordelt. Det vil si at de fleste individene har en gjennomsnittlig fasthet mens noen individer vil ha henholdsvis bløtere eller fastere filet sammenlignet med gjennomsnittet i merden.

Problemer med bløt filet har en tendens til å oppstå tidvis og da opplever gjerne flere oppdrettere problemet samtidig – ofte regionvis. Det er mye som tyder på at slike problemer kan knyttes til vekstmønsteret hos laksen. Problemet kan oppleves hos relativt små, magre laks på forsommeren etter en kald vinter med liten vekst/eventuelt tidlig høst. Mye tyder på at sterk kompensasjonsvekst er en viktig årsaksfaktor, men det kan det være vanskelig å peke på eventuelle negative effekter av fôrets fettkilder på tekstur og eventuell sammenheng mellom fôrets fettkilde og aktiviteten av muskelnedbrytende enzymer. Det kan være vanskelig å peke på den egentlige årsaken til tekstur og/eller gaping problemer når avvikene allerede har oppstått, siden mange faktorer kan spille inn. For eksempel avvikende temperatur for årstiden, genetisk opphav, produksjonsregime i fersk- og sjøvann, veksthastighet, sykdomsbilde/helsetilstanden til fisken med mer. Fettkildene, det vil si råvarene som brukes i fôret er tilpasset tilgang og pris i markedet, mens fettsyreprofilen følger fastsatte grenseverdier for flere av de sentrale fettsyrene. Derfor vil oljeprofilen i laksefôrene som benyttes til enhver tid være relativt lik, nærmest uavhengig av førselskap. For å få kunnskap om betydningen av fôrfettet *per se*, er det derfor nødvendig å gjennomføre fôringsforsøk der betydningen av ulike oljeblandinger testes under kontrollerte betingelser, slik at det er mulig å ekstrahere betydningen av fôrfettet *per se* for tekturen og andre kvalitetsegenskaper.

For å få et bilde av utviklingen i tekturen over tid, ble sammenlignbare resultater fra instrumentelle teksturanalyser av 6675 slaktefisk sammenstilt for perioden 1995–2007 (Mørkøre, 2008). Resultatene viste en betydelig teksturvariasjon fra år til år. For eksempel var fastheten lav i perioden 1995–1996, det vil si før planteoljer (rapsoolje) ble tatt i bruk i fôret til norsk laks (se avsnitt 2.1). For 1996 rapporterte røykeindustrien problemer med filetspalting og mengden klager på løs og bløt konsistens økte. Feitere og bløtere filet ble den gang satt i sammenheng med mer energirike fôr og derav økt tilvekst (Espe & Aidos, 1997). Det betyr at opplevd bløt filet ikke trenger å være knyttet til oljeprofilen i fôret, men det er viktig å overvåke kvaliteten av laks for å sikre at nye fôrformuleringer ikke bidrar til kvalitetsavvik. I nyere forsøk har vi også sterke indikasjoner på at eventuelle effekter av fôroljen påvirkes av øvrige næringsstoffer i fôret slik som proteinnivå, proteinkvalitet og nivå av vitamin E. Videre har vi indikasjoner på at fôreffekter kan opptre avhengig av årstid (samspill ernæring og miljø) og fiskestørrelse (Mørkøre *m.fl.*, 2012a).

5.1 Effekt av fettkvalitet

Det er vist at størrelsen på muskelcellene påvirker teksturen der muskelceller med lav diameter synes å gi en fastere tekstur (Johnston, 2008). Hos fisk skjer muskelveksten både ved dannelse av nye muskelfibre (hyperplasi) og ved økning i muskelfibervolum (hypertrofi). Forsøk har vist at lav vanntemperatur på eggstadiet gir flere og mindre muskelfibre sammenlignet med varmere klekke-temperatur. Også fôringens intensitet er vist å påvirke andelen av nyrekruttering og økning i fiberstørrelse (Hansen & Bjørnevik). Betydningen av fettkilden i fôret for muskelstrukturen hos laks er lite kjent. Flere studier har vist at laks som har muskelceller som sitter tett inntil hverandre har fast tekstur, mens laks med sprekker mellom muskelcellene har bløtere tekstur (Taylor *m.fl.*, 2002; Bahuaud *m.fl.*, 2009a; Torgersen *m.fl.*, 2013). I et fôringsforsøk der laks fikk et 100 % fiskeoljebasert fôr eller et fôr med 100 % innblanding av rapsolje (noe marin olje fra fiskemelet), fant Bahuaud *m.fl.* (2009b) ingen forskjell i muskelstruktur mellom fôrgruppene og begge fôrgruppene hadde muskelceller som satt like tett inntil hverandre. Studien viste ingen forskjell i muskelnedbrytende enzymer (katepsiner) mellom laks fôret med fiskeolje eller rapsolje. Fisken i dette forsøket vokste fra 90–344g, og det var ingen forskjell i tilvekst mellom fôrgruppene. I den samme studien hadde forfatterne også en fiskegruppe som fikk veldig høyt nivå av EPA (>50 % av n-3) i fôret. Denne fisken hadde de største avvikene med store sprekker mellom muskelcellene, også vist ved elektronmikroskopi (Østbye *m.fl.*, 2011). Endringene i muskelstruktur skyldtes antakelig ikke fettsyren EPA i seg selv, men at ekstremt høye vevsnivåer av EPA førte til oksidativt stress i vevet som igjen forårsaket tap av både muskel- og mitokondriemembran-fosfolipider (Østbye *m.fl.*, 2011). Det er også vist at oksidativt stress kan føre til bløtere tekstur i havabbor (Izquierdo *m.fl.*, 2005) og degenerative forandringer i laksefilet (Erdal *m.fl.*, 1991).

En studie med laks som fikk fiskeolje som var rensset for miljøgifter viste også en tendens til å ha bedre tekstur sammenlignet med laks som fikk standard olje gjennom hele sjøfasen (Olli *m.fl.*, 2010). Upubliserte resultater fra Sveriges Landbruksuniversitet har vist at røye som fikk fiskemel som var «renset» for fiskeolje (3–4 % fett i melet) hadde høyere utslag på stressparametere sammenlignet med laks som fikk standard fiskemel (9 % fett i melet). Betydningen av rensing/ekstrahering synes derved være noe uvisst og avhenger sannsynligvis også av prosessmetoden som benyttes.

Fôringsforsøk som har undersøkt betydningen av planteoljer for teksturen har gitt ulike resultater. Guillou *m.fl.* (1995) rapporterte bløtere tekstur i røye som fikk et fôr med innblanding av soyaolje, og Izquierdo *m.fl.* (2005) fant likeledes bløtere tekstur av seabream som fikk et fôr der minst 60 % av fiskeoljen var erstattet med soyaolje i syv måneder. Regost *m.fl.* (2003) observerte mindre fet tekstur i pre-rigor filetert piggvar. Flere undersøkelser av kokt og røykt laks har ikke vist effekt av oljekilde for teksturen (Hardy *m.fl.*, 1987; Røsjø, 1988; Bjerkeng *m.fl.*, 1997; Røra *m.fl.*, 2003). Waagbø *m.fl.* (1993) dokumenterte redusert saftighet og fetere tekstur i kokt filet av laks som fikk et fôr med innblanding av soyaolje sammenlignet med laks som fikk loddeolje (med vitamin E). Ut fra forsøksoppsettet kunne forfatterne konkludere at forskjellene mellom disse fôrgruppene ikke kunne tilskrives forskjeller i omega-3 nivå men andre faktorer ved fôret.

I et nylig avsluttet forsøk med laks som fikk fôr med 30 % eller 70 % rapsolje ble filetene analysert for filetspalting og tekstur. Forsøket startet i august da laksen veide 2 kg og ble avsluttet i mars da laksen veide 6,5 kg. Laksen ble analysert i oktober, desember og mars. Gaping ble notert umiddelbart etter filetering (pre-rigor) og etter seks dagers lagring. Umiddelbart etter filetering er graden av spalting svært lav og sprekkeene i filetene er små, men andelen fileter med sprekker i pre-rigor fileter var

høyest for laksen som fikk 70 % rapsolje (16 % av filetene) sammenlignet med 30 % rapsolje (2,5 %). Det var ingen forskjell mellom gruppene i filetspalting eller fasthet etter seks dagers lagring, men tilsetning av proteiner fra fiskeskinn (2 %) i fôret ga redusert filetspalting ved samtlige uttak. Ekstra tilsetning av proteiner ga også fastere filet, men forskjellen var kun statistisk signifikant ved desemberuttaket (Mørkøre *m.fl.*, 2012a).

Det finnes lite tilgjengelig kunnskap om filetkvalitet av laks fôret med oljer fra plante eller dyreplankton. Våre upubliserte resultater har så langt ikke påvist noen negative effekter på tekstur av laks fôret oljer fra plankton.

