

MASTEROPPGAVE

AK305F – Master i havbruk

Erik Rørdal

Thomas Vian Pettersen

Benchmarking av fôrregimer til atlantisk laks (*Salmo salar*) - en sammenligning av fire kommersielle fôrprodusenter.

Dato: 15.08.2016

Forord

Denne masteroppgaven i havbruk på 60 studiepoeng har vi valgt å skrive sammen med 50% fordeling av poengene på hver av oss – noe som tilsvarer 30 poeng hver. Oppgaven er skrevet som en del av et «benchmarkingsforsøk» av fire fôrprodusenter i Norge i samarbeid med en lakseoppdretter i Nordland, og feltforsøk er gjennomført av, og ved, LetSea på Dønna. Prosjektleder har vært Stian Amble ved Nova Sea AS. Med benchmarkingsforsøk menes det at fôrprodusentenes anbefalte fôrregime med pulsering av funksjonelle fôr blir satt opp mot hverandre og analysert på en rekke parameter. Disse parameterne er blant annet tilvekst, slakteutbytte, dødelighet, makroskopisk tarmundersøkelse, kjemisk sammensetning i filet og objektiv fargemåling av atlantisk laks (*Salmo salar*) fra ca. 450 gram ved start til en sluttvekt som varierte mellom gruppene fra 4,4 kg til 5,4 kg.

Dette benchmarkingsforsøket er gjort i tilknytning til et konfidensielt prosjekt, og vi som studenter har ingen kjennskap til hvilke fôrprodusenter i Norge som er benevnt som A, B, C og D i oppgaven, og heller ingen kjennskap til innhold i de respektive fôrene som er benyttet i forsøket. Fôrprisene vi har fått er snittpriser for fôr til fisk under 1 kg og snittpriser for fôr til fisk over 1 kg – altså to snittpriser for hver fôrgruppe (A, B, C og D).

Vi vil rette en stor takk til Marit Bjørnevik og Mette Sørensen ved FBA (fakultetet for biovitenskap og akvakultur) ved Nord Universitet for råd og veiledning gjennom forsøksperioden til, og skriving av, denne masteroppgaven. Takk til Harald Aaker for innspill rundt økonomiske vurderinger.

Takk til Einar Skarstad Egeland (Nord Universitet) for hjelp og veiledning til gjennomførelse av analyser av astaxanthin og for behandling av analyser gjort i HPLC. Takk til Sylvie Bolla (Nord Universitet) for hjelp til gjennomføring og analysering av fettsyresammensetning i gasskromatografi (GC), samt systematisering av resultater i denne sammenheng. Takk til Anjana Palihawadana (Nord Universitet) for en hjelpende hånd til kjemiske analyser og generell veiledning og rådgivning på lab. Takk til LetSea for tilrettelegging av losji til oss ved uttak og den hyggelig imøtekommelsen, og en videre takk til Cecilia Campos Vargas og de øvrige medarbeiderne for hjelp i forbindelse med prøveuttak og tilsending av data.

Sammendrag

Fôr er en av de viktigste innsatsfaktorene i oppdrett av fisk, og alternativene er mange når det kommer til både produsenter av fôr og fôringsregimer. Funksjonelle fôr er noe som de siste årene har fått oppmerksomhet i den norske laksenæringen, og for oppdrettsaktørene øker utvalget av fôr til stadighet. Et godt fôr og fôrregime er viktig for at oppdrettsaktørene skal kunne utnytte de gitte produksjonsbegrensningene til det fulle, og dermed ha en mer lønnsom drift.

Benchmarking av fire kommersielle fôrprodusenter i Norge sine anbefalte fôrregimer (fôrgruppe A – D) med inkludering av funksjonelle fôr ble gjennomført med triplikater. Hensikten med forsøket var å se på om disse ulike fôrprodusentenes anbefalte fôrregime førte til ulikheter i vekst, tarmhelse og kvalitetsparametere, samt hva dette kan bety økonomisk. Fisken ble distribuert i 12 ulike forsøksmerder med forsøksstart juni 2015. Fisken ble deretter produsert frem til slakt april 2016. Det ble foretatt to mellomuttak, hvor det ble undersøkt vekt, kvalitet (slakteutbytte, kondisjonsfaktor, proteininnhold, fettinnhold, optisk fargemåling og astaxanthininnhold) og tarmhelse, og et sluttuttak hvor det i tillegg til parameterne ved mellomuttak ble undersøkt fettsyresammensetning og tekstur i filet. Det mest interessante funnet som ble gjort i dette forsøket var at fôrgruppe A og D hadde signifikant høyere vekt ved sluttuttak enn fôrgruppe B og C, hvor vektforskjellene mellom fôrgruppe D og fôrgruppe C var nesten 1 kg. Videre var det store forskjeller mellom gruppene når det gjelder tarmhelse, hvor fôrgruppe C utpekte seg som den fôrgruppen med klart dårligst tarmhelse, noe som kan være med å forklare lavere SGR, TGC og en trend til høyere FCR hos fôrgruppe C sammenlignet med de andre fôrgruppene. Fôrgruppe C utpekte seg også med lavere fettinnhold, samt en fettsyreprofil som utpekte seg i forhold til de andre fôrgruppene, hovedsakelig med lavere innhold av enumettede fettsyrer og høyere innhold av flerumettede fettsyrer. I tillegg skilte fôrgruppe C seg ut med høyere innhold av astaxanthin, samt en høyere a*-verdi ved optisk fargemåling, mens fôrgruppe D viste en trend til å ha en fastere tekstur i filet.

Abstract

Feed is one of the key inputs into the farming of fish, and the options are many when it comes to both manufacturers of feed and feeding regimes. Functional feeds are something that in recent years has gained attention in the Norwegian salmon industry. Feed and feeding regimes are important for aquaculture operators to exploit the given production constraints to the fullest, and thus have a more profitable operation.

Benchmarking of four commercial feed producers in Norway and their recommended feed regimes (diet A - D) with the inclusion of functional feed was completed with triplicates. The purpose of the experiment was to see if these various feed manufacturers recommended regimes led to differences in growth, gut health and quality parameters, and what this may mean economically. Fish were distributed in 12 different experimental cages with test start June 2015. The fish were then produced until harvesting in April 2016. It was performed two samplings during the experiment, where weight, quality parameters (slaughter yield, condition factor, protein content, fat content, optical color measurement and astaxanthin) and gut health were examined, and a final sampling where - in addition to the other parameters mentioned above - fatty acid composition and texture of the fillet were examined. The most interesting discovery made in this study was that diet A and D had significantly higher weight at the final sampling than diet B and C, whereas the weight differences between diet D and diet C was nearly 1 kg. Moreover, there were significant differences between the groups in terms of gut health, where diet C designated as the diet with clearly the worst gut health, which may help explain lower SGR, TGC and a trend to a higher FCR in diet C compared with the other diets. Diet C also stood out with a lower fat content, as well as a fatty acid profile that stood out compared to the other diets, substantially lower content of monounsaturated fatty acids and a higher content of polyunsaturated fatty acids. Additionally, diet C had a higher content of astaxanthin, and a higher a*-value by optical color measurement, while diet D showed a trend to have a firmer texture in the fillet.

Innholdsfortegnelse

FORORD	I
SAMMENDRAG	II
ABSTRACT	III
INNHOLDSFORTEGNELSE	IV
1. INNLEDNING	1
1.1 FÔRPRISER OG FÔRKOSTNAD	1
1.2 FÔRUTVIKLING	2
1.3 FUNKSJONELLE FÔR	3
1.4 PRODUKSJONSREGULERING.....	3
1.5 TARMHELSE	4
1.6 KVALITET PÅ FISK	4
1.6.1 <i>Innfarging i filet</i>	4
1.6.2 <i>Fettinnhold</i>	5
1.6.3 <i>Fettsyresammensetning</i>	5
1.6.4 <i>Tekstur</i>	5
1.7 SLAKTEUTBYTTE.....	5
2 MATERIAL OG METODE.....	6
2.1 FISK OG LOKALITET	6
2.2 FÔR	6
2.3 DAGLIG RØKTING	6
2.3.1 <i>Fôring</i>	6
2.3.2 <i>Dødfisk</i>	7
2.4 VEKST.....	7
2.4.1 <i>Spesifikk vekstrate (SGR)</i>	7
2.4.2 <i>VF3 (TGC)</i>	7
2.4.3 <i>Fôrfaktor (FCR)</i>	7
2.5 PRØVEUTTAK	8
2.6 MAKROSKOPISK TARMHELSEUNDERSØKELSE.....	8
2.7 SLAKTEDATA	9
2.8 FARGEMÅLING	9
2.9 TEKSTUR	9
2.10 KJEMISKE ANALYSER	10
2.10.1 <i>Homogenisering</i>	10
2.10.2 <i>Fett</i>	10
2.10.3 <i>Protein</i>	11

2.10.4	Fettsyrer	11
2.10.5	Astaxanthin	12
2.11	STATISTIKK.....	12
2.12	ØKONOMISKE ANALYSER.....	12
3	RESULTATER.....	13
3.1	VEKT	13
3.2	DØDELIGHET.....	13
3.3	FØROPPTAK.....	14
3.4	SGR.....	14
3.5	TGC.....	15
3.6	FCR	15
3.7	SLAKTEDATA	16
3.8	TARMHELSE	16
3.9	OBJEKTIV FARGEMÅLING	17
3.10	TEKSTUR	17
3.11	PIGMENT.....	18
3.12	PROTEIN.....	18
3.13	FETT	18
3.14	FETTSYRER.....	19
4	DISKUSJON.....	20
4.1	VEKST.....	20
4.2	SLAKTEDATA	22
4.3	FARGE OG ASTAXANTHININNHOLD.....	22
4.4	TEKSTUR	23
4.5	PROTEIN	23
4.6	ØKONOMISKE KONSEKVENSER	23
5	KONKLUSJON	24
6	REFERANSER	25
	VEDLEGG 1 – FØRSKIFTETABELL	30

1. Innledning

Norsk lakseoppdrett har utviklet seg til å bli svært viktig for norsk sjømatnæring. I 2010 var eksportverdien 31,3 milliarder, mens i 2015 var den økt til 47,6 milliarder NOK – noe som tilsvarer i overkant av 66 % av all norsk eksport av fisk (Statistisk Sentralbyrå, 2016). Dette betyr med andre ord at det har vært en økning på over 50 % i løpet av de fem årene mellom 2010 og 2015. Noe av dette skyldes økt produksjon, men i samme periode endret eksportprisen seg fra 39,6 NOK/kg til 46,1 NOK/kg for fersk oppdrettet laks (Statistisk Sentralbyrå, 2016). Til tross for stor verdiskapning for norsk økonomi har næringen utfordringer når det gjelder omdømme. Forurensing, miljøaspekter, villaks og arealbeslag er blant noen av dem. Når det gjelder næringen er det ikke bare omdømme som har skapt utfordringer. De siste årene har lus vist seg å bli et omfattende problem og har videre blitt en stor kostnadsdriver for den delen av produksjonen som befinner seg i åpne merder i sjø. Med dagens produksjonsregime (MTB) er det ulike tilnærminger for å gjøre produksjon mest mulig lønnsom. Herunder vil ulike tidspunkt for utsett, ulike størrelser ved utsett, ulike snittvekter ved utsett og snittvekter ved slakt være viktige faktorer i slike strategier.

Fôr har vært den største kostnadsdriveren gjennom hele utviklingen og fokuset på fôr har økt de siste årene. Dette har ført til at nye tilnærminger på hvordan man fôrer fisken gjennom ulike stadier har endret seg til å også innebære det man kaller for funksjonelle fôr utover de mest vanlige vekstfôrene som har vært det «normale» fôret i lang tid.