Fisk har lite bindevev i muskelen sammenlignet med landdyr, men desto viktigere synes små variasjoner i både bindevevsmengden og sammensetningen av bindevevet å være for teksturen. Spesielt ser det ut til at sammensetningen og styrken av bindevevet påvirker teksturen. I den store datamatriksen fra 1998 (EU prosjektet), var det en viss sammenheng mellom fettsyreprofilen i fôret og mengden syreløselig kollagen i muskelen. Dette er resultater som kan være interessante å følge opp med dagens fôr. Bindevevsprofilen vil også kunne påvirke graden av filetspalting og muskelens evne til å binde væske.

Tekstur og filetspalting i økologisk og konvensjonell 3–5 kilos laks ble undersøkt i 2011 (Åsli & Mørkøre, 2011). Rå fileter av den økologiske laksen var fastere enn de konvensjonelle, men graden av filetspalting var ikke forskjellig. Laksen i undersøkelsen kom fra to oppdrettere som hadde både konvensjonell og økologisk laks i sine anlegg og to vektklasser ble undersøkt og fisken ble tatt ut samtidig slik at årstid og lokalitetsforhold var de samme. Resultatene var entydige for begge oppdrettere og vektklasser. Etter koking var forskjellen så godt som borte. Den økologiske laksen hadde en annen fettsyreprofil enn den konvensjonelle, med et høyere innhold av mettet fett og marint omega-3 (EPA, DHA, DHA), mens den konvensjonelle laksen hadde et høyere innhold av omega-6 (spesielt 18:2n-6) og enumettede fettsyrer (spesielt 18:1n-9). Det er imidlertid flere forhold som er ulike i oppdrettet av økologisk laks, slik at det kan være andre forhold enn fettsyreprofilen som kan ha ført til at den økologiske laksen hadde bedre fasthet.

Betydningen av fettkilden i fôret er noe usikker ettersom resultatene ikke er konsistente. Det kan også synes som det er andre faktorer ved fôret med planteoljer som har betydning utover selve fettsyresammensetningen. Betydningen av steroler fra planteriket (fytosteroler) for tekstur er lite undersøkt, men i en studie med oppdrettstorsk som fikk fôr iblandet soyaolje (all tilført olje) var rigor-tiden forkortet sammenfallende med raskere ATP nedbrytning (Mørkøre, 2006). Einen *m.fl.* 2002, observerte tilsvarende tendens til forkortet rigor tid for laks som fikk fôr innblandet rapsolje. Torsken ble tatt ut til analyse av filetspalting og tekstur flere ganger i perioden aug-desember og kun ved et av uttakene (desember) var graden av filetspalting høyere i torsken som fikk soyafôret. Betydningen av frysing ble også undersøkt. Resultatene viste at torsken som fikk soyaolje i fôret var signifikant mer frysestabil med mindre filetspalting etter tining (Mørkøre *m.fl.*, 2007). Soyafôret hadde høyere innhold av fytosterolene sitosterol, stigmasterol og campesterol, men disse ble ikke detektert i fileten (Pickova & Mørkøre, 2007). Hovedeffekten av soyaoljen var økt innhold av omega-6 fettsyren 18:2n-6 i fileten.

Nyere studier har vist at helsetilstanden til fisken samt et velfungerende stoffskifte er viktige for at laksen bevarer en fast tekstur (Larsson *m.fl.*, 2012; Torgersen *m.fl.*, 2013). Avvik i stoffskiftet kan for eksempel føre til at de små kraftverkene i muskelcellene (mitokondriene) skades. Det er vist at laks

fôret med EPA rik diett har høyere antall mitokondrier og økt fettforbrenning i mitokondriene i leverceller enn laks fôret med rapsoljerek diett (Kjær *m.fl.*, 2008a). Videre er det vist at oksidativt stress kan skade mitokondriene og redusere evnen til å forbrenne fett (Kjær *m.fl.*, 2008b; Jørgensen *m.fl.*, 2013). Det er vist at et velfungerende aerobt stoffskifte er viktig for god muskelfasthet (Larsson *m.fl.*, 2012), men kunnskapsgrunnet om sammenhengen mellom endringer i energistoffskiftet og muskelkvalitet er relativt mangelfullt.

Som en følge av ubalanse/endringer i omsetningen av næringsstoffer kan laks bryte ned egne proteiner heller enn å bruke fett til energiproduksjon. Videre kan det se ut til at laks i metabolsk ubalanse får muskelcellene fylt opp med glykogen og at det skjer en nedbrytning av viktige komponenter som holder muskelcellene sammen (for eksempel små proteiner som hekter cellene sammen) (Torgersen *m.fl.*, 2014). Det er kjent at høye innblandinger av rapsolje kan føre til betydelige fettopphopninger i lever (Mørkøre *m.fl.*, 2012a; Liland *m.fl.*, 2013a), men om ubalanse i stoffskiftet som følge av dette kan medføre kvalitetsproblemer er ikke kjent.



Figur 7 Filetspalting i laksefilet. Fileter med slike avvik er dårlig egnet for prosessering da de har lett for å revne i filetmaskinen, og gir økt svinn.

6 Væskeslipp

Væskeslipp er et problem som kan oppstå både i fersk og røkt filet. Væsken som siver fra filetene kan bestå av vann, fett eller en blanding av disse. Væskeslipp fra røykte fileter består hovedsakelig av fett (Mørkøre *m.fl.*, 2001). Vi har lite kunnskap om eventuelt andre næringsstoffer tapes i væske som siver fra filetene (vitaminer, mineraler, proteinkomponenter).

Fett og vann i laksemuskelen utgjør til sammen cirka 80 %. En mager filet vil derved inneholde mer vann enn en fet filet, og det er vist at fersk mager oppdrettslaks kan ha større risiko for å miste vann enn feitere laks. Spesielt etter frysing. Risikoen for fettslipp øker betydelig når fettinnholdet i fileten overstiger cirka 20 %, både i fersk og røkt laks (Mørkøre *m.fl.*, 2001). Vi vet imidlertid lite om hva det er som av og til fører til store problemer med væskeslipp, men det synes å være en sammenheng mellom rask vekst sammenfallende med høy fettakkumulering. Dette er forhold som ofte oppstår om høsten. En undersøkelse av rå laks gjennom et år, viste størst økningen i væsketap gjennom lagring i oktober, mens filetene var mest stabile i perioden april – august. Laksen var oppdrettet i Midt-Norge (Mørkøre *m.fl.*, 2010). Restriktiv fôring har vist seg å redusere væsketapet under lagring (Einen *m.fl.*, 1999; Mørkøre *m.fl.*, 2008). Også i Skottland er det rapportert om sesongvariasjoner i væskeslipp. For eksempel rapporterte Bell *m.fl.* (1998) at ved visse perioder av året kan 5 % av filetene av skotsk laks være vanskelige å bearbeide på grunn av fettlekkasje.

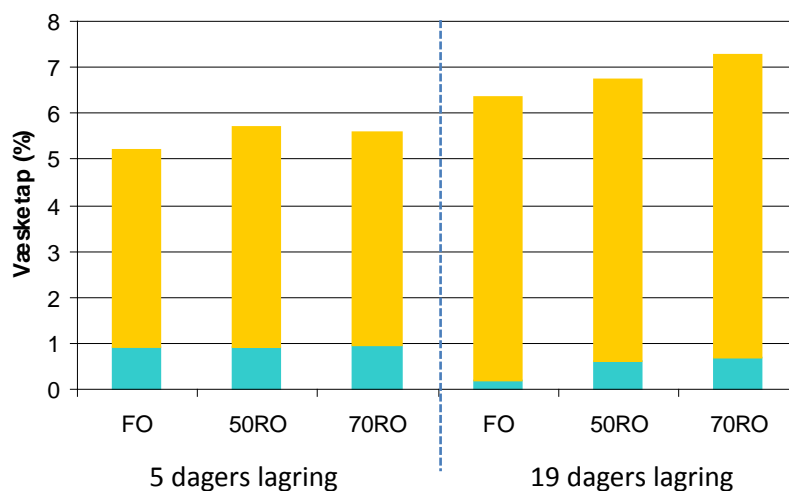
Noen få studier er publiserte vedrørende betydningen av fettsyreprofilen i laksefilet på væskebinding. I en fôringsstudie på 138 dager ble laks fôret med en fiskemelsbasert diett med 100 % fiskeolje, 50 % fiskeolje og 50 % rapsolje eller 30 % fiskeolje og 70 % rapsolje (Rørå *m.fl.*, 2003). Fettsyreprofilen i væsken som lekket fra filetene reflekterte den i fôroljene og den ble ikke endret ved kald-røyking. Innblanding av rapsolje resulterte i økt vanntap fra røykte fileter etter 19 dagers lagring. Tapet var høyest fra laksen som fikk 70 % rapsolje i fôret. I et nyere forsøk med laks som fikk 70 % innblanding av rapsolje i fôret ble det ikke funnet økt væsketap fra fersk filet (Mørkøre *m.fl.*, 2012a), men Åsli og Mørkøre (2011) registrerte en generell trend til høyere væsketap fra konvensjonelt oppdrettet laks sammenlignet med økologisk produsert laks. Forskjellen mellom gruppene var signifikant for 5–6 kilos laks, men ikke for 3–4 kilos laks. Den konvensjonelt produserte laksen hadde en annen fettsyreprofil i filet enn den økologiske laksen (mer enumettede fettsyrer, lavere omega-3, mer omega-6 og lavere nivå av mettede fettsyrer). Det er velkjent at vannbindingsevnen i muskel av både fisk og landlevende dyr øker med økende pH. Høyere *post-rigor* pH i den økologiske laksen kan ha bidratt til bedre væskebindingsevne. Lav muskel pH *post-rigor* gjenspeiler høye glykogenlagre i den levende fisken (velfødd) og derved høy produksjonen av melkesyre etter avliving og derav sur muskel med lav pH. Variasjonen i pH mellom fiskegruppene kan være knyttet til laksens energistatus ved avlivingstidspunktet (lavere energistatus i den økologiske laksen).