1.1 Fôrpriser og fôrkostnad

Siden tidlig i oppstarten av den norske laksenæringen har fokuset på fôret til laksen vært stor. Dette er fordi en av de viktigste innsatsfaktorene er nettopp fôr. Fôret har gått gjennom en drastisk utvikling (utdypes i 1.3 *Fôrutvikling*), og dette fører til økte kostnader når det gjelder forskning og utvikling hos fôrprodusentene. Dette har ført til økte fôrkostnader, noe som igjen har ført til et enda høyere fokus på fôr hos produsentene av laks. Én av de tingene produsentene av laks ser på når det kommer til fôr er fôrfaktor – en faktor som forteller hvor mange enheter fôr laksen må spise for å legge på seg én enhet vekt. Den mest brukte varianten her er det som kalles for *Økonomisk fôrfaktor*, og er det økonomiske målet på fôrfaktor, og forteller noe om hvor mye fôr som totalt sett har gått med i produksjonen. Her er det også mange andre faktorer som spiller inn, og som potensielt vil kunne øke denne uten at det trenger å ha noe med fôret i seg selv å gjøre. Eksempler på slike faktorer kan være dager med tapt fôring (avlusning, dårlig

vær, tekniske feil, menneskelige feil etc.) og dødelighet/svinn (sykdom, avlusning, dårlig smoltifisert fisk, rømming etc.). De siste årene har også fokuset på eget fôr til rensefisk økt, da rensefisk også vil spise av fôret til laksen hvis den foretrekker dette fremfor å spise lakselus som befinner seg på laksen (*Lønnsomhetsundersøkelse for laks og regnbueørret*, 2015).

1.2 Fôrutvikling

De siste 20 årene har innholdet i fôr til laks endret seg drastisk – fra høyt innhold av marine råvarer til høyt innhold av vegetabiliske råvarer (Ytrestøyl et al., 2015). Når det kommer til innhold av energibærende næringsstoffer som fett, protein og karbohydrat, har ikke andelen av dette endret seg i like stor grad. Andelen stivelse har variert mellom 8,4 % og 11,2 %, protein mellom ca. 55 % og ca. 65 % og fett mellom 24 % og 31 % (Ytrestøyl et al., 2015). Ved økt innhold av vegetabiliske råvarer som for eksempel soya, raps, erter og hvete, endres sammensetningen av de ulike næringsstoffene. For eksempel vil fett fra soya og raps bidra til en mye lavere andel av fettsyrer som EPA og DHA i fôret fordi planteoljer ikke inneholder disse essensielle fettsyrene. Bruk av planteproteinkilder har også noen begrensninger fordi aminosyresammensetningen er annerledes enn i fiskemel og andre marine råvarer (Waagbø et al., 2013). Eksempelvis vil lysin og metionin komme i underskudd ved bruk av høy andel av planteprotein i fôret. Fôrselskapene kompenserer imidlertid manglende aminosyrer i råvarene med bruk av syntetiske aminosyrer. En rekke ulike karbohydrater og andre molekylkomplekser er ansett som antinæringsstoffer for Atlantisk laks, og vil på denne måten hindre opptak av andre næringsstoffer. En relativt høy andel av disse antinæringsstoffene blir fjernet ved behandling av råvaren, men det gjenstår fortsatt en liten andel av slike antinæringsstoffer i råvarer som brukes i fiskefôr (De Santis et al., 2015; Øverland et al., 2009).

Ved å endre råvarene i fôret til Atlantisk laks vil man også endre næringsstoffene fisken får i seg. Dette feltet har blitt forsket mye på, men det er vanskelig å komme til konklusjoner som både er biologisk og økonomisk forsvarlige. Utdfordringen ligger i hvordan man skal finne de billigste ingrediensene som også gir det beste biologiske resultatet – målt som god vekst og helse, samt god fôrutnyttelse.

Et standard vekstfôr til laks inneholder i dag omtrent 30 % marine råvarer og 70 % vegetabiliske råvarer. Av de marine råvarene er omtrent 10 % marine oljer og 20 % marint protein. Vegetabiliske kilder for protein og karbohydrat står for ca. 50 %, mens vegetabiliske oljer står for omtrent 20 %. Utover dette blir det tilsatt fargepigment (astaxanthin), vitaminer og

mineraler for å møte de ernæringsmessige behovene atlantisk laks har (Laksefakta, 2016; Pratoomyot et al., 2010).

1.3 Funksjonelle fôr

De ulike fôrprodusentene av fôr til Atlantisk laks har lagt ned store ressurser i utvikling av fôr med optimal fôrsammensetning for å fremme rask vekst, god fôrutnyttelse og god helse hos fisken. Dette har blant annet ført til utviklingen av det som betegnes for funksjonelle fôr. Dette kan for eksempel være fôr med høyt innhold av immunostimulerende næringsstoffer (vitaminer, mineraler, ulike aminosyrer etc.), immunostimulanter som for eksempel nukleotider og β -glukaner, eller prebiotika eventuelt probiotika. β -glukaner er karbohydrater utvunnet fra cellevegger hos encellede organismer som for eksempel gjær. Slike produkter har i en årrekke blitt benyttet i akvakultur for å øke motstandsdyktigheten mot infeksjoner av bakterier og virus. Probiotika er definert som levende mikroorganismer med ulike fordelaktige karakteristikk, mens prebiotika er definert som komponenter som er ufordøyelige for fisken, men som kan omsettes av bakterier i tarmen. Prebiotika skal bidra til å selektere frem bakterier i tarmen som er gunstige for fisken og som dermed bidrar til å styrke fiskens helse (Ringø et al., 2014).

Alt dette har ført til en langt mer komplisert hverdag for produsentene av Atlantisk laks når det kommer til valg av fôr. Produsentene av Atlantisk laks må velge mellom flere ulike vekstfôr hos de ulike fôrprodusentene, og videre velge om det skal *pulses* med funksjonelle fôr i bestemte perioder, som for eksempel før en kald periode eller før og etter håndtering av fisk (avlusning, sortering, flytting etc.). Mye forskning er lagt ned på dette med virkningen av funksjonelle fôr (Abid et al., 2013; Meena et al., 2013; Ringø et al., 2014), men vil det lønne seg i det store bildet – både økonomisk og biologisk? Og hvis det vil gi fordeler, skal man legge mest vekt på det ene eller det andre? I produksjon av fisk vil det bestandig være slik at økonomi og biologi går hånd i hånd, og hvordan man skal gå frem for å sikre dette vil alltid være en utfordring.

1.4 Produksjonsregulering

Fra et økonomisk perspektiv vil det være slik at desto flere kilo laks en produserer, desto flere kilo har man til å fordele de faste kostnadene på. Myndighetene har imidlertid lagt begrensning på hvor mye man kan produsere i forbindelse med tildeling av konsesjon (akvakulturtillatelse). Én konsesjon har normalt en maksimal tillatt biomasse (MTB) på 780 tonn, mens i Troms og Finnmark er MTB 920 tonn per konsesjon – blant annet på grunn av lavere sjøtemperaturer.

Dagens regime har ingen regulering av hvor mye laks en har lov å slakte eller produsere, men er kun en regulering på hvor mange tonn man til enhver tid har lov til å ha stående i sjøen og antall fisk en kan ha i hver merd. Det vil derfor være viktig å ha høy tilvekst, slik at når man ligger oppunder taket på MTB vil det være «riktig» å hente ut fisk tilsvarende tilveksten en har totalt i selskapet. Dette vil være maksimal utnyttelse av MTB, og på denne måten henter man ut mest mulig til enhver tid (Nystøl et al., 2013).

Tilvekst varierer med temperatur og temperatur varierer med sesong og årstid. Dette er årsaken til de sesongvariasjonene man ser i tilbudet av laks – og dermed lakseprisen. Dette er da videre en funksjon av en nokså stabil etterspørsel. Dette er også årsaken til de sesongvise permitteringene man kan se ved lakseslakterier i Norge (Nystøl et al., 2013).

I 2016 ble det innført en prøveordning for å jevne ut denne variasjonen gjennom året når det gjelder tilbud og etterspørsel av laks. Hver oppdretter bestemmer selv om de ønsker å være med på denne prøveordningen mot et vederlag per konsesjon. Denne ordningen tillater høyere biomasse de varmeste månedene, og tilhørende lavere tillatt biomasse de kalde månedene – den såkalte *Bremnesmodellen* (Fiskeridirektoratet, 2016).

1.5 Tarmhelse

Endringer i fiskens diett og bruk av mer plantebaserte dietter har ført til dårligere tarmhelse hos fisken. Det har derfor blitt et betydelig økt fokus på tarmhelse hos atlantisk laks de siste årene. Kvaliteten av råvarer er viktig for å unngå problemer med fordøyelse eller tarmhelse hos laks. Det finnes mange publikasjoner på at bruk av soyamel gir tarmbetennelse ved innblanding på mer enn 20 % i et fôr. Fôrindustrien har derfor i dag gått over til å bruke et soyaproteinkonsentrat hvor antinæringsstoffer som forårsaker tarmbetennelsen i hovedsak er fjernet (De Santis et al., 2015; Øverland et al., 2009). Tarmhelsen kan ha betydning for både vekst, helse og økonomiske faktorer, noe som betyr at det vil være viktig å overvåke dette (Krogdahl et al., 2010; Król et al., 2016).

1.6 Kvalitet på fisk

1.6.1 Innfarging i filet

Atlantisk laks er en fiskeart med rød filetfarge, og dermed er dette noe som blir målt som et kvalitetsaspekt. Fisk som ikke har god nok rødfarge blir ansett som «blek», og har dermed ikke like god kvalitet som fisk med god rødfarge. Dette betyr at man ikke får den samme prisen ved

salg, noe som igjen vil minke salgsinntekt. En lavere salgsinntekt er helt klart noe som produsentene vil unngå, og dermed er det et sterkt ønske blant produsentene om å få god nok rødfarge i fiskefileten. Det har blitt vist at fisk som ikke føres til metning har bedre opptak av astaxanthin enn fisk som føres til 100 % metning, og det er videre blitt estimert at et lavere fôrinntak førte til høyere innhold av astaxanthin i fiskemuskelen (Ytrestøyl et al., 2006).

1.6.2 Fettinnhold

Vekst hos laks er viktig for fettinnhold. Dette er vist ved at høy utfôring kontra lav utfôring gir høyere fettinnhold i laks (Johnsen et al., 2011a). Fettinnhold er også viktig med tanke på slakteutbytte og energiinnhold i laks som et konsumentprodukt.

1.6.3 Fettsyresammensetning

Fettsyresammensetning er et viktig aspekt når det gjelder sjømat – spesielt med tanke på langkjedete omega 3-fettsyrer – da disse spiller en viktig rolle for human ernæring. Rett fettsyresammensetning i fôret har også vist å være viktig for opptak av astaxanthin, hvor det for eksempel er vist trender hvor lavere andel EPA og DHA i fôret fører til lavere opptak av astaxanthin (Sissener et al., 2016).

1.6.4 Tekstur

Tekstur og hardhet i fiskekjøtt er et kvalitetsaspekt som man lett kan legge merke til når man spiser fisk – og kanskje spesielt hvis man spiser fisken rå. Det er ikke ønskelig at fisken hverken er for hard eller for myk da dette kan ødelegge opplevelsen til forbrukeren. Hardhet og tekstur kan styres i en viss grad ved hjelp av fôr og fôringsregimer frem til slakt (Johnsen et al., 2011a; Larsson et al., 2014).

1.7 Slakteutbytte

Slakteutbytte er et mål på hvor stor andel av hel fisk som er igjen etter slakt, og er et viktig punkt når det kommer til utnyttelse av laksen. Høy vekt på innvoller vil gi lavere slakteutbytte, noe som igjen gir lavere salgsinntekter. Her kan veldig små forskjeller bety mye økonomisk, da 1 % mindre slakteutbytte betyr mer enn 1 % i lavere salgsinntekter. Slakteutbytte kan blant annet påvirkes av ulike fôrregimer før slakt (Einen et al., 1999).