I et eldre upublisert forsøk ved Akvaforsk fra 2000 der laks fikk et fiskemelsbasert fôr med 67 % linolje eller 67 % rapsolje var det ingen negativ effekt på vannbindingsevnen fra fersk filet. Fettavrenning fra homogenat av laksefilet var faktisk høyest for laksen som var fôret med et 100 % fiskeoljebasert fôr. Det var ingen forskjell i tekstur eller filetpalting. Når laksen som var fôret med rapsolje ble tint etter frysing var væsketapet imidlertid seks ganger så høyt sammenlignet med laksen som fikk linolje i fôret eller et 100 % fiskeoljebasert fôr. I fersk filet var det ingen signifikant sammenheng til fettsyreprofilen i filet. I et annet forsøk der laks fikk 40 % rapsolje i fôret, påpekte

japanere at den røykte laksen hadde mindre fri olje enn laks som hadde fått 100 % fiskeolje (Rosenlund *m.fl.*, 2003).

I oppdrettstorsk som hadde fått fôr med fiskeolje eller soyaolje var det en betydelig økning i væskeslipp etter frysing, men det var ingen forskjeller mellom fôrgruppene (Mørkøre *m.fl.*, 2007). Igjen ser det ut til at ulike planteoljer kan gi ulike effekter på filet kvaliteten. I EU-prosjektet (CT-95-110; upubliserte resultater), var det en signifikant korrelasjon mellom fett-tap fra røykte fileter og innholdet av enumettede fettsyrer i fileten ($r=0,7$; $P<0,05$). Fileter med høyere innhold av mettede fettsyrer viste best stabilitet gjennom røyking (endring ved røyking $r=-0,9$; $P<0,05$). Disse resultatene indikerer at fettsyresammensetningen i fôret kan påvirke fettavrenning fra røykte fileter og at lavt nivå av mettet fett i fôret kan gi økt risiko for fettavrenning. Næringen har definert 15% mettet fett som ønsket minimumsgrense. Rapsolje inneholder høyt nivå av enumettet fett og den statistisk signifikante sammenhengen mellom økt fettavrenning fra røykte fileter med økende nivå av enumettede fettsyrer i fileten bør følges opp i dagens oppdrettslaks som vil ha et betydelig høyere innslag av enumettet fett enn laksen fra undersøkelsen i 1998.

Det er nærliggende å anta at ulike oljers tekniske kvaliteter påvirker muskelens evne til å holde på væsken gjennom lagring og varmebehandling, men andre faktorer kan også ha betydning. I ovennevnte EU-prosjekt var det også en nær sammenheng mellom fettslipp fra ferske fileter og proteolytiske enzymer ($r=0,78$; $P<0,05$). En stor andel av fett i muskelen er lagret mellom muskelsegmentene der andelen av kollagen også er høy. Kollagen denaturerer ved 20–40 °C (Ofstad & Hermansson, 1997). Oppvarming av laks kan således føre til at bindevevet endrer struktur og at fett som er assosiert med bindevevet mellom muskelsegmentene lekker ut. Hvordan ulike fettsyrer påvirker denne prosessen er ikke undersøkt, men vi har sett indikasjoner på at sammensetningen av bindevevet kan variere noe, avhengig av fettsyreprofilen i fileten. Dette er imidlertid gamle forsøksresultater.

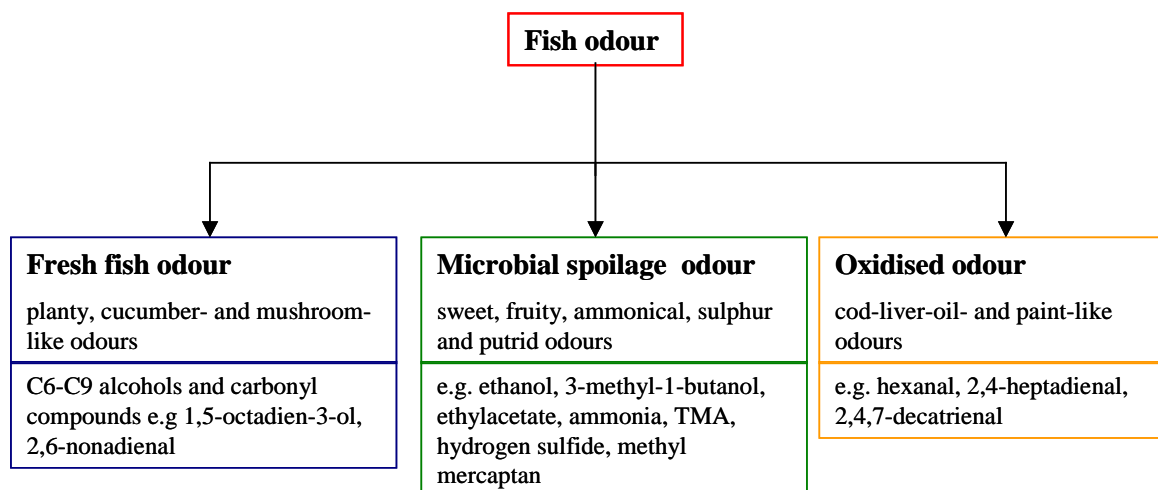


Figur 8 Væsketap fra røykte fileter etter henholdsvis 5 og 19 dagers lagring. Resultatene er vist for laks som fikk fôr med 100 % fiskeolje (FO), 50 % fiskeolje og 50 % rapsolje (50RO) eller 30 % fiskeolje og 70 % rapsolje (70RO). Gul farge indikerer olje og blå farge indikerer vann (Rørå *m.fl.*, 2003). Det er sannsynlig at sammenhengen mellom væsketap og fettsyreprofil i fileten til avhenge av fettdeponeringsmønsteret – spesielt vil det være interessant å undersøke perioder med høy fettakkumulering.

7 Lukt og smak

Hvordan et næringsmiddel lukter eller smaker er viktig for om vi som forbrukere liker maten eller ikke. Dårlig lukt og smak forbindes med gammel fisk. Smaken av fisk og sjømat avhenger av mange prosesser, og tap av ferskhets kan skyldes biokjemiske, bakteriologiske eller kjemiske prosesser (Lindsay, 1991). Den karakteristiske lukten av fersk fisk har vært knyttet til flere C6-C8 komponenter. Disse er forbindelser fra enzymnedbrytning av lange omega-3 fettsyrer (Josephson *m.fl.*, 1983 og 1984; German *m.fl.*, 1991). To flyktige komponenter som har vært brukt til å beskrive uønsket lukt i laks er hexanal som er koblet til oksidasjon av omega-6 fettsyrer (Alghazeer *m.fl.*, 2008), og 1-penten-3-ol som har vært koblet til oksidasjon av langkjedede omega-3 fettsyrer (Olsen *m.fl.*, 2005a; Hansen *m.fl.*, 2007). Den særegne aromaen for ulike fiskeslag har vært satt i sammenheng med flyktige komponenter som dannes fra spesifikke fettsyrer (Josephson & Lindsay, 1986). Når fettsyreprofilen i fôret endres, vil fettsyreprofilen i fileten også endres, og da kan fisken få endrede sensoriske egenskaper. Fôret har derfor innvirkning på de sensoriske egenskapene på laksekjøttet.

Figur 6 illustrer hvilke lukteegenskaper som forbindes med henholdsvis fersk, bedervet og harsk lukt. Slik kunnskap er avgjørende ved komponering av oljeblandinger i fôret til laks. For eksempel er det viktig ikke å tilføre fôret fettløselige komponenter i fôret som setter smak som forbindes med bedervet fisk.