2 Material og metode

2.1 Fisk og lokalitet

Lokaliteten som ble benyttet er forskningsstasjonen LetSea (tidligere Helgeland Havbruksstasjon) sin lokalitet på Solfjellsjøen i Dønna kommune på Helgeland (66°06'41.7"N, 12°29'18.7"E). Fisken som er benyttet er produsert av Sundsfjord Smolt og satt ut ved 65g 20. oktober 2014. Den ble produsert frem av LetSea frem til 450g ± 40g. Deretter ble den randomisert re-distribuert i 12 merder (5 x 5 x 5 meter) 1. juni 2016 som anvist i figur 1. Det var 350 ± 5 fisk i hver merd. Fisken ble fôret frem til forsøket ble avsluttet 13. april 2016.

101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	Bank 1	Bank 2	Bank 3	Bank 4
201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228				
301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	Bank 5	Bank 6	Bank 7	Bank 8
401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428				
																		CTD													CTD

Figur 1 – Merdene markert med gult er merdene brukt i forsøket.

2.2 Fôr

Fôret som ble benyttet i forsøksperioden ble levert av fire ulike fôrprodusenter i Norge, alle med ulike fôringsregimer med pulsering av funksjonelle fôr. Disse er benevnt i oppgaven som fôrgruppe A, B, C og D. Oversikt over pelletstørrelser og pulsering av funksjonelle fôr ligger som vedlegg I.

2.3 Daglig røkting

2.3.1 Fôring

Hver av de fire fôrprodusentene hadde før forsøksstart satt opp sine respektive fôrregimer som angir bytte av pelletstørrelser og pulsing av eventuelle funksjonelle fôr (vedlegg I). Alle merder ble fôret til metning med Betten fôrautomat S1 mini (Betten Maskinstasjon, Vågland, Norge). Eventuelt overskuddsfôr ble samlet opp og veid en gang i uken. Oppsamlingen ble foretatt med Liftup (Liftup, Eikelandsosen, Norge). For å omregne fra våt vekt til tørr vekt ble det brukt en omregningsfaktor laget av LetSea, anvist i tabell 1.

Tabell 1 – Oversikt over omregningsfaktor benyttet fra våt til tørr vekt for ulike pelletstørrelser.

Pelletstørrelse	1	2	3	4	5	6
A	0,90	0,90	0,76	0,88		
B	0,90	0,90	0,90	0,83	0,85	0,84
C	0,90	0,90	0,90	0,83	0,90	
D	0,90	0,90	0,72	0,90	0,81	

2.3.2 Dødfisk

Dødfisk ble tatt opp daglig ved bruk av liftupsystem fra Liftup (Liftup, Eikelandssosen, Norge), telt og biomassen veid.

2.4 Vekst

2.4.1 Spesifikk vekstrate (SGR)

SGR (engelsk: *Specific Growth Rate*), spesifikk vekstrate, er et mål på hvor mye fisken vokser per dag i prosent av kroppsvekt. Modellen tar ikke høyde for temperatur. Beregningene ble gjort ved bulkveiging av all fisk ved forsøksstart og ved forsøksslutt.

$$SGR = \left(\left(\frac{\text{sluttvekt}}{\text{startvekt}} \right)^{\frac{1}{\text{dager}}} - 1 \right) \times 100$$

2.4.2 VF3 (TGC)

Vekstfaktor 3 (engelsk: *Thermal Growth Coefficient*) er et mål på hvor fort fisken vokser og tar høyde for temperatur. Beregningene ble gjort ved bulkveiging av all fisk ved forsøksstart og ved forsøksslutt.

$$VF3 = \frac{(\sqrt[3]{\text{sluttvekt}} - \sqrt[3]{\text{startvekt}})}{\text{døgngradsum}} \times 1000$$

2.4.3 Fôrfaktor (FCR)

Fôrfaktor (engelsk: *Feed Conversion Rate*) er hvor mye fisken vokser per kg fôr fisken får. Beregningene ble gjort ved bulkveiging av all fisk ved forsøksstart og ved forsøksslutt samt biomasse til uttak, og følgende formel er benyttet:

$$FCR = \frac{\text{fôropptak}}{BM_{\text{slutt}} - BM_{\text{start}} + BM_{\text{uttak}}}$$

2.5 Prøveuttak

Prøveuttak ble gjort på følgende datoer: første uttak uke 37, 2015 (8.-10. september), andre uttak uke 7 2016 (16.-17. februar) og ved avslutning uke 15, 2016 (12.-13. april). Ved hvert uttak ble samtlige merder bulkveid. Merdene ble delt i to og all fisk samlet i det ene rommet. Deretter ble ti og ti fisk håvet opp og veid, for så å bli losset ut i det andre rommet. Til slutt ble total vekt dividert med antall individer, og snittvekt beregnet.

For kvalitetsanalyser, taranalyser, veiing og måling ble 10 fisk tatt ut fra hver merd ved hvert uttak. Fisken ble håvet opp og bedøvd med Finquel (Western Chemical Inc., Washington, USA) bløgget og fikk blø ut i sjøvann. Dosen med bedøvelse var i henhold til anbefalinger i Finquel datablad. Rund vekt ble notert før fisken ble sløyd. Innvoller ble tatt ut i sin helhet, og mage, tarm og lever gikk til makroskopisk tarmhelseundersøkelse. Sløyd vekt ble registrert før fisken ble håndfiletert. Fra høyre filet ble det skjært ut Norwegian Quality Cut (NQC) uten skinn og ben til fargeanalyse kjemiske analyser og tekstur. Fargeanalyse ble foretatt umiddelbart etter filetering. Samleprøver med 10 stk NQC ble lagret på is og transportert med hurtigruten som kjølevarer fra Sandessjøen til Bodø etter endt prøveuttak. Dagen etter ble prøvene vakuumpakket og lagret på -40 °C frem til analyse i uke 14, 2016.

2.6 Makroskopisk tarmhelseundersøkelse

Etter sløyning ble en makroskopisk tarmhelseundersøkelse utført på hele tarmsystemet. Undersøkelsen ble utført av veterinær fra LetSea ved at tarmen ble klipt opp og brettet ut. Videre ble det gjort vurderinger av lever med hensyn på farge. Magesekk, fortarm, midttarm og baktarm vurdert med hensyn på betennelse i tarmvegg og irritert slimhinne, sprukken tarmvegg og grad av hevelse. I tillegg ble flytefeces (FF) vurdert. Alle scoringer er fra 0-3 hvor 0 er normal og 3 er store forandringer eller stor grad av ovennevnte hensyn. Til slutt ble det gjort en totalvurdering basert på summen av alle parameter. Total tarmscore består av summer av score fra blindsekker og midttarm. Totalvurderingen inneholder lever, betennelse, blindsekker, midttarm og total tarmscore samt flytefeces (FF). (Brunvold & Hanche-Olsen, 2013). Tabell 2 viser en oversikt.

Tabell 2 – Tarmhelse. Total tarm er sum av blindsekker og midttarm.

	Lever	Betennelse	Blindsekker	Midttarm	Total tarm	FF*
Mild	0-1	0-3	0-5	0-2	0-7	0-3
Moderat	1-2	4-6	6-10	3-4	8-14	4-6
Alvorlig	2-3	7-9	11-15	5-6	15-21	7-9

* FF = flytefeces

2.7 Slaktedata

Etter forsøkets slutt ble det foretatt en industritest, hvor fisken ble sultet i fem dager før slakting. 15 fisk fra hver merd ble slaktet manuelt og rund vekt, sløyd vekt og lengde ble notert. Nøkkeltall for slaktedata var sløyd vekt, slakteutbytte, filetutbytte og kondisjonsfaktor og ble beregnet ut fra følgende formler:

$$\text{Sløyd vekt} = \text{rund vekt} - \text{involler}$$

$$\text{Slakteutbytte} = \frac{\text{sløyd vekt}}{\text{rund vekt}}$$

$$\text{Filetutbytte} = \frac{\text{vekt av begge filetsider}}{\text{rund vekt}}$$

$$K - \text{faktor} = \frac{\text{rund vekt}[g] * 100}{\text{lengde}[cm]^3}$$

2.8 Fargemåling

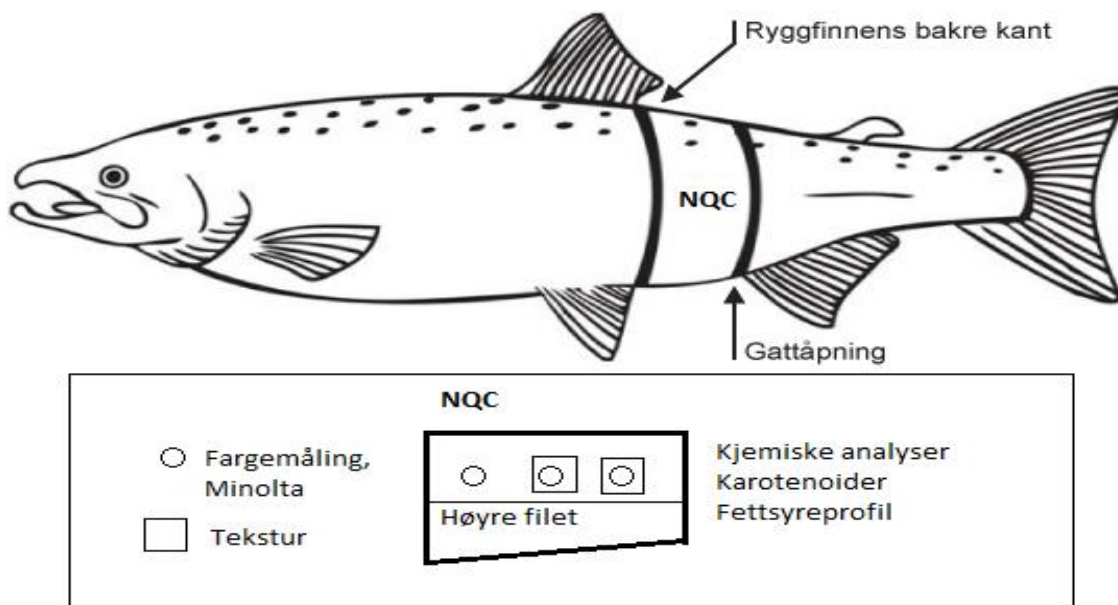
Det ble foretatt en objektiv fargemåling individuelt på fileten fra 10 laks fra hver merd ved alle uttak rett etter filetering med Minolta Chroma meter CR00 (Konica Minolta, Osaka Japan) kalibrert mot en hvit og svart standard. Målingene ble foretatt på tre punkter orientert i anterior-posterior retning over sidelinjeorganet på høyre NQC (se figur 1). Tristimulus L*a*b*-metode ble brukt for å definere farge. L*-verdien representerer grad av lys fra svart til hvit (0-100), positive a*-verdier representerer rødfarge og positive b*-verdier representerer gul-farge.

2.9 Tekstur

Teksturmålingene ble gjort individuelt på 10 stk NQC fra hver merd fra siste uttak, og ble gjort med en Texture Analyser, modell TA-XT2 PLUS (Stable Micro Systems, Haslemere, England). Teksturmålingene ble foretatt ved å skjære ut to muskelblokker (2,5 x 2,5 x 0,9 cm) av høyre NQC (se figur 1) og analysert ved å kjøre et stempel 30 % ned i utskjæringen med en hastighet på 1 mm/s. Maksimal kraft og totalt arbeid utført (målt i Newton) ble registrert. Se figur 2.

2.10 Kjemiske analyser

Alle prøvene ble analysert for innhold av protein, fett, astaxanthin og fettsyrer. Det var 12 samleprøver fra hvert prøveuttak og hver samleprøve inneholdt 10 stk NQC fra en merd. I forkant av analysene ble samleprøvene opprint og homogenisert. Alle prøver ble utført med duplikater. Se figur 2 for prøveområde.



Figur 2 – Prøveområde for kjemiske analyser, tekstur, karotenoider, fettsyreprofil og fargemåling.

2.10.1 Homogenisering

Prøvene ble oppdelt i mindre biter og kjørt gjennom en foodprosessor 2096 Homogenizer (Foss Tecator AB, Hoganas, Sverige) i 2 x 20 sekunder. Deretter ble prøvene overført til to plastposer med lukkefunksjon. En pose for å bruke til analyse og den andre som reserve som umiddelbart ble fryst ned på -40 °C.