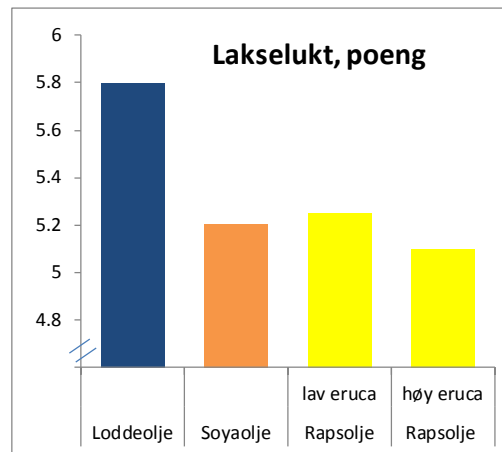
Figur 9 Fiskelukt og flyktige komponenter som påvirker lukten av fersk, bedervet og harsk fisk (Olafsdottir *m.fl.*, 1997).

7.1 Effekt av fettkvalitet

Smaken på planteoljer er forskjellig. Rapsolje har for eksempel en nøytral lukt og smak og soyaolje smaker også ganske lite. Solsikkeolje har en litt nøtteaktig smak, mens maisolje gir søtlig smak. Etersom fôroljene deponeres relativt uforandret i fileten, vil deres særegenhet også tilføres fisken, avhengig av innblandingsnivå og kvaliteten på oljen.

En rekke studier har vist at fôrets sammensetning kan påvirke laksens lukt og smak. Allerede for 25 år siden gjennomførte Thomassen & Røsjø (1989) sensoriske forsøk med laks som var fôret med planteoljer. Lodde er en viktig ingrediens på menyen hos villaks (Rasmussen, 2012), og resultatene fra den sensoriske undersøkelsen viste at den karakteristiske lukten av laks («lakselukt») avtok når

loddeolje i fôret ble erstattet med rapsolje eller soyaolje (Figur 10). Poeng for «lakselukt» avtok tilsvarende for begge planteoljene. Ut fra resultatene i denne studien konkluderte man at oljene i fôret har betydning for aromaen av oppdrettslaks. Siden dette forsøket ble gjennomført har problemstillingen fanget næringens interesse, og særlig de seneste årene har studier med rapsolje, soyaolje og andre planteoljer blitt gjennomført, både i Norge og i utlandet.



Figur 10 Effekt av fôrolje på «lakselukt» i kokt laks. Resultatene er fra den første studien av laks fôret ulike fôroljer i Norge (Thomassen & Røsjø, 1989).

I all hovedsak har studier der opp til 100 % av fiskeolje ble byttet ut med planteoljemiks (Rafoamix) vist små forskjeller i sensorisk kvalitet (Torstensen *m.fl.*, 2005; Sanden *m.fl.*, 2011). Trent sensorisk panel kunne smake og lukte at filet fra planteoljefôret laks av slaktestørrelse smakte mindre marint enn 100 % fiskeoljefôret laks, men forskjellene var ikke signifikante. Når 100 % fiskeolje ble byttet ut kun med rapsolje derimot, kunne det sensoriske panelet smake og lukte en merkbar forskjell (signifikant). En forbrukertest i Storbritannia viste at den laksen som var blitt fôret med 100 % Rafoamix var bedre likt enn laks fôret med 75 % Rafoamix eller 100 % fiskeolje (Torstensen *m.fl.*, 2004; 2005).

I 1999 gjennomførte Obach og medarbeidere et forsøk der de tildelte 0,9 kilos laks en blanding av 50 % loddeolje og 50 % soyaolje i 107 dager. Da fordelte de laksen som veide 1,7 kg i tre grupper som fikk forskjellige fôr som inneholdt 1) loddeolje, 2) Peruansk anchovy olje eller 3) en blanding av 50 % loddeolje og 50 % soyaolje i 93 dager. Da veide fisken i gjennomsnitt 2,8 kg. Sensorisk vurdering av kokt og røkt laks viste kun små forskjeller mellom gruppene, men det er interessant at forskjellen mellom laksen som fikk ulike typer fiskeoljer var omtrent den samme som forskjellen mellom disse og laksen som fikk soyaolje i fôret. Resultatene fra denne studien kan minne oss på at ulike fiskeoljer kan ha forskjellige sensoriske egenskaper; det vil si at fiskeolje er ikke fiskeolje. Effekten av å blande inn planteoljer i fôret til laks vil derved påvirkes av hvilken fiskeolje som benyttes og oljekvaliteten. Dette er faktorer som er viktige å ta hensyn til da egnethet av ulike planteoljer evalueres.

En rekke forsøk har dokumentert at fôroljen påvirker de sensoriske egenskapene til det spisbare produktet, men det finnes også undersøkelser som ikke har dokumentert en slik sammenheng. For eksempel fant Hardy *m.fl.* (1987) ingen forskjell i lukt og smak av laks som fikk fôr iblandet menhadenolje, soyaolje eller dyrefett (lard). Guillou *m.fl.* (1995) fant heller ingen sensoriske forskjeller mellom røye fôret med menhaden, soyaolje eller rapsolje. Det er mye som har forandret seg siden disse forsøkene ble gjennomført for 20-30 år siden, og det kan ikke utelukkes at forsøk med

dagens fôr og produksjonsforhold ville gitt andre resultater. Bruken av dyreplankton og alger i laksefôr har fått økende relevans, men vi vet lite om betydningen for organoleptiske kvaliteten. En eldre studie med dyreplankton som ble publisert for 35 år viste at innblanding av dyreplankton i fôret førte til bedre smak av regnbueørret (Spinelli 1979).

I en artikkel på nettsiden til Skretting oppsummerer forfatterne Rosenlund m.fl. (2003) resultater fra to omfattende forsøk der effekter av laksefôr med ulike nivåer av planteoljer ble undersøkt under kommersielle forhold gjennom det meste av fiskens vekstfase. Prosjektet ALISA (Alternative Lipids in Salmon) var en fullskala produksjonstest utført i Norge og Skottland, mens RAFOA-prosjektet (Researching Alternatives to Fishoil in Aquaculture) var et samarbeidsprosjekt i regi av EU. I ALISA-prosjektet fikk laks ved fem kommersielle anlegg fôr der 40 % av fiskeoljen var erstattet med rapsolje. Fôret ble brukt på fisk fra 1–2 kg fram til slakt ved 4–5 kg. Sensoriske tester ble gjennomført av forbrukere og sensoriske paneler i Storbritannia, Frankrike, Japan og Tyskland for å ta hensyn til geografiske forskjeller i smak. Hver test omfattet ulike varianter av produktet (rå, røkt, kokt) for å få fram mulige effekter av ulik foredling. Laks som hadde fått noe rapsolje i fôret kom generelt best ut i forbrukertester. I RAFOA-prosjektet fikk laksen fôr med stigende nivåer fra 0 % til 100 % av rapsolje eller linfrøolje (Rosenlund *m.fl.*, 2010). Fisken som ble undersøkt veide over 2 kilo. Smakstesting av rå laks viste at laksen som fikk 50 % rapsolje kom best ut på helhetsinntrykk, mens 100 % rapsolje og 100 % fiskeolje scoret likt. Linolje bør, ifølge forfatterne brukes med større forsiktighet, da helhetsinntrykket dalte ved høy innblanding. Resultatene er i tråd med en annen undersøkelse med regnbueørret og coho laks der testpersonene syntes å foretrekke laksen som var fôret med solsikkeolje og som derved hadde en mindre kraftig fiskearoma enn fisk fôret med sildeolje (Skonberg *m.fl.*, 1993). Mørkøre (2012) rapporterte likeledes høyere poeng på positive sensoriske egenskaper for laks fôret med 70 % rapsolje sammenlignet med 30 % rapsolje i fôret.

Bedre kunnskap om hva forbrukere i ulike markeder ønsker og aksepterer hadde vært nyttige for det fremtidige arbeidet med å optimalisere laksens sensoriske egenskaper i henhold til tilgjengelige fôroljer og pris i lakseoppdrett.

7.2 Ferskhet

Fisk som inneholder store mengde flerumettede fettsyrer er utsatt for harskning, men graden av harskning kan hemmes av antioksidanter. Harskning kan måles på ulike måter (primære og sekundære harskningsprodukter). Forbindelsen TBARS brukes ofte til å belyse harskningsgraden i fisk. I EU-prosjektet CT-95-1101 (upublisert), var det en signifikant sammenheng mellom mengden av flerumettede fettsyrer i fôret og nivået av harskningsindikatoren TBARS i både fersk ($r=0,9$) og røkt filet ($r=0,6$). Laks med høyere innhold av enumettede fettsyrer hadde lavere TBARS innhold ($r=-0,6$ til $-0,8$).