2.10.2 Fett

Fettinnholdet ble bestemt ut fra Norsk Standard NS 9402 for analyse av fettinnhold i laks. Metoden går ut på å ekstrahere ut fett ved hjelp av etylacetat og mengden fett ved å veie inndampede alikvoter av løsningen.

10 ± 0,5 g prøvemateriale ble kvernet sammen med 20 gram vannfri natriumsulfat (Na₂SO₄) til en homogen masse og overført til 100 ml glass med lokk. Glasset ble deretter tilsatt 50 ml etylacetat, og satt til resting på et ristebord i 60 minutter. Etter resting ble innholdet i ett og ett glass filtrert gjennom et filterpapir (31 – 50 µm, Schleicher & Scül) over i en glasskolbe, og videre ble 20 ml fra hvert glass pipettert med en glasspipette over i fordampningsskåler som hadde blitt veid og merket på forhånd. Deretter ble fordampningsskålene plassert over et

dampbad til etylacetaten hadde fordampet. Etter fordampning ble skålene plassert i en ovn som holdt 105 °C for å fordampe bort eventuelle rester av etylacetat og vann. Etter 15-20 minutter ble skålene tatt ut av ovnen og plassert i en desikkator for å kjøle ned prøvene uten å tilsette fuktighet. Når skålene med prøvene hadde nådd romtemperatur var disse klar for siste veiing. Fettinnhold (g) og fettprosent (%) ble beregnet ut fra følgende ligninger, henholdsvis, hvor 10300 er en konstant faktor, mens 40 – 2,17 er en kalibrert faktor:

$$\text{Fettinnhold (g)} = \text{fordamningsskål med fett} - \text{tom fordamningsskål}$$

$$\text{Fettinnhold (\%)} = \frac{10300 \times \text{fettinnhold (g)}}{40 - 2,17 \times \text{fettinnhold (g)} \times \text{prøvevekt (g)}}$$

2.10.3 Protein

For å bestemme innholdet av protein i prøvene ble det brukt den automatiserte Kjeldahl-metoden. Metoden går ut på å måle innholdet av nitrogen i en prøve for så å bruke en omregningsfaktor (6.25) for å kalkulere innhold av protein fra innhold av nitrogen.

1 ± 0,0001 g ble veid inn i et nitrogenfritt veieskip (Whatman, GmbH, Germany). Veieskipet med prøven ble overført til Kjeldahl-rør og Kjeltabs som inneholder kopparsulfat og kaliumsulfat og 15 ml konsentrert svovelsyre ble tilsatt. Prøvene ble varmet opp til 420 °C i 45 minutter og deretter kjølt ned til romtemperatur. Kjeltec-røret ble så ført inn i Kjeltec auto 2300 analyser (Foss Tecator AB, Hoganas, Sweden) for automatisk analyse av proteininnhold etter prøvevekt ble justert på analysemaskinen.

2.10.4 Fettsyrer

For å analysere forholdene mellom fettsyrer i prøvene ble det brukt GC (Gass kromatograf) (SCION 436 GC, Scion Instruments, Freemont, USA). 0.1 ± 0.01 g ble veid inn rett fra fryst tilstand og inn i et prøverør. Deretter ble det tilsatt destillert vann slik at totalt vanninnhold blir 1 ml, og videre tilsatt 2 ml metanol og 1 ml kloroform før det ble homogenisert i 60 sekunder. Deretter ble det tilsatt 1 ml destillert vann og homogenisert i 30 sekunder før det til slutt ble tilsatt 1 ml kloroform og homogenisert i 30 sekunder. Deretter ble prøvene sentrifugert ved 1400 RPM ved 4 °C. Etter sentrifugering ble laget med fettsyrene (det nederste laget) pipettert over i nye rør. Herfra ble det pipettert 1,0 ml over i nye merkede rør. Videre ble metylering gjort i henhold til prosedyre beskrevet av Metcalfe et al. (1966).

2.10.5 Astaxanthin

HPLC (high performance liquid chromatography) (Agilent 1100 Series HPLC, Agilent Technology, Waldbronn, Tyskland) ble brukt for å analysere innhold av astaxanthin.

5 ± 0.5 g homogenisert fiskemasse ble veid inn rett fra fryst tilstand. Omtrent 20 ml aceton ble tilsatt og blandingen ble ristet før den ble flushet med nitrogen-gass. Deretter ble prøvene lagret på -20 grader C i 24 timer. Etter 24 timer ble mest mulig veske og minst mulig fisk helt over i et nytt glass. Det nye glasset ble flushet med nitrogen-gass igjen og det gamle glasset ble tilsatt nye 20 ml aceton før det ble flushet med nitrogen-gass. Begge glassene ble deretter fryst ned igjen på -20 grader C i 24 timer. Dette ble gjentatt tre ganger. Den tredje gangen ble alt filtrert i det gamle glasset og over i det nye gjennom Sintered glass filter for å få med mest mulig. Videre ble prøven overført til rundkolber og det ble tilsatt 50 ml etanol og 50 ml benzen, før det ble festet til en roterende vakuumbdamper. Når mesteparten av vann og løsemiddel var fordampet ble prøven for over i en spisskolbe for ytterligere fordamping. Når alt vann var fordampet ble prøven fortynnet med aceton til det var totalt 5 ml. 1 ml ble pipettert over i et prøverør tilpasset HPLC-maskinen for analyse.

2.11 Statistikk

For å analysere statistikk ble programvaren R Studio (R Foundation for Statistical Computing, Wien, Østerrike) benyttet. Tester brukt for å analysere normalitet og homogen varians var henholdsvis Shapiro Wilk og Bartlett's test. For å finne ut om fôringsgruppene ga forskjeller med hensyn på vekst og kvalitet ble dataene analysert med en-veis ANOVA. Når signifikante forskjeller ble påvist ble Tukey HSD brukt for å finne hvor forskjellene lå. Et signifikansnivå på $p < 0,05$ ble benyttet. Alle data er presentert som gjennomsnittsverdier ± standardavvik i figurer og tabeller.

2.12 Økonomiske analyser

Tabell 3 viser gjennomsnittlige fôrpriser fra de respektive fôrgruppene (A, B, C og D), hvor beregning av gjennomsnittlig fôrpris kg^{-1} totalt er gjort ved vekting med hensyn til benyttet fôrmengde på de to ulike oppdelingene (fôr til fisk < 1 kg og fôr til fisk > 1 kg).

Tabell 3 – Oversikt over fôrpriser for de fire ulike fôrgruppene.

	A	B	C	D
Gjennomsnittlig fôrpris kg^{-1} til fisk < 1 kg	kr 13,23	kr 11,68	kr 11,49	kr 12,17
Gjennomsnittlig fôrpris kg^{-1} til fisk > 1 kg	kr 12,29	kr 10,84	kr 11,04	kr 11,20
Gjennomsnittlig fôrpris kg^{-1} totalt	kr 12,35	kr 10,98	kr 11,06	kr 11,26

3 Resultater

Alle resultatene er presentert med tekstforklaring og beskrivelse ovenfor en tabelloversikt med verdier for gjennomsnitt \pm standardavvik samt p-verdier (ANOVA). Ulik hevet bokstav angir signifikante forskjeller. Resultatene er delt opp i underkapitler som hver for seg tar for seg ulike parametere.

3.1 Vekt

Vektutviklingen på de ulike fôrgruppene (A, B, C og D) er presentert i tabell 4. Ved start var alle fôrgruppene signifikant forskjellige fra hverandre ($p = 0,02$). Ved uttak 1 var vekten på fisken som fikk fôrgruppe D signifikant høyere enn B og C ($p = 0,02$). Ved slutt hadde fisken som fikk fôrgruppe A og D signifikant høyere vekt enn fisken som fikk fôrgruppe B og C ($p = 0,04$).

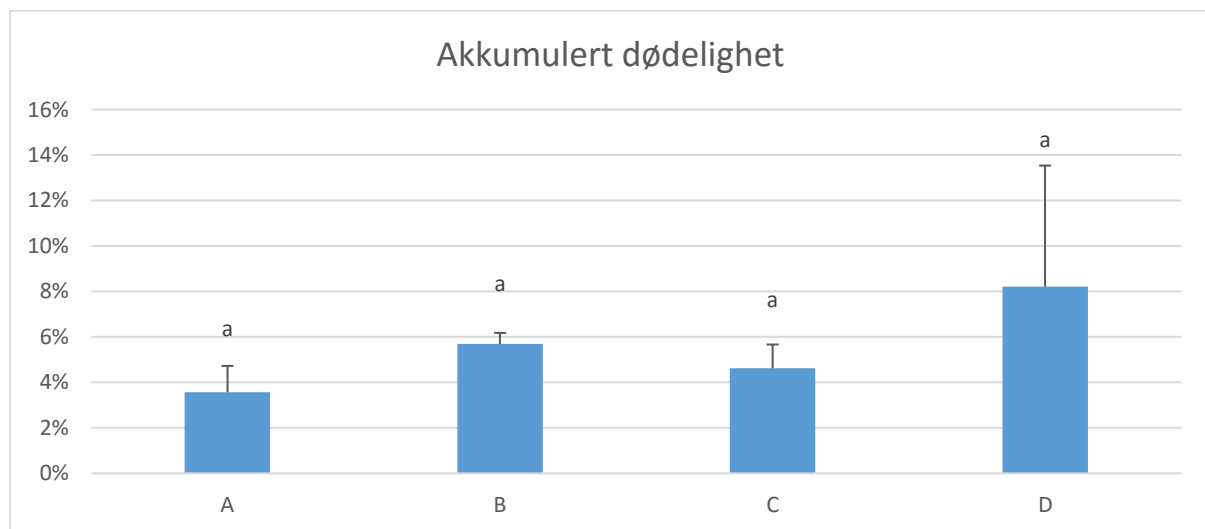
Tabell 4 - Vektutvikling angitt i antall gram.

	A	B	C	D	p-verdi ANOVA
Start	414,3 \pm 2,8 ^a	400,8 \pm 4,7 ^b	449,6 \pm 3,6 ^c	474,5 \pm 2,1 ^d	0,02
Uttak 1	1449,0 \pm 35,9 ^{ab}	1344,4 \pm 15,8 ^a	1406,9 \pm 31,0 ^a	1546,9 \pm 48,2 ^b	0,01
Slutt	5202,5 \pm 95,0 ^a	4762,7 \pm 66,2 ^b	4479,5 \pm 77,0 ^b	5443,8 \pm 224,0 ^a	0,04

3.2 Dødelighet

Akkumulert dødelighet fra start til slutt for de ulike fôrgruppene er presentert i figur 3.

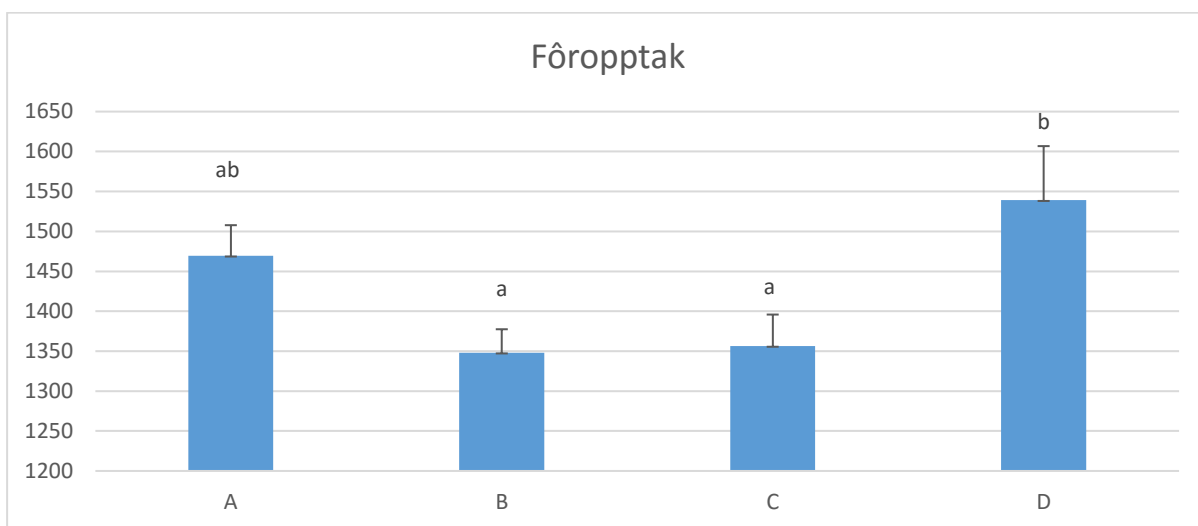
Det var ingen signifikante forskjeller mellom fôrgruppene (A, B, C og D) ($p > 0,05$).