Vitamin E er en antioksidant som har vist seg å være effektiv til å forbedre den sensoriske kvaliteten og forlenge holdbarheten av laksefileter. Frigg *m.fl.* (1990) rapporterte at regnbueørret som hadde fått ekstra tilsetning av vitamin E i fôret (50, 100 and 200 IU/kg feed) ble foretrukket i sensorisk test. Waagbø *m.fl.* (1993) undersøkte effekten av å tilsette vitamin E i fôr med tre omega-3 nivåer på sensoriske egenskaper av kokt fersk. På det laveste omega-3 nivået hadde vitamin E ingen effekt, men på de høyere nivåene hemmet vitamin E utvikling av harsklukt. En annen studie med vitamin E tilsetning i fôret viste likeledes bedre lukt og smak (mindre harsk/mer frisk) av laks som hadde fått rapsolje i fôret med noe harskhet (Mørkøre *m.fl.*, 2012b). Oljekvalitet er *bl.a.* et spørsmål om

harskning og oksidativ stabilitet. Harskning av fôrolje fører raskt til tap av viktige næringsstoffer som vitamin E og kostbare pigmenter som astaxanthin. Dette kan ha konsekvenser både for fiskehelse, slaktekvalitet og økonomi. Nyere studier har vist at fôr med harskt fett gir fisken harsksmak, og at det er svært lite harskt fett som skal til. Problemer med harsk olje har vært pekt på som en aktuell problemstilling med økende innblanding av oljer fra avskjær og bifangst (Figur 3). Betydningen av harskt fôrfett vil sannsynligvis avhenge av innblandingsnivået. I en eldre studie fant Koshio *m.fl.* (1994) ingen negative smakseffekter i laks som hadde fått noe harsknet silde og rapsolje (canola), men innblandingen i fôret var lav (13.8% av ingrediensene).

Innblanding av rapsolje i laksefôr har vist seg å bidra til bedre ferskhets-score av det spisbare produkt. For eksempel ga et trent sensorisk panel høyere poeng for ferskhets og lavere poeng for harskhet til laks som hadde fått 70 % rapsolje i fôret sammenlignet med 30 % rapsolje (Mørkøre, 2012) og Rosenlund *m.fl.* (2003) rapporterte en tendens til forsinket utvikling av TBARS i laks fôret med 40 % rapsolje sammenlignet med 100 % fiskeolje. Åsli & Mørkøre (2011) rapporterte mindre sensorisk harskhet i konvensjonell laks enn i økologisk laks. Den økologiske laksen hadde høyere innhold av lange flerumettede fettsyrer (PUFA). Resultatene for begge gruppene var imidlertid innenfor akseptable verdier. En bør også være oppmerksom at typisk fiskesmak i noen tilfeller forveksles med harskhet.

8 Forsknings- og utviklingsbehov

Den 19. februar 2014 ble det avholdt et arbeidsmøte på Gardermoen med deltakere fra industri, forskning, marked og FHF. Rapportens innhold ble diskutert og man ble enig om de viktigste forskningsbehovene å fokusere på.

Viktigste konklusjon fra møtet:

Vi må sikre STABIL KVALITET av laks med endret fettsyresammensetning

Fersk / røykt & islagret / fryst

Fargejevnhet og fettlekasje

Det er viktig at filetene bevarer en jevn farge ved lagring og etter salting/røyking. Dette avhenger i stor grad av antioksidant-kapasiteten i filetene. Vi har sett at laks fôret med høye nivåer av rapsolje kan ha noe lavere innfarging. Dette anses ikke som kritisk – det er viktigere å sikre at fargen ikke blir ujevn etter prosessering og lagring da skjolding er et uakseptabelt kvalitetsavvik som fører til nedklassing. Det er også viktig at endret fettsyresammensetning ikke fører til lekkasje av væske fra røykte og lagrede fileter. Dette anses som spesielt kritisk for røykt laks.

Vurdere nivå av antioksidanter i fôret i forhold til kvalitetsstabilitet med endret fettsyresammensetning i filet (vit C, E, Se i fôr med endret fett/protein nivå og fettsyre-sammensetning).

Tekniske egenskaper dokumenteres

Smeltepunkt og viskositet (seighet) dokumenteres i tillegg til fettsyresammensetning i fôroljen, fett i laksefileten og fett som lekker fra laksefileten ved lagring, tining og røyking. Denne kunnskapen har vi ikke i dag, og den er nødvendig for å optimalisere filet kvaliteten i laks med endret fettsyresammensetning.

Robusthet

Nedsatt evne til å takle stress gir økt risiko for å utvikle kvalitetsavvik og raskere kvalitetsforringelse ved lagring. Det er viktig å dokumentere om laks med endret fettsyresammensetning har nedsatt robusthet og endret (raskere) rigorutvikling og fremskyndet kvalitetsforringelse.

Fytosteroler, mettet og enumettet fett

Det er viktig å isolere fôreffekter av fytosteroler og mettet fett på kvalitet (kontrollerte småskala forsøk/ evt. supplert med cellemodeller). Avdekke om redusert mengde mettet fett i fôret er koblet til økte kvalitetsproblemer. Det er også viktig å dokumentere om det er en sammenheng mellom høy andel langkjedede enumettede fettsyrer og avvikende filetfarge og om enumettede fettsyrer forstyrrer opptaket av astaxanthin over tarm (micelledannelse). Eventuelt om det er en sammenheng mellom lange enumettede fettsyrer i fileten og nedsatt vevsstabilitet som kan medføre pigmenttap og lekkasje av væske.

Koble kvalitetsanalyser til pågående fôringsforsøk

Øke kunnskapen om planteoljers betydning for kvaliteten ved i større grad å koble kvalitetsanalyser av laks til pågående fôringsforsøk.

9 Referanser

- Aas, G.H., B. Bjerkeng, T. Storebakken & B. Ruyter (1999). Blood appearance, metabolic transformation and plasma transport proteins of ¹⁴C-astaxanthin in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Fish Physiol. Biochem.*, **21**, pp. 325–334.
- Alghazeer, R., S. Saeed & N.K. Howell (2008). Aldehyde formation in frozen mackerel (*Scomber scombrus*) in the presence and absence of instant green tea. *Food Chemistry*, **108**, pp. 801–810.
- Ando, S., T. Takeyama, M. Hatano & K. Zama (1985). Carotenoid-carrying lipoproteins in the serum of chum salmon (*Onchorhynchus keta*) associated with migration. *Agric. Biol. Chem.* **49**, pp. 2185–2187.
- Bahuaud, D., T. Mørkøre, T.-K. Østbye, B. Torstensen, E. Veiseth-Kent, B. Ruyter, R. Ofstad & M.S. Thomassen (2009a). Atlantic salmon (*Salmo salar*) flesh quality - Role of lysosomal cathepsins B and L in muscle degradation. In *Salmon: Biology, Nutrition and Consumption*. (Eds.) P. Lacopo & M. Riemma, Nova Publishers.
- Bahuaud, D., T.-K. Østbye, B.E. Torstensen, A.M.B. Rørå, R. Ofstad, E. Veiseth, M.S. & B. Ruyter (2009). Atlantic salmon (*Salmo salar*) muscle structure integrity and lysosomal cathepsins B and L influenced by dietary n-6 and n-3 fatty acids *Food Chemistry*, Vol 114, pp 1421-1432.
- Bell, J.G., J. McEvoy, J.L. Webster, F. McGhee, R.M. Millar & J.R. Sargent (1998). Flesh lipid and carotenoid composition of Scottish farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, **46**, pp. 119–127.
- Bell, J.G., D.R. Tocher, B.M. Farndale, D.I. Cox, R.W. McKinney & J.R. Sargent (1997). The effect of dietary oil on polyunsaturated fatty acid metabolism in Atlantic salmon (*Salmo salar*) undergoing parr-smolt transformation. *Lipids*, **32**, pp. 515–525.
- Bell, J.G., D.R. Tocher, R.J. Henderson, J.R. Dick & V.O. Crampton (2003). Altered fatty acid compositions in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets containing linseed and rapeseed oil can be partially restored by a subsequent fish oil finishing diet. *Journal of Nutrition*, **133**, pp. 2793–2801.
- Bell, J.G., F. McGhee, P.J. Campbell & J.R. Sargent (2003). Rapeseed oil as an alternative to marine fish oil in diets of post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar*): changes in flesh fatty acid composition and effectiveness of subsequent fish oil “wash out”. *Aquaculture*, **218**, pp. 515–528.
- Bell, J.G., J. McEvoy, D.R. Tocher, F. McGhee, J.R. Dick, A. Porter, R.P. Smullen & J.R. Sargent (2002). Substituting fish oil with crude palm oil in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*) affects muscle fatty acid composition and hepatic fatty acid metabolism. *Journal of Nutrition*, **132**, pp. 222–230.
- Bell, J.G., J. McEvoy, D.R. Tocher, F. McGhee, P.J. Campbell & J.R. Sargent (2001). Replacement of fish oil with rapeseed oil in diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*) affects tissue lipid compositions and hepatocyte fatty acid metabolism. *Journal of Nutrition* **131**, pp. 1535–1543.
- Bjerkeng, B., B. Hatlen & E. Wathne (1999b). Deposition of astaxanthin in fillets of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets with herring, capelin, sandeel or Peruvian high PUFA oils. *Aquaculture*, **180**, pp. 307–319.
- Bjerkeng, B., K. Hamre, B. Hatlen & E. Wathne (1999a). Astaxanthin deposition in fillets of Atlantic salmon *Salmo salar* L. fed two dietary levels of astaxanthin in combination with three levels of α -tocopheryl acetate. *Aquacult. Res.*, **30**, pp. 637–646.