Figur 3 – Akkumulert dødelighet fra start til slutt, presentert som søyler med «whiskers» som angir standardavviket innad i fôrgruppen og topp på søyle som angir gjennomsnitt.

3.3 Fôropptak

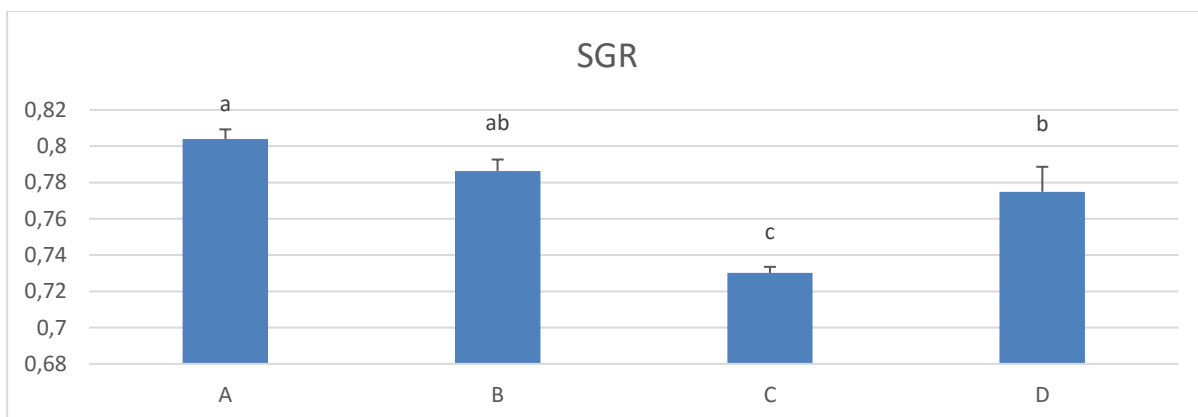
Figur 4 viser totalt fôropptak gjennom hele forsøket for de ulike fôrgruppene. Høyeste og laveste fôropptak er henholdsvis fôrgruppe D, $1539 \pm 67,7$ kg, og fôrgruppe B, $1348 \pm 29,3$ kg. Fôrgruppe D har signifikant høyere fôropptak enn B og C ($p = 0,02$). Fôrgruppe A har høyere totalt fôropptak enn B og C og lavere totalt fôropptak enn fôrgruppe D, men her er ingen signifikante forskjeller.



Figur 4 – Akkumulert fôropptak fra start til slutt, presentert som søyler med «whiskers» som angir standardavviket innad i fôrgruppen og topp på søyle som angir gjennomsnitt.

3.4 SGR

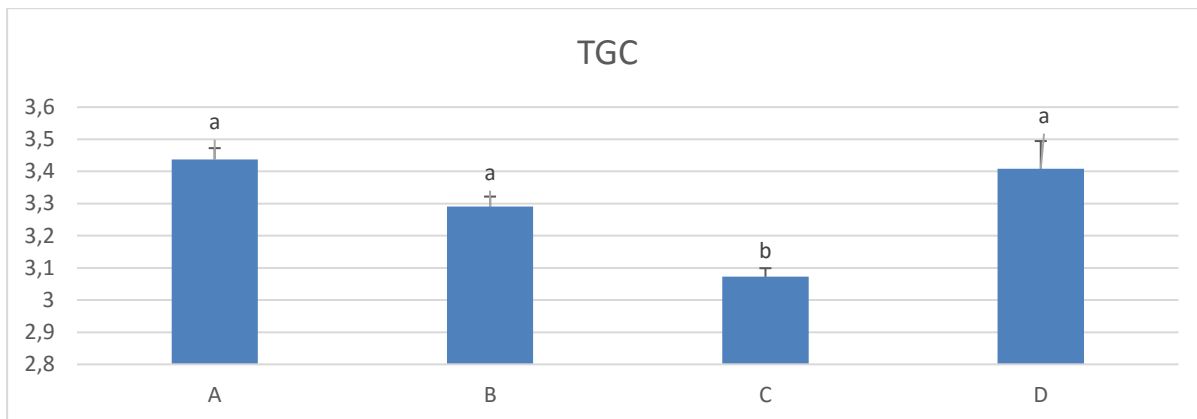
Akkumulert SGR fra start til slutt for de ulike fôrgruppene er presentert i figur 5. Fôrgruppe C hadde en signifikant lavere SGR enn fôrgruppe A, B og D ($p = 0,03$). Fôrgruppe A utmerker seg som den fôrgruppen med høyest SGR, og er signifikant høyere enn både fôrgruppe C og D (henholdsvis $p < 0,01$ og $p = 0,03$).



Figur 5 – Akkumulert SGR fra start til slutt, presentert som søyler med «whiskers» som angir standardavviket innad i fôrgruppen og topp på søyle som angir gjennomsnitt.

3.5 TGC

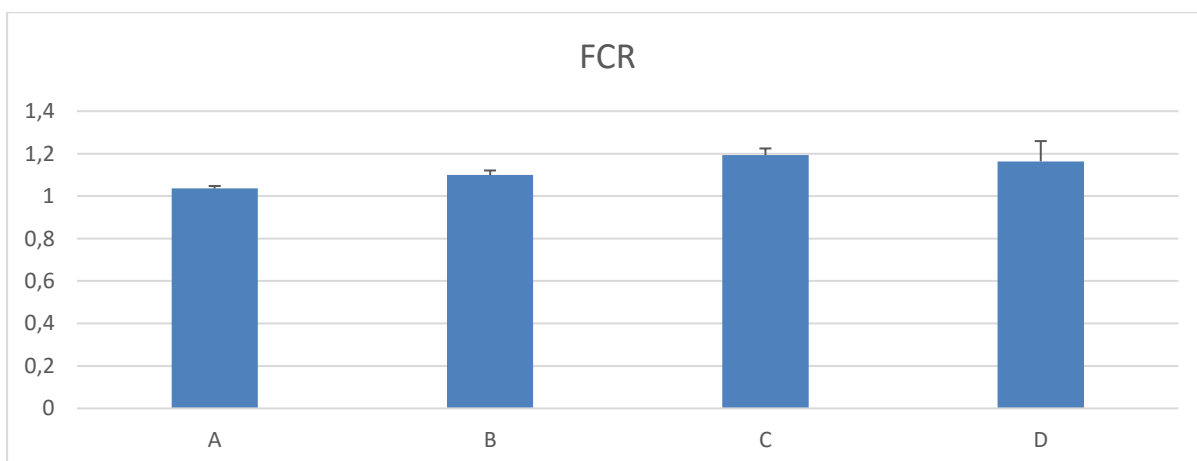
Akkumulert TGC fra start til slutt for de ulike fôrgruppene er presentert i figur 6. Fôrgruppe C hadde en signifikant lavere TGC enn de resterende fôrgruppene ($p = 0,01$), mens det ikke var noen signifikante forskjeller mellom fôrgruppe A, B og D.



Figur 6 – Akkumulert TGC fra start til slutt, presentert som søyler med «whiskers» som angir standardavviket innad i fôrgruppen og topp på søyle som angir gjennomsnitt.

3.6 FCR

Akkumulert FCR fra start til slutt for de ulike fôrgruppene er presentert i figur 7. Det var ingen signifikante forskjeller mellom fôrgruppene, men det er antydninger til at fôrgruppe A hadde lavest FCR, mens fôrgruppe C hadde høyest FCR.



Figur 7 – Akkumulert FCR fra start til slutt, presentert som søyler med «whiskers» som angir standardavviket innad i fôrgruppen og topp på søyle som angir gjennomsnitt.

3.7 Slaktedata

Slakteutbytte, filetutbytte og kondisjonsfaktor er presentert i tabell 5. Fôrgruppe C har lavest slakteutbytte, filetutbytte og k-faktor med henholdsvis $0,85 \pm 0,02$, $0,70 \pm 0,03$ og $1,41 \pm 0,014$. Filetutbytte er signifikant lavere enn alle de øvrige fôrgruppene. Slakteutbytte og k-faktor er signifikant lavere enn fôrgruppe A og D. Fôrgruppe A har høyest slakteutbytte og filetutbytte med henholdsvis $0,87 \pm 0,01$ og $0,73 \pm 0,02$, men det er ikke signifikant høyere enn fôrgruppe D med henholdsvis $0,86 \pm 0,01$ og $0,72 \pm 0,02$.

Tabell 5 – Slakteutbytte og filetutbytte presentert er presentert som faktor, hvor 1 er rund vekt. K-faktor beregnet ut fra formel beskrevet i material og metode.

Fôrgruppe	A	B	C	D	p-verdi ANOVA
Slakteutbytte	$0,87 \pm 0,01^a$	$0,86 \pm 0,02^{bc}$	$0,85 \pm 0,02^b$	$0,86 \pm 0,01^{ac}$	< 0,01
Filetutbytte	$0,73 \pm 0,02^a$	$0,72 \pm 0,01^a$	$0,70 \pm 0,03^b$	$0,72 \pm 0,02^a$	< 0,01
K-faktor	$1,49 \pm 0,12^a$	$1,44 \pm 0,13^{ab}$	$1,41 \pm 0,14^b$	$1,50 \pm 0,13^a$	0,03

3.8 Tarmhelse

Tabell 6 viser en oversikt over tarmscore foretatt på fordøyelsessystemet under de ulike uttakene. Fôrgruppe C har gjennomgående de høyeste verdier for alle uttak og alle deler av tarmen foruten lever ved uttak 3 og betennelse ved uttak 2 og 3.

Tabell 6 – Tarmhelse. Grønn farge viser milde verdier, gul viser moderate verdier og rød viser alvorlige verdier.

Fôrgruppe	Lever	Betennelse	Blindsekker	Midttarm	Total tarm	Total FF*
Uttak 1						
A	0,4	1,2	8,3	1,8	10,1	0,6
B	0,2	0,7	7,3	2,4	9,7	0,6
C	0,6	1,7	12,5	4,9	17,4	2,4
D	0,4	0,3	3,0	0,2	3,2	0,4
Uttak 2						
A	0,5	1,8	8,7	2,0	10,7	1,9
B	0,8	1,6	6,4	1,0	7,5	1,3
C	0,8	1,5	11,7	4,2	15,9	3,5
D	0,7	1,0	3,7	0,6	4,4	1,4
Uttak 3						
A	0,9	1,4	4,5	1,6	6,1	0,6
B	1,4	0,8	4,0	0,5	4,5	0,2
C	1,2	1,3	11,8	4,3	16,1	1,2
D	1,2	1,0	0,8	0,1	1,0	0,1

* FF=Flytefeces

3.9 Objektiv fargemåling

Tabell 7 viser en oversikt over fargemålingene gjort på fersk filet. Lyshet, L*, øker fra første til andre uttak, men avtar igjen til siste uttak. Rødfarge, a*, viser ingen tegn til økning fra første til andre uttak, men øker mot siste uttak. Her er fôrgruppe C høyest med $16,9 \pm 1,5$. Laveste verdi har fôrgruppe D med $14,8 \pm 2,6$. Det er ingen signifikante forskjeller mellom fôrgruppene på b*-verdier for noen av gruppene, men b*-verdiene faller fra ca. 12 på første til ca. 8 andre uttak for så å øke kraftig til ca. 17 ved siste uttak. Fôrgruppe D har en signifikant høyere L*-verdi enn C ved siste uttak, i tillegg til å ha en signifikant lavere a*-verdi enn A og C. Det er også en tendens til at D har noe lavere b*-verdier ved siste uttak enn de øvrige, selv om dette ikke er signifikant.