- Bjerkeng, B., S. Refstie, K.T. Fjalestad, T. Storebakken, M. Rødbotten & A.J. Roem (1997). Quality parameters of the flesh of Atlantic salmon (*Salmo salar*) as affected by dietary fat content and full-fat soybean meal as a partial substitute for fish meal in the diet. *Aquaculture*, **157**, pp. 297–309.
- Borel, P., M. Grolier, M. Armand, A. Partier, H. Lafont, D. Lairon & V. Azais-Bresco (1996). Carotenoids in biological emulsions: solubility, surface-to-core distribution, and release from lipid droplets. *J. Lipid Res.*, **37**, pp. 250–261.
- Chaves, P.R.G., D. Rengel, R. Gómez, G. Choubert & J.C.G. Milicua (1998). Canthaxanthin saturation of serum lipoproteins from immature rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Comp. Biochem. Physiol.*, **121B**, pp. 129–134.
- Choubert, G., J. de la Noüe & J.-M. Blanc (1991). Apparent digestibility of canthaxanthin in rainbow trout: effect of dietary fat level, antibiotics and number of pyloric caeca. *Aquaculture*, **99**, pp. 323–329.
- Clark, R.M., L. Yao, L. She & H.C. Furr (2000). A comparison of lycopene and astaxanthin absorption from corn oil and olive oil emulsions. *Lipids*, **35**, pp. 803–806.
- Einen, O. & A. Roem (1997). Dietary protein/energy ratios for Atlantic salmon in relation to fish size: growth, feed utilization and slaughter quality. *Aquaculture Nutrition* **3**, pp. 115–126.
- Einen, O. & G. Skrede (1998). Quality characteristics in raw and smoked fillets of Atlantic salmon, *Salmo salar*, fed high-energy diets. *Aquaculture Nutrition*. **4**, pp. 99–108.
- Einen, O. & M.S. Thomassen (1998). Starvation prior to slaughter in Atlantic salmon (*Salmo salar*) II. White muscle composition and evaluation of freshness, texture and colour characteristics in raw and cooked fillets. *Aquaculture*, **169**, pp. 37–53.
- Einen, O., T. Mørkøre, A.M.B. Rørå & M.S. Thomassen (1999). Feed ration prior to slaughter - a potential tool for managing product quality of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* **178**, pp. 149-169
- Einen, O., R. Tomter & S.O. Fjæra (2002). Contraction and quality changes of pre-rigor fillets of Atlantic salmon as affected by dietary oil and livechilling. Poster. Int. Symp. on Nutrition and Feeding of Fish. Rhodes, 2–7 June.
- Erdal, J.I., O. Evensen, O.K. Kaurstad, A. Lillehaug, R. Solbakken & K. Thorud (1991). Relationship between diet and immuneresponse in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) after feeding various levels of ascorbic acid and omega-3 fatty acids. *Aquaculture*, **98**, pp. 363–379.
- Espe, M. & I. Aidos (1997). Muskelkvalitet påvirkes av tilveksthastighet og lagringstid på is. Årsmelding Fiskeridirektoratets Ernæringsinstitutt. 1997.
- Frigg, M. & A.L. Prabucki & E.U. Ruhdel (1990). Effect of dietary vitamin E levels on oxidative stability of trout fillets. *Aquaculture*, **84**, pp. 145–158.
- Furr, H.C. & R.M. Clark (1997). Intestinal absorption and tissue distribution of carotenoids. *Nutr. Biochem.* **8**, pp. 364–377.
- German, J.B., R.G. Berger & F. Drawert (1991). Generation of fresh fish flavour: Rainbow trout (*Salmo gairdneri*) gill homogenate as a model system. *Chem. Mikrobiol. Technol. Lebensm.* **13**, pp. 19–24.
- Grisdale-Helland, B., B. Ruyter, G. Rosenlund, A. Obach, S.J. Helland, M.G. Sandberg, H. Standal & C. Røsjø (2002). *Aquaculture*, **207**, pp. 311–329.
- Guillou, A., P. Soucy, M. Khalil & L. Adambounou (1995). Effects of dietary vegetable and marine lipid on growth, muscle fatty acid composition and organoleptic quality of flesh of brook charr (*Salvelinus fontinalis*). *Aquaculture*, **136**, pp. 351–362.

- Gunstone, F.D. (1994). The lipid handbook. 2nd ed. J.L. Harwood, F.B. Padley & F.D. Gunstone (Eds.) London:Chapman & Hall, 722p.
- Hansen, A., T. Mørkøre, K. Rudi, E. Olsen & T. Eie (2007). Quality Changes during Refrigerated Storage of MA-Packaged Pre-rigor Fillets of Farmed Atlantic Cod (*Gadus morhua* L.) Using Traditional MAP, CO₂ Emitter, and Vacuum. *J Food Sci.* **9**, pp. 423–430.
- Hansen, T. & M. Bjørnevik. Muskelstruktur på laks. Faktaark. Norges Forskningsråd. Havbruk – En næring i vekst
- Hardy, R.W., T.M. Scott & L.W. Harrell (1987). Replacement of herring oil with menhaden oil, soybean oil, or tallow in the diets of Atlantic salmon raised in marine net pens. *Aquaculture*, **65**, pp. 267–277.
- Harwood, J.L., F.B. Padley & F.D. Gunstone (1994). Occurrence and characteristics of oils and fats. In *The Lipid handbook*, 2nd ed. J.L. Harwood, F.B. Padley & F.D. Gunstone (Eds.) London:Chapman & Hall, 722p.
- Hatlen, B., Ø. Oaland, L. Tvenning, O. Breck, J.V. Jakobsen & J. Skaret (2013). Growth performance, feed utilisation and product quality in slaughter size Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed a diet with porcine blood meal, poultry oil and salmon oil. *Aquacult. Nutr.*, **19**, pp. 573–584.
- Izquierdo, M.S., D. Montero, L. Robaina, M.J. Caballero, G. Rosenlund & R. Gines (2005). Alterations in fillet fatty acid profile and flesh quality in gilthead seabream (*Sparus aurata*) fed vegetable oils for a long term period recovery of fatty acid profiles by fish oil feeding. *Aquaculture*, **250**, pp. 431–444.
- Johnston, I.A. (2008). The biological basis of variability in the texture of fish flesh. In *Improving seafood products for the consumer*. (Ed.) T. Børresen. Cambridge, UK: Woodhead Publishing Limited, pp. 465–489.
- Josephson, D.B. & R.C. Lindsay (1986). Enzymatic generation of volatile aroma compounds from fresh fish. In *Biogenesis of Aromas. ACS Symposium Series No.317*. (Eds.) T.H. Parliment & R.Croteau. Washington, D.C.: American Chemical Society, pp. 201–221.
- Josephson, D.B., R.C. Lindsay & D.A. Stuibler (1983). Identification of compounds characterizing the aroma of fresh whitefish (*Coregonus clupeaformis*). *J. Agric. Food Chem.* **31**, pp. 326–330.
- Josephson, D.B., R.C. Lindsay & D.A. Stuibler (1984). Variations in the occurrences of enzymatically derived volatile aroma compounds in salt- and freshwater fish. *J. Agric. Food Chem.* **32**, pp. 1344–1347.
- Jørgensen, S.M., M. Sørensen, J. Torgersen, M. Todorčević, T.K. Østbye, Aas-Hansen, Ø., L.-H. Johansen, G. Timmerhaus, M. Bao, M. Alarcon, T. Mørkøre, A. Krasnov, B. Ruyter & H. Takle (2013). Kunnskap- og metodeutvikling for å styrke laksens robusthet og helse. Rapport 40/2012, Nofima, Ås.
- Karalazos, V., E.Å. Bendiksen & J.G. Bell (2011). Interactive effects of dietary protein/lipid level and oil source on growth, feed utilization and nutrient and fatty acid digestibility of Atlantic salmon. *Aquaculture*, **311**, pp. 193–200.
- Kjær, M.A., A. Vegusdal, T. Gjøen, A.C. Rustan, M. Todorčević, B. Ruyter (2008a). Effect of rapeseed oil and dietary n-3 fatty acids on triacylglycerol synthesis and secretion in Atlantic salmon hepatocytes. *Biochim Biophys Acta*, **1781**:3, pp. 112–22.
- Kjær, M.A., M. Todorčević, B.E. Torstensen, A. Vegusdal & B. Ruyter (2008b). Dietary n-3 HUFA Affects Mitochondrial Fatty Acid β -Oxidation Capacity and Susceptibility to Oxidative Stress in Atlantic Salmon. *Lipids*, **43**:9, pp. 813–827.