Tabell 7 – Objektiv fargemåling ved L*-, a*- og b*- verdier.

	A	B	C	D	p-verdi ANOVA
Uttak 1					
L*	39,4 ± 1,6 ^a	38,0 ± 1,7 ^b	37,9 ± 1,7 ^b	40,2 ± 1,8 ^a	0,02
a*	12,6 ± 1,4 ^a	13,8 ± 1,4 ^b	12,5 ± 1,5 ^a	12,9 ± 0,9 ^{ab}	< 0,01
b*	11,9 ± 1,2	12,2 ± 1,4	11,6 ± 1,8	12,4 ± 1,1	0,08
Uttak 2					
L*	40,9 ± 4,1	41,5 ± 3,4	41,0 ± 3,8	41,9 ± 3,2	0,72
a*	12,1 ± 1,8 ^{ab}	12,5 ± 2,0 ^{ab}	12,7 ± 2,0 ^a	11,3 ± 1,5 ^b	0,02
b*	7,2 ± 1,8	8,3 ± 2,4	7,5 ± 2,0	7,6 ± 1,9	0,16
Uttak 3					
L*	34,2 ± 2,2 ^{ac}	36,9 ± 2,8 ^b	33,6 ± 2,6 ^a	36,0 ± 3,5 ^{bc}	0,01
a*	16,1 ± 1,6 ^a	15,8 ± 2,0 ^{ab}	16,9 ± 1,5 ^a	14,8 ± 2,6 ^b	0,04
b*	17,6 ± 1,8	16,9 ± 2,8	17,6 ± 2,2	16,1 ± 3,2	0,11

3.10 Tekstur

Teksturmålingene er presentert i tabell 8. Fôrgruppe D har signifikant høyere maksimal hardhet enn A, men ingen signifikante forskjeller fra B og C. Fôrgruppe D hadde også signifikant høyere arbeid utført fra A og B men ingen signifikant forskjell fra C.

Tabell 8 – Teksturmålinger. Maksimal hardhet målt i Newton [N] og arbeid utført målt i Newtonsekunder [Ns].

	A	B	C	D	p-verdi ANOVA
Hardhet	0,65 ± 0,18 ^a	0,70 ± 0,21 ^{ab}	0,71 ± 0,24 ^{ab}	0,79 ± 0,23 ^b	< 0,01
Arbeid	0,59 ± 0,13 ^a	0,62 ± 0,13 ^a	0,65 ± 0,16 ^{ab}	0,70 ± 0,15 ^b	0,03

3.11 Pigment

Innhold av pigment er presentert i 10. Innholdet av pigment øker i alle fôrgruppene gjennom forsøket. Gruppe B har høyest innhold tidlig i forsøket, mens C har høyest innhold av pigment både i uttak 2 og uttak 3, signifikant høyere enn alle andre grupper i uttak 3 ($p = 0.003$).

Tabell 9 - Innhold av pigment (mg/kg^{-1}).

	A	B	C	D	p-verdi ANOVA
Uttak 1	3,87 ± 0,64	4,43 ± 0,56	3,91 ± 0,45	3,97 ± 0,41	0,36
Uttak 2	4,58 ± 0,38 ^a	4,85 ± 0,26 ^{ab}	5,34 ± 0,14 ^b	4,07 ± 0,12 ^c	0,02
Uttak 3	4,75 ± 0,29 ^a	5,05 ± 0,3 ^a	5,82 ± 0,25 ^b	4,92 ± 0,33 ^a	< 0,01

3.12 Protein

Innhold av protein i filet (NQC) er presentert i tabell 10. Det var ingen signifikante forskjeller i proteininnhold mellom fôrgruppene (A, B, C, og D), verken ved uttak 1, 2 eller 3.

Tabell 10 – Totalt innhold av protein presentert i %.

	A	B	C	D	p-verdi ANOVA
Uttak 1	19,7 ± 0,1	20,0 ± 0,4	20,1 ± 0,3	20,0 ± 0,2	0,06
Uttak 2	19,4 ± 0,6	19,5 ± 0,3	19,7 ± 0,2	20,0 ± 0,2	0,07
Uttak 3	19,2 ± 0,2	19,2 ± 0,5	19,5 ± 0,2	19,5 ± 0,5	0,27

3.13 Fett

Innhold av fett i filet (NQC) er presentert i tabell 11. Fettinnholdet øker for alle gruppene utover i forsøket, men ved siste uttak har fôrgruppe C signifikant lavere innhold enn de øvrige fôrgruppene, 11,9 % mot 13,9 %. Dette er også en tendens ved uttak 2, selv om det ikke er signifikant forskjell mellom A og C.

Tabell 11 – Totalt innhold av fett presentert i %.

	A	B	C	D	p-verdi ANOVA
Uttak 1	7,9 ± 0,8 ^{ab}	7,0 ± 0,9 ^a	7,3 ± 0,4 ^a	9,8 ± 0,8 ^b	< 0,01
Uttak 2	10,6 ± 0,4 ^{ab}	11,4 ± 0,4 ^a	9,8 ± 0,6 ^b	10,9 ± 0,7 ^a	0,02
Uttak 3	13,9 ± 0,6 ^a	13,9 ± 1,1 ^a	11,7 ± 0,8 ^b	13,9 ± 0,6 ^a	< 0,01

3.14 Fettsyrer

Fettsyresammensetningen er presentert i tabell 12. SFA hadde kun signifikante forskjeller mellom C-D ($p = 0,03$). For MUFA var C signifikant lavere enn alle de øvrige fôrgruppene ($p < 0,01$). C hadde et signifikant høyere innhold av PUFA enn A, B og D ($p < 0,01$). D hadde et signifikant høyere innhold n-3 enn A ($p < 0,01$). For n-3 HUFA hadde fôrgruppe D et signifikant høyere nivå enn A og C ($p < 0,01$). C hadde et signifikant høyere nivå av n-6 enn A, B og D ($p < 0,01$). For EPA+DHA var det ingen signifikante forskjeller mellom A, B og C, men innholdet i fôrgruppe C var signifikant høyere enn D ($p = 0,01$).

Tabell 12 - Fettsyresammensetning i NQC i % av totalt fettinnhold.

	A	B	C	D	p-verdi ANOVA
C14:0	2,0 ± 0,2 ^a	2,3 ± 0,2 ^b	2,2 ± 0,2 ^{ab}	2,3 ± 0,1 ^b	0,03
C16:0	9,9 ± 0,6	10,0 ± 0,9	10,2 ± 0,3	9,5 ± 0,4	0,10
C18:0	2,5 ± 0,1 ^a	2,5 ± 0,2 ^a	2,8 ± 0,2 ^b	2,4 ± 0,1 ^a	< 0,01
C20:0	0,3 ± 0,1 ^a	0,3 ± 0,1 ^{ab}	0,4 ± 0,1 ^b	0,3 ± 0,0 ^{ab}	0,05
Sum SFA*	14,7 ± 0,8 ^{ab}	15,1 ± 1,1 ^{ab}	15,6 ± 0,3 ^a	14,5 ± 0,5 ^b	0,03
C16:1n-7	2,5 ± 0,1	2,5 ± 0,1	2,4 ± 0,3	2,6 ± 0,1	0,32
C18:1n-9	40,6 ± 1,0 ^a	40,2 ± 1,4 ^a	32,4 ± 2,5 ^b	39,4 ± 0,6 ^a	< 0,01
C20:1n-9	3,8 ± 0,2 ^a	4,2 ± 0,3 ^{ab}	5,0 ± 0,3 ^b	4,3 ± 1,1 ^{ab}	< 0,01
C22:1n-11	1,8 ± 0,5 ^a	3,2 ± 0,2 ^b	3,7 ± 0,1 ^b	3,9 ± 0,4 ^b	< 0,01
C22:1n-9	0,6 ± 0,3	0,6 ± 0,0	0,6 ± 0,1	0,7 ± 0,0	0,58
C24:1n-9	0,5 ± 0,0 ^a	0,5 ± 0,0 ^a	0,5 ± 0,1 ^b	0,4 ± 0,0 ^a	0,04
Sum MUFA**	53,2 ± 1,0 ^a	54,3 ± 1,6 ^a	47,8 ± 3,7 ^b	55,2 ± 0,8 ^a	< 0,01
C18:2n-6	13,2 ± 0,2 ^a	13,1 ± 0,3 ^a	17,1 ± 4,5 ^b	13,8 ± 0,2 ^a	0,03
C18:3n-3	5,4 ± 0,1 ^a	4,8 ± 0,2 ^b	4,0 ± 0,2 ^c	5,2 ± 0,2 ^d	0,04
C18:4n-3	0,6 ± 0,1 ^a	0,8 ± 0,1 ^b	0,6 ± 0,1 ^a	0,7 ± 0,0 ^b	0,01
C20:2n-6	1,1 ± 0,3 ^a	1,0 ± 0,0 ^a	2,0 ± 0,6 ^b	1,0 ± 0,1 ^a	< 0,01
C20:4n-6	0,6 ± 0,1 ^a	0,4 ± 0,0 ^b	0,6 ± 0,0 ^a	0,4 ± 0,0 ^b	< 0,01
C20:3n-3	0,4 ± 0,1	0,3 ± 0,1	0,4 ± 0,1	0,3 ± 0,1	0,46
C20:4n-3	1,1 ± 0,7	0,8 ± 0,0	0,9 ± 0,1	0,8 ± 0,0	0,36
C20:5n-3	3,0 ± 0,5	3,0 ± 0,4	2,6 ± 0,4	2,6 ± 0,1	0,22
C22:5n-3	1,9 ± 1,1 ^a	1,2 ± 0,1 ^{ab}	1,4 ± 0,1 ^{ab}	1,0 ± 0,1 ^b	0,02
C22:6n-3	4,9 ± 1,6 ^a	5,1 ± 0,7 ^a	6,5 ± 0,9 ^b	4,3 ± 0,5 ^a	0,04
Sum PUFA***	32,0 ± 0,4 ^a	30,1 ± 0,8 ^a	35,8 ± 3,5 ^b	29,8 ± 0,8 ^a	< 0,01
n-3	17,3 ± 0,6 ^a	15,9 ± 1,0 ^{ab}	16,3 ± 1,7 ^{ab}	14,9 ± 0,5 ^b	< 0,01
n-3HUFA	10,9 ± 0,6 ^a	10,1 ± 1,2 ^{ab}	11,4 ± 1,6 ^a	8,7 ± 0,5 ^b	< 0,01
n-6	14,9 ± 0,5 ^a	14,5 ± 0,5 ^a	19,6 ± 5,1 ^b	15,2 ± 0,2 ^a	< 0,01
n-3/n-6	1,2 ± 0,1	1,1 ± 0,1	0,9 ± 0,4	1,0 ± 0,0	0,11
EPA + DHA	7,9 ± 2,1 ^{ab}	8,1 ± 1,0 ^{ab}	9,1 ± 1,4 ^a	6,9 ± 0,5 ^b	0,01

* Inkluderer C12:0, C22:0, C24:0.

** Inkluderer C14:1n-5, C18:1n-7, C20:1n-7.

*** Inkluderer C18n-6, C20:3n-6.

4 Diskusjon

4.1 Vekst

Det var store forskjeller i sluttvekt hos fôrgruppene, og opp til 1 kg forskjell fra fôrgruppe med høyest snittvekt til fôrgruppe med lavest snittvekt. Dette gjenspeiles i beregningene av SGR som er gjennomsnittlig daglig vekst i % av kroppsvekt fra forsøksstart til forsøksslutt. Det er mange faktorer som påvirker vekst, heriblant fôropptak, fôrsammensetning, råvarer og energiinnhold.

Fôropptak er viktig for at fisken skal få nok næringsstoffer, og et redusert fôropptak vil redusere vekst (Johnsen et al., 2011a). For å sikre et godt fôropptak er smakelighet viktig. Det er tidligere vist at lav smakelighet kan redusere vekst hos laks (Pratoomyot et al., 2010).

Torstensen et al. (2008) undersøkte erstatning av fiskemel og fiskeolje med planteprotein og vegetabilsk olje og fant at høyt innhold av planteprotein reduserte vekst og fôropptak.

Soyaproteinkonsentrat er en av de mest brukte proteinkildene i fôr til laks i Norge (Ytrestøyl et al., 2015). Refstie et al. (2001) rapportert lavere vekst med en diett basert på en diett med høyt innhold av protein (45%) og lavt innhold av fett (32%) - hvor 20% av proteinet kom fra soyaproteinkonsentrat - i forhold til dietter basert på lavere inkludering av soyaproteinkonsentrat eller dietter basert på soyabønnemel. Samme effekt på vekst ble observert i et annet forsøk hvor fiskemel ble erstattet med planteprotein, men her ble også fettkilden erstattet med vegetabiliske oljer og det var kun mindre forskjeller i fordøyelighet av protein og fett samt protein- og fettretensjon mellom fiskemel og planteråvarer (Torstensen et al., 2008).

Storebakken et al. (2015) viste at inkludering av hydrolysert hvetegluten ikke påvirker fôropptak eller vekst, mens Refstie et al. (2010) rapporterte om like stort fôropptak, men 5% svakere vekst ved inkludering av 14 % solsikkemel i fôret.

Det er funnet positive effekter med å bruke rapsolje i fôret til laks. Karalazos et al. (2011) så på forskjellene på ulike forhold mellom protein og fett i fôret samt inkludering av rapsolje som fettkilde. Dette er i tråd med tidligere forsøk gjort med rapsolje som erstatning for fiskeolje (Bell et al., 2001). De rapporterte at rapsolje faktisk forbedret vekst og fôrfaktor i forhold til

fiskeolje og de hevdet at dette skyldtes fettsyresammensetning og økt fordøyelighet av mettet fett. Like resultater kom frem i et annet forsøk hvor de tilsatte økende mengde av solsikkeolje og fant ingen forskjell i vekst og fôrfaktor men økt fordøyelighet av fett i takt med økende inkludering av solsikkeolje (Menoyo et al., 2007).

For å sikre god vekst er det viktig at laksen kan nyttiggjøre seg av energien i fôret. Da er det viktig med god fordøyelighet av fett. Krontveit et al. (2014) rapporterte at fordøyeligheten av fett fra ulike fôrprodusenter var forskjellig.

Hixson et al. (2016) fant at ulike fettsyresammensetninger i fôret kan påvirke veksten hos laks, mens Morris et al. (2003) fant at timing når det gjelder bytte av fôrstørrelse og fôrsammensetning optimalisert for ulike fiskestørrelser kan påvirke vekst. SGR og TGC er et direkte resultat av vektutvikling.

Det var delvis store forskjeller i vurderingen av tarmhelse hos de respektive fôrgruppene. Det var spesielt fôrgruppe C som skilte seg ut med moderate eller alvorlige verdier for total tarmscore ved alle uttak. Dette kan være delvis skyld i at fisken vokser dårlig, da irritert tarm reduserer fôropptak, øker FCR og reduserer vekst. Årsaken til at fôrgruppene hadde ulik tarmscore er vanskelig å drøfte siden vi ikke kjenner innholdet i fôrene, verken vekstfôret eller de funksjonelle fôrene. Det er rapportert om en rekke årsaker til redusert integritet i tarmen hos laksen, herunder kan soyabønnemel (Refstie et al., 2010; Øverland et al., 2009), fababønner (De Santis et al., 2015) og antinæringsstoffer (Krogdahl et al., 2010; Refstie et al., 1998) gi betennelse i tarm.

Fôrgruppe C hadde lavere fettinnhold, noe som kan skyldes signifikant lavere fôropptak i denne fôrgruppen. Lavere fôropptak er tidligere vist å spille en rolle for fettinnhold i muskel (Johnsen et al., 2011a). Fettinnhold har også blitt vist å korrelere positivt med TGC, noe som her kan være tilfelle da fôrgruppe C også har lavest TGC – og dermed lavest sluttvekt (Johnsen et al., 2011a; Morris et al., 2003). En annen årsak til lavere fettinnhold kan være lavere fettinnhold og energitetthet i dietten til fôrgruppe C, da dette tidligere har vist å forklare lavere fettinnhold i muskel (Bjerkeng et al., 1997).

Mellom fôrgruppene ble det vist klare og signifikante forskjeller i fettsyreprofilen mellom fôrgruppe C og de resterende fôrgruppene. Dette kommer særlig frem i det lavere innholdet av

C18:1n-9 og MUFA og høyere innholdet av C18:2n-6 (linolsyre), PUFA samt det totale innholdet omega 6-fettsyrer. Et høyere innhold av C18:1n-9 antyder at innholdet av fett fra planteråvarer er høyere i fôrgruppe A, B og D enn i fôrgruppe C. Videre hadde fôrgruppe C et signifikant høyere innhold av DHA enn de resterende fôrgruppene i forsøket ($p = 0,04$), noe som antyder at innholdet av marine fettsyrer var høyere i fôrgruppe C.

Et økt innhold av marine fettsyrer kan styrke lakseprodusentens posisjon i markedet da dette blir ansett som en av de viktigste grunnene til å spise fet fisk (Blomhoff et al., 2011). Det har blitt vist at fettsyrekomposisjonen i fisk reflekterer fettsyrekomposisjonen som er i dens diett. Videre betyr dette at en diett med høyt innhold av marine fettsyrer vil bli reflektert i fisken med høyt innhold av marine fettsyrer, og en diett med høyt innhold av fett fra planteråvarer vil gjenspeiles i fisken med lavt innhold av marine fettsyrer (Lerfall et al., 2016; Thomassen et al., 2012).

4.2 Slaktedata

Grisdale-Helland et al. (2002) rapporterte at det var ingen forskjell i kondisjonsfaktor ved høyt innhold av soyaolje. I et forsøk gjort av Refstie et al. (2006) ble laks fôret med lupinproteinkonsentrat. I dette forsøket fant de at laks fôret med lupinproteinkonsentrat ga høyere vekt på fordøyelsessystemet enn kontrolldietten. Dette viser at enkelte ingredienser kan påvirke slakteutbytte, dersom energien går til fordøyelsessystemet i stedet for bygging av muskelfibre. Det er vist at forholdet mellom protein og energi (DP/DE) påvirker slakteutbytte (Morris et al., 2003) og at en lavere DP/DE fikk høyere slakteutbytte som et resultat av innholdet av fett i innvollene er lavere. Glencross et al. (2004) viste i et forsøk gjort på regnbueørret at økende inkludering av lupinproteinkonsentrat i dietten førte til en negativ korrelasjon med vekst. Dette kan være en forklaring på at fôrgruppe C både har en noe lavere slakte- og filetutbytte, samt dårligere vekst.

4.3 Farge og astaxanthininnhold

Fôrgruppe C hadde signifikant høyere innhold av astaxanthin enn de øvrige fôrgruppene og høyeste a^* -verdi, selv om denne kun var signifikant høyere enn fôrgruppe D. Visuell rødfarge og innhold av astaxanthin er tidligere rapportert å være relatert og er positivt korrelert (Regost et al., 2004).

Ytrestøyl et al. (2006) rapporterte at en lavere utfôring gir høyere innhold av astaxanthin i muskel. Dette kan være en årsak til at fôrgruppe C har signifikant høyere innhold av astaxanthin ved forsøkets slutt, selv om fôropptaket til C kun var signifikant lavere enn fôrgruppe D. Det er en rekke andre faktorer som påvirker opptak av astaxanthin i laks – innhold av astaxanthin i fôret (Ytrestøyl et al., 2006), astaxanthinkilde (Storebakken et al., 1987), totalt fettinnhold i fôret (Nickell & Bromage, 1998) og fettkilde (Regost et al., 2004). Forskjellene i innfarging opplevd i dette forsøket kan dermed relateres til fôrsammensetning og/eller fôrregime.

4.4 Tekstur

Fôrgruppe D hadde fastere tekstur basert på målinger av hardhet og arbeid utført enn de resterende fôrgruppene, men var bare signifikant høyere enn henholdsvis fôrgruppe A på hardhet og fôrgruppe A og B på arbeid. Larsson et al. (2014) viste at høyere glutamatinnhold i fôr kan påvirke økt hardhet i fillet, noe som kan være tilfelle her. Restriktiv fôring har også vist å føre til fastere tekstur i filet av laks (Johnsen et al., 2011a).

4.5 Protein

I forsøket var det ingen signifikante forskjeller i proteininnhold mellom fôrgruppene på noen av uttakene, noe som er i samsvar med tidligere studier med ulike fôringsregimer og dietter (Morris et al., 2003; Øverland et al., 2009), og stemmer dermed overens med det som tidligere har vært studert.

4.6 Økonomiske konsekvenser

Med dagens produksjonsregulering vil man kunne produsere mest ved å ta ut slakteklar fisk tilsvarende den daglige tilveksten (SGR) man har totalt i selskapet. På den måten overstiger en ikke tildelt MTB. En økt daglig tilvekst vil øke total produksjon siden man kan ta ut mer slakteklar fisk. Dette vil gi en høyere produksjon totalt og flere tonn å fordele faste kostnader på. Resultatet vil dermed øke sett at de variable kostnadene er de samme uansett daglig tilvekst. I dette forsøket var det forskjeller i fôrpris som er en variabel kostnad. For at den høyere produksjonen skal lønne seg må derfor forskjellene i fôrpris og SGR være av en slik størrelse at fôrprisen ikke konsumerer den økte produksjonen ved å øke de variable kostnadene.

Det var ikke signifikante forskjeller i FCR, men en trend at fôrgruppe C og D hadde høyere FCR. En høyere FCR betyr økt mengde fôr for å oppnå samme mengde årlig produksjon og dermed øker fôrkostnaden per kilo i forhold til fôrpris og vil videre redusere resultatet. Det kan

da i teorien lønne seg å benytte seg av et dyrere fôr dersom denne kostnaden hentes inn ved lavere FCR.

Det er en rekke krav til kvalitet ved slakterier og fisken graderes i henhold til Norsk Bransjestandard (NBS) for fisk som superior, ordinær og produksjon (NBS 10-01, 1999). Et av kravene i NBS 10-01 er innfarging målt ved SalmoFan og Johnsen et al. (2011b) rapporterte en positiv korrelasjon i innfarging mellom SalmoFan og Minolta. Fôrgruppe C hadde signifikant høyere a*-verdier som antyder en sterkere rødfarge. Om denne forskjellen er stor nok til å endre klassifisering positivt i henhold til NBS er vanskelig å si, da vi ikke har målt SalmoFan, men det vil utgjøre en forskjell økonomisk dersom en større andel av fisken blir oppklassifisert som følge av bedre innfarging i produksjonen.

Det var ikke signifikante forskjeller i dødelighet, men dødelighet er viktig også for økonomi. Det var en trend at fôrgruppe D hadde høyere dødelighet enn de øvrige, noe som vil øke kostnader og redusere inntekt ved kommersiell produksjon. Trenden viste også at fôrgruppe A og C hadde noe lavere dødelighet, noe som vil påvirke resultatet i positiv retning.

Det var signifikante forskjeller i slakteutbytte mellom fôrgruppene. Dette vil også i stor grad påvirke det økonomiske resultatet da et høyere slakteutbytte gir høyere solgt mengde og høyere omsetning på samme kostnader.

5 Konklusjon

Dette benchmarkingsforsøket har vist at ulike kommersielle fôrprodusenters anbefalte fôrregimer med pulsering av funksjonelle fôr gir ulik påvirkning når det kommer til vekst, tarmhelse og kvalitetsparametere, og kan videre ha økonomisk betydning for oppdrettsaktører. Den økonomiske konsekvensen av forskjellene kommer an på en rekke faktorer som ikke er kjent i denne oppgaven, men som vil være opp til hver enkelt aktør å vurdere ved valg av fôr og strategi.