- Koshio, S., R.G. Ackman & S.P. Lall (1994). Effects of oxidized herring and canola oils in diets on growth, survival, and flavor of Atlantic salmon, *Salmo salar*. *J. Agric. Food Chem.* **42**, pp. 1164–1169.
- Larsson, T., T. Mørkøre, T.-K. Østbye, S. Afanasyev & A. Krasnov, A. (2012). Gene expression profiling of soft and firm muscle of farmed Atlantic salmon. *PlosOne* 7(6), pp. e39219–e39219.
- Larsson, T., E.O. Koppang, M. Espe, B.F. Terjesen, A. Krasnov, H.M. Moreno, K.-A. Rørvik, M. Thomassen & T. Mørkøre (2014). Fillet quality and health of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed a diet supplemented with glutamate. *Aquaculture* in Press
- Liland, N.S., G. Rosenlund, M.H.G. Berntssen, T. Brattelid, L. Madsen & B.E. Torstensen (2013b). Net production of Atlantic salmon (FIFO; Fish in Fish out < 1) with dietary plant proteins and vegetable oils. *Aquaculture Nutrition*, **19**, pp. 289–300.
- Liland, N.S., M. Espe, G. Rosenlund, R. Waagbø, J.I. Hjelle, Ø. Lie, R. Fontanillas & B.E. Torstensen (2013a). High levels of dietary phytosterols affect lipid metabolism and increase liver and plasma TAG in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *British Journal of Nutrition*, 110:11, pp. 1958–67.
- Lindsay, R.C. (1990). Fish flavours. *Food Review International* **6**, pp. 437–455.
- Lindsay, R.C. (1991). Chemical basis of the quality of seafood flavours and aromas. *Mar. Technol. Soc. J.*, **25**, pp. 16–22.
- Liu, K.M.M., F.T. Barrows, R.W. Hardy & F.M. Dong (2004). Body composition, growth performance, and product quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed diets containing poultry fat, soybean/corn lecithin, or menhaden oil. *Aquaculture*, **238**, pp. 309–328.
- Mollan, T.A. (2013). Økt produksjon av laks basert på bruk av marint restråstoff. FHF Fagdag 28/11-2013.
- Mørkøre, T. (2006). Relevance of dietary oil source for contraction and quality of pre-rigor filleted Atlantic cod, *Gadus morhua*. *Aquaculture*, **251**, pp. 56–65.
- Mørkøre, T. (2008). Tekstur i oppdrettslaks. Kunnskapsstatus og forhold som bidrar til fastere filett. Workshop v/FHL Rica Hotell, Hell 12-13/2-2008.
- Mørkøre, T. (2012). Fôrets betydning for laksens helsetilstand, kvalitet og næringsverdi som mat for mennesker. FHF-samling verdikjede laks, 14. mai.
- Mørkøre, T., C. Netteberg, L. Johnsson & J. Pickova (2007). Impact of dietary oil source on product quality of farmed Atlantic cod, *Gadus morhua*. *Aquaculture*, **267**, pp. 236–247.
- Mørkøre, T., E.-O. Koppang, M. Espe, T. Larsson, E. Veiseth-Kent, B.F. Terjesen, I.B. Standal & K.-A. Rørvik (2010). Optimalt fôr som gir fast filett. Rapport 37/2010, Nofima, Ås.
- Mørkøre, T., E.-O. Koppang, H.A.T. Nguyen, M. Rødbotten, T. Larsson, J. Pickova, H.M. Moreno, M. Åsli & M. Sørensen (2012b). Oxidation status and vitamin E level of Atlantic salmon feeds Effects on performance, health parameters, meat quality and robustness to stress. XV International Symposium on Fish Nutrition and Feeding, Molde 4.–7. June 2012.
- Mørkøre, T., J.L. Vallet, M. Cardinal, M.C. Gomez-Guillen, P. Montero, O.J. Torrissen, R. Nortvedt, S. Sigurgisladottir & M.S. Thomassen (2001). Fat content and fillet shape of Atlantic salmon: Relevance for processing yield and quality of raw and smoked products. *J. Food Sci.*, **66**, pp. 1348–1354.
- Mørkøre, T., M. Rødbotten, G. Vogt, S.O. Fjæra, I.Ø. Kristiansen & E. Manseth (2010). Relevance of season and nucleotide catabolism on changes in fillet quality during chilled storage of raw Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Food Chemistry*, **119**, pp. 1417–1425.
- Mørkøre, T., M. Åsli, K.W. Sanden, J.E. Dessen, M.T. Bjerke, K.G. Hoås & K.-A. Rørvik (2012a). Tekstur og fett i laksefilett. Rapport/Report 38/2012, Nofima, Ås.

- Mørkøre, T., P.I. Mazo, V. Tahirovic & O Einen (2008). Impact of starvation and handling stress on rigor development and quality of Atlantic salmon (*Salmo salar* L). *Aquaculture* **277**, pp. 231–238.
- Nanton, D.A., A. Vegusdal, A.M.B. Rørå, B. Ruyter, G. Baeverfjord & B.E. Torstensen (2007). *Aquaculture*, **265**, pp. 230–243.
- Nickell, D.C. & N.R. Bromage (1998a). The effect of dietary lipid level on variation of flesh pigmentation in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, **161**, pp. 237–251.
- Ofstad, R. & A.M. Hermansson (1997). Liquid loss and structural changes during heating of fish products as effected by intrinsic and external factors. In *Seafood from producer to consumer*. (Eds.) Luten, J.B., T. Børresen & J. Oehlenschläger, Amsterdam:Elsevier Science, p. 712.
- Okuma, E. & H. Abe (1992). Major buffering constituents in animal muscle. *Comp. Biochem. Physiol.*, **102A**, pp. 37–41.
- Olafsdottir, G., E. Martinsdottir, J. Oehlenschläger, P. Dalgaard, B. Jensen, I. Undeland, I.M. Mackie, G. Henahan, J. Nielsen & H. Nilsen (1997). Methods to evaluate fish freshness in research and industry. *Trends Food Sci. Technol.*, **8**, pp. 258–265.
- Olli, J., H. Breivik, T. Mørkøre, B. Ruyter, J., Johansen, P. Reynolds, O. Thorstad & B. Berge (2010). Removal of persistent organic pollutants from Atlantic salmon (*Salmo salar*, L) diets; influence on growth, feed utilization efficiency and product quality. *Aquaculture* 310, 145–155.
- Olsen, E., G. Vogt, A. Veberg, D. Ekeberg & A. Nilsson (2005a). Analysis of early lipid oxidation in smoked, comminuted pork or poultry sausages with spices. *J Agric Food Chem.*, **53**: 19, pp. 7448–57.
- Olsen, R.E., A. Kiessling, J.E. Milley, N.W. Ross & S.P. Lall (2005b). Effect of lipid source and bile salts in the diet of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., on astaxanthin blood levels. *Aquaculture*, **250**, pp. 804–812.
- Olsvik, P.A., B.E. Torstensen, G.-I. Hemre, M. Sanden & Ø. Lie (2010). Hepatic oxidative stress in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) transferred from a diet based on marine feed ingredients to a diet based on plant ingredients. *Aquacult. Nutr.*, **17**, e424-e436. Doi:10.1111/j.1365-2095.2010.00778.x
- Phillips, K.M., D.M. Ruggio, J.I. Toivo, M.A. Swank & A.H. Simpkins (2002). Free and esterified Sterol Composition of Edible Oils Determined by Solid-Phase Extraction and Gas-Liquid Chromatography. *J. Food Comp. Anal.*, **15**, pp. 123–142.
- Pickova, J. & T. Mørkøre (2007). Alternate oils in fish feeds. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, **109**, pp. 256–263.
- Rasmussen, M. (2012). Diett hos Atlantisk laks *Salmo salar* langs kysten av Finnmark. Mastergradsoppgave i fiskerifag – studieretning Fiskeribiologi. Universitetet i Tromsø.
- Regost, C., J. Arzel, M. Cardinal, G. Rosenlund & S.J. Kaushik (2003). Total replacement of fish oil by soybean or linseed oil with return to fish oil in turbot (*Psetta maxima*): 2. Flesh quality properties. *Aquaculture*, **220**, pp. 737–747.
- Regost, C., J.V. Jakobsen & A.M.B. Rørå (2004). Flesh quality of raw and smoked fillets of Atlantic salmon as influenced by dietary oil sources and frozen storage. *Food Res. Int.*, **37**, pp. 259–271.
- Rosenlund, G., A. Obach, M.G. Sandberg, H. Standal & K. Tveit (2001). Effect of alternative lipid sources on long-term growth performance and quality of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquacult. Res.* **32** (Suppl. 1), pp. 323–328.

- Rosenlund, G., G. Corraze, M. Izquierdo & B.E. Torstensen (2010). The Effects of Fish Oil Replacement on Nutritional and Organoleptic Qualities of Farmed Fish. In *Fish oil replacement in fish feed*. (Eds.) Turchini, G., W. Ng & D.R. Tocher. pp. 487–522.
- Rosenlund, G., K.M. Eckhoff, E.V. Kallelid & T.T. Lea (2003). Vegetabiliske råvarer I fiskefôr: Kan du smake forskjell.
<http://www.skretting.no/Internet/SkrettingNorway/webInternet.nsf/wPrIdPrint/751319B7740C57DEC125740F0032B63C!OpenDocument>
- Ruyter B., C. Røsjø, O. Einen & M.S. Thomassen (2000). Essential fatty acids in Atlantic salmon: time course of changes in fatty acid composition of liver, blood and carcass induced by a diet deficient in n-3 and n-6 fatty acids. *Aquac. Nutr.* **6**, pp. 109–117.
- Ruyter, B., C. Moya-Falcon, G. Rosenlund & A. Vegusdal (2006). Fat content and morphology of liver and intestine of Atlantic salmon (*Salmo salar*): Effects of temperature and dietary soybean oi. *Aquaculture*, **252**, pp. 441–452.
- Rye, M., Bæverfjord, G. & N. Jopson (1994). Datatomografi avslører fettfordelinga hos laks. *Norsk Fiskeoppdrett* **11A**, pp. 37-39.
- Rørå, A.M.B., B. Ruyter, J. Skorve, R.K. Berge & K.-E. Slinning (2005b). Influence of high content of dietary soybean oi on quality of large, fresh, smoked and frozen Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquacult. Int.*, **13**, pp. 217–231.
- Rørå, A.M.B., C. Regost & J. Lampe (2003). Liquid holding capacity, texture and fatty acid profile of smoked fillets of Atlantic salmon fed diets containing fish oil or soybean oil. *Food Res. Int.* **36**, pp. 231–239.
- Rørå, A.M.B., S. Birkeland, L. Hultmann, T. Rustad, T. Skåra & B. Bjerkeng (2005a). Quality characteristics of farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets high in soybean or fish oil as affected by cold-smoking temperature. *Lebensmittelwiss. Technol.*, **38**, pp. 201–211.
- Røsjø, C. (1988). Effekter av raps- og soyaolje i fôr til laks (*Salmo salar* L.). Hovedoppgave i ernæringsfysiologi. Universitetet i Oslo. Pp. 112.
- Saha, M., N.W. Ross, T.A. Gill & R.E. Olsen (2005). Development of a method to assess binding of astaxanthin to Atlantic salmon *Salmo salar* L. muscle proteins. *Aquacult. Res.*, **36**, pp. 336–343.
- Sanden, M., I. Stubhaug, M.H.G. Berntssen, Ø. Lie & B.E. Torstensen (2011). Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) as a net producer of long chain marine omega-3 fatty acids. *J Agric Food Chem*, **59**:23, pp. 12697–12706.
- Sigholt, T., G.M. Berge, B. Ruyter & T. Åsgård (2008). Graded levels of palm oil in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*), at three different temperatures. Abstract ISFNF XIII, Florianópolis, Brazil, June 1-5th.
- Sigurgisladottir, S., C.C. Parrish, S.P. Lall & R.G. Ackman (1994). Effects of feeding natural tocopherols and astaxanthin on Atlantic salmon (*Salmo salar*) fillet quality. *Food Res. Int.* **27**, pp. 23–32.
- Skonberg, D.I., B.A. Rasco & F.M. Dong (1993). Effects of feeding high monounsaturated sunflower oil diets on sensory attributes of salmonid fishes. *J. Aquat. Food Prod. Technol.*, **2**, pp. 117–133.
- Spinelli, J. (1979). Preparation of salmonid diets containing zooplankton and their effect on organoleptic properties of pen-reared salmonids. In *Proceedings of the World Symposium on Finfish and Fishfeed Technology*. (Eds.) Halver, J.E. & K. Thiews, H. Heenemann, Berlin, pp. 383–392.
- Taylor R.G., S.O. Fjaera & P.O. Skjervold (2002). Salmon fillet texture is determined by myofiber-myofiber and myofiber-myocommata attachment. *Journal of Food Science* **67**: 2067–2071.

- Thomassen, M.S. & C. Røsjø (1989). Different fats in feed for salmon: Influence on sensory parameters, growth rate and fatty acids in muscle and heart. *Aquaculture*, **79**, pp. 129–135.
- Torgersen, J., E.O. Koppang, L.H. Stien, A. Kohler, M.E. Pedersen & T. Mørkøre (2014). Soft texture of Atlantic salmon fillets is associated with glycogen accumulation. Submitted Plos One.
- Torrissen, O.J., R.W. Hardy, K.D. Shearer, T.M. Scott & F.E. Stone (1990). Effects of dietary canthaxanthin and lipid level on apparent digestibility coefficients for canthaxanthin in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, **88**, pp. 351–362.
- Torstensen, B., J.G. Bell, G. Rosenlund, R.J. Henderson, I. Graff, D.R. Tocher, Ø. Lie & J.R. Sargent (2005). Tailoring of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) flesh lipid composition and sensory quality by replacing fish oil with a vegetable oil blend. *J Agric Food Chem.*, **53**, pp. 10166–10178.
- Torstensen, B.E., Ø. Lie & L. Frøyland (2000). Lipid metabolism and tissue composition in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.)- Effects of capelin oil, palm oil and oleic acid enriched sunflower oil as dietary lipid sources. *Lipids*, **35**, pp. 653–664.
- Torstensen, B.E., B. Ruyter, N. Sissener, T.K. Østbye, R. Waagbø, S.M. Jørgensen, E. Ytteborg, I. Rud, N. Liland, T. Mørkøre & J.E. Dessen (2013). Utredning: Effekter av endret fettsyresammensetning i fôr til laks relatert til fiskens helse, velferd og robusthet. FHF-rapport.
- Torstensen, B.E., L. Frøyland, R. Ørnsrud & Ø. Lie (2004). Tailoring of a cardioprotective muscle fatty acid composition of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed vegetable oils. *Food Chemistry*, **87**, pp. 567–580.
- Tyssandier, V., G. Choubert, P. Grolier & P. Borel (2002). Carotenoids, mostly the xanthophylls, exchange between plasma lipoproteins. *Int. J. Nutr. Res.* **72**, pp. 300–308.
- Waagbø, R., K. Sandnes, O.J. Torrissen, A. Sandvin & Ø. Lie (1993). Chemical and sensory evaluation of fillets from Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed three levels of N-3 polyunsaturated fatty acids at two levels of vitamin E. *Food Chem.* **46**, pp. 361–366.
- Waagbø, R., M.H.G. Berntssen, T. Danielsen, H. Helberg, A.L. Kleppa, T. Berg Lea, G. Rosenlund, S. Tvenning, S. Susort, V. Vikeså & O. Breck (2013). Feeding Atlantic salmon diets with plant ingredients during the seawater phase – a full-scale net production of marine protein with focus on biological performance, welfare, product quality and safety. *Aquacult. Nutr.*, **19**, pp. 598–618.
- Young, F.V.K. (1986). The chemical and physical properties by crude fish oils for refiners and hydrogenators. *Fish Oil Bulletin* **19**, p. 18.
- Ytrestøyl, T. & B. Bjerkeng (2007). Dose response in uptake and deposition of intraperitoneally administered astaxanthin in Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.) and Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) *Aquaculture*, pp. 179–191
- Ytrestøyl, T., G. Struksnæs, K.-A. Rørvik, W. Koppe, B. Bjerkeng, (2006). Astaxanthin digestibility as affected by ration levels for Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Aquaculture*, **261**, pp. 215–224.
- Ytrestøyl, T., T.S., Aas & T.E. Åsgård (2013). Norsk oppdrettslaks – en effektiv 40 åring. *Norsk Sjømat* **5**, pp. 22–24.
- Østbye, T.K., M. Kjær, A.M.B Rørå, B. Torstensen & B. Ruyter (2011). High n-3 HUFA levels in the diet of Atlantic salmon affect muscle and mitochondrial membrane lipids and their susceptibility to oxidative stress. *Aquaculture Nutrition*, doi: 10.1111/j.1365-2095.2009.00721.
- Åsli, M. & T.Mørkøre (2011). Dokumentasjon av råstoffegenskaper hos økologisk laks. Rapport 51/2011, Nofima, Ås.



ISBN 978-82-8296-185-1 (trykt)
ISBN 978-82-8296-186-8 (pdf)
ISSN 1890-579X