6 Referanser

- Abid, A., Davies, S. J., Wainnes, P., Emery, M., Castex, M., Gioacchini, G., . . . Merrifield, D. L. (2013). Dietary synbiotic application modulates Atlantic salmon (*Salmo salar*) intestinal microbial communities and intestinal immunity. *Fish & Shellfish Immunology*, 35(6), 1948-1956. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fsi.2013.09.039>
- Bell, J. G., McEvoy, J., Tocher, D. R., McGhee, F., Campbell, P. J. & Sargent, J. R. (2001). Replacement of fish oil with rapeseed oil in diets of Atlantic salmon (*Salmo salar*) affects tissue lipid compositions and hepatocyte fatty acid metabolism. *Journal of Nutrition*, 131(5), 1535-1543.
- Bjerkeng, B., Refstie, S., Fjalestad, K. T., Storebakken, T., Rødbotten, M. & Roem, A. J. (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(3), 297-309. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486\(97\)00162-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00162-2)
- Blomhoff, R., Andersen, L. F., Iversen, P. O., Johansson, L. & Smeland, S. (2011). *Kostråd for å fremme folkehelsen og forebygge kroniske sykdommer*: Helsedirektoratet. Hentet fra <https://helsedirektoratet.no/Lists/Publikasjoner/Attachments/400/Kostrad-for-a-fremme-folkehelsen-og-forebygge-kroniske-sykdommer-metodologi-og-vitenskapelig-kunnskapsgrunnlag-IS-1881.pdf>
- Brunvold, L. & Hanche-Olsen, R. (2013). *Sluttrapport: Nedsatt tarmhelse og forekomst av flytefeces hos laks* Sandnessjøen: Helgeland Havbruksstasjon.
- De Santis, C., Crampton, V. O., Bicskei, B. & Tocher, D. R. (2015). Replacement of dietary soy- with air classified faba bean protein concentrate alters the hepatic transcriptome in Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr. *Comparative Biochemistry and Physiology Part D: Genomics and Proteomics*, 16, 48-58. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cbd.2015.07.005>
- Einen, O., Mørkøre, T., Rørå, A. M. B. & Thomassen, M. S. (1999). Feed ration prior to slaughter—a potential tool for managing product quality of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 178(1–2), 149-169. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00126-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00126-X)
- Fiskeridirektoratet. (2016, 08.07.2016). *Innfører Bremnes-modellen som prøveordning i lakse- og ørretoppdrett*. Hentet 15.07.2016 fra <http://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tildeling-og-tillatelser/Kommersielle-tillatelser/Laks-oerret-og-regnbueoerret/Bremnes-modellen>
- Glencross, B., Evans, D., Hawkins, W. & Jones, B. (2004). Evaluation of dietary inclusion of yellow lupin (*Lupinus luteus*) kernel meal on the growth, feed utilisation and tissue histology of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 235(1–4), 411-422. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.09.022>
- Grisdale-Helland, B., Ruyter, B., Rosenlund, G., Obach, A., Helland, S. J., Sandberg, M. G., . . . Røsjø, C. (2002). Influence of high contents of dietary soybean oil on growth, feed utilization, tissue fatty acid composition, heart histology and standard oxygen

- consumption of Atlantic salmon (*Salmo salar*) raised at two temperatures. *Aquaculture*, 207(3-4), 311-329. doi: 10.1016/S0044-8486(01)00743-8
- Hixson, S. M., Parrish, C. C., Xue, X., Wells, J. S., Collins, S. A., Anderson, D. M. & Rise, M. L. (2016). Growth performance, tissue composition, and gene expression responses in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed varying levels of different lipid sources. *Aquaculture*. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.04.011>
- Johnsen, C. A., Hagen, Ø., Adler, M., Jönsson, E., Kling, P., Bickerdike, R., . . . Bendiksen, E. Å. (2011a). Effects of feed, feeding regime and growth rate on flesh quality, connective tissue and plasma hormones in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, 318(3-4), 343-354. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.05.040>
- Johnsen, C. A., Hagen, Ø. & Bendiksen, E. Å. (2011b). Long-term effects of high-energy, low-fishmeal feeds on growth and flesh characteristics of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, 312(1-4), 109-116. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.12.012>
- Karalazos, V., Bendiksen, E. Å. & Bell, J. G. (2011). Interactive effects of dietary protein/lipid level and oil source on growth, feed utilisation and nutrient and fatty acid digestibility of Atlantic salmon. *Aquaculture*, 311(1-4), 193-200. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.11.022>
- Krogdahl, Å., Penn, M., Thorsen, J., Refstie, S. & Bakke, A. M. (2010). Important antinutrients in plant feedstuffs for aquaculture: an update on recent findings regarding responses in salmonids. *Aquaculture Research*, 41(3), 333-344. doi: 10.1111/j.1365-2109.2009.02426.x
- Król, E., Douglas, A., Secombes, C. J. & Martin, S. A. M. (2016). Gut health and integrity in atlantic salmon fed plant protein diets. *Fish & Shellfish Immunology*, 53, 69. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fsi.2016.03.076>
- Krontveit, R. I., Bendiksen, E. Å. & Aunsmo, A. (2014). Field monitoring of feed digestibility in Atlantic salmon farming using crude fiber as an inert marker. *Aquaculture*, 426-427, 249-255. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.02.015>
- Laksefakta. (2016, 09.05.2016). *Hva er i fôret til laksen?* [Nettside]. Hentet 02.08.2016 fra <https://laksefakta.no/hva-spiser-laksen/hva-er-i-foret-til-laksen/>
- Larsson, T., Koppang, E. O., Espe, M., Terjesen, B. F., Krasnov, A., Moreno, H. M., . . . Mørkøre, T. (2014). Fillet quality and health of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed a diet supplemented with glutamate. *Aquaculture*, 426-427, 288-295. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.01.034>
- Lerfall, J., Bendiksen, E. Å., Olsen, J. V., Morrice, D. & Østerlie, M. (2016). A comparative study of organic- versus conventional farmed Atlantic salmon. I. Pigment and lipid content and composition, and carotenoid stability in ice-stored fillets. *Aquaculture*, 451, 170-177. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.09.013>

- Lønnsomhetsundersøkelse for laks og regnbueørret.* (2015, 05.11.2015). [PDF]. Hentet fra <http://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Statistikk-akvakultur/Statistiske-publikasjoner/Loennsomhetsundersokelser-for-laks-og-regnbueoerret>
- Meena, D. K., Das, P., Kumar, S., Mandal, S. C., Prusty, A. K., Singh, S. K., . . . Mukherjee, S. C. (2013). Beta-glucan: an ideal immunostimulant in aquaculture (a review). *Fish Physiology and Biochemistry*, 39(3), 431-457. doi: 10.1007/s10695-012-9710-5
- Menoyo, D., Lopez-Bote, C. J., Diez, A., Obach, A. & Bautista, J. M. (2007). Impact of n – 3 fatty acid chain length and n – 3/n – 6 ratio in Atlantic salmon (*Salmo salar*) diets. *Aquaculture*, 267(1–4), 248-259. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.02.031>
- Metcalfe, L. D., Schmitz, A. A. & Pelka, J. R. (1966). Rapid Preparation of Fatty Acid Esters from Lipids for Gas Chromatographic Analysis. *Analytical Chemistry*, 38(3), 514-515. doi: 10.1021/ac60235a044
- Morris, P. C., Beattie, C., Elder, B., Finlay, J., Gallimore, P., Jewison, W., . . . Weir, M. (2003). Effects of the timing of the introduction of feeds containing different protein and lipid levels on the performance and quality of Atlantic salmon, *Salmo salar*, over the entire seawater phase of growth. *Aquaculture*, 225(1–4), 41-65. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00277-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00277-1)
- NBS 10-01. (1999). *NBS 10-01*. Bergen: Prosjekt Bransjestandard for fisk.
- Nickell, D. C. & Bromage, N. R. (1998). The effect of dietary lipid level on variation of flesh pigmentation in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 161(1-4), 237-251. doi: 10.1016/S0044-8486(97)00273-1
- Nystøl, R., Kosmo, J. P., Liabø, L., Kongsvik Brandvik, R., Kontali Analyse, Olafsen, T., . . . SINTEF Fiskeri og havbruk. (2013). *Produksjonsreguleringer i havbruk. Tilleggsutredning – Rullerende gjennomsnittlig MTB* www.regjeringen.no: Hentet fra https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/fkd/vedlegg/rapporter/2013/rapport_rullerende_mtb_v2.pdf
- Pratoomyot, J., Bendiksen, E. Å., Bell, J. G. & Tocher, D. R. (2010). Effects of increasing replacement of dietary fishmeal with plant protein sources on growth performance and body lipid composition of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, 305(1–4), 124-132. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.04.019>
- Refstie, S., Baeverfjord, G., Seim, R. R. & Elvebø, O. (2010). Effects of dietary yeast cell wall β -glucans and MOS on performance, gut health, and salmon lice resistance in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed sunflower and soybean meal. *Aquaculture*, 305(1–4), 109-116. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.04.005>
- Refstie, S., Glencross, B., Landsverk, T., Sørensen, M., Lilleeng, E., Hawkins, W. & Krogdahl, Å. (2006). Digestive function and intestinal integrity in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed kernel meals and protein concentrates made from yellow or narrow-leaved lupins. *Aquaculture*, 261(4), 1382-1395. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.07.046>

- Refstie, S., Storebakken, T., Baeverfjord, G. & Roem, A. J. (2001). Long-term protein and lipid growth of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets with partial replacement of fish meal by soy protein products at medium or high lipid level. *Aquaculture*, 193(1–2), 91-106. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00473-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00473-7)
- Refstie, S., Storebakken, T. & Roem, A. J. (1998). Feed consumption and conversion in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets with fish meal, extracted soybean meal or soybean meal with reduced content of oligosaccharides, trypsin inhibitors, lectins and soya antigens. *Aquaculture*, 162(3–4), 301-312. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00222-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00222-1)
- Regost, C., Jakobsen, J. V. & Rørå, A. M. B. (2004). Flesh quality of raw and smoked fillets of Atlantic salmon as influenced by dietary oil sources and frozen storage. *Food Research International*, 37(3), 259-271. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2003.12.003>
- Ringø, E., Olsen, R. E., Jensen, I., Romero, J. & Lauzon, H. L. (2014). Application of vaccines and dietary supplements in aquaculture: possibilities and challenges. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 24(4), 1005-1032. doi: 10.1007/s11160-014-9361-y
- Sissener, N. H., Waagbø, R., Rosenlund, G., Tvenning, L., Susort, S., Lea, T. B., . . . Breck, O. (2016). Reduced n-3 long chain fatty acid levels in feed for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) do not reduce growth, robustness or product quality through an entire full scale commercial production cycle in seawater. *Aquaculture*, 464, 236-245. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.06.034>
- Statistisk Sentralbyrå. (2016). *Utenrikshandel med varer*. Hentet 05.07.2016 fra www.ssb.no/tabell/09283
- Storebakken, T., Foss, P., Schiedt, K., Austreng, E., Liaaen-Jensen, S. & Manz, U. (1987). Carotenoids in diets for salmonids. *Aquaculture*, 65(3), 279-292. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486\(87\)90241-9](http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486(87)90241-9)
- Storebakken, T., Zhang, Y., Ma, J., Øverland, M., Mydland, L. T., Kraugerud, O. F., . . . Feneuil, A. (2015). Feed technological and nutritional properties of hydrolyzed wheat gluten when used as a main source of protein in extruded diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 448, 214-218. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.05.029>
- Thomassen, M. S., Rein, D., Berge, G. M., Østbye, T.-K. & Ruyter, B. (2012). High dietary EPA does not inhibit $\Delta 5$ and $\Delta 6$ desaturases in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed rapeseed oil diets. *Aquaculture*, 360–361, 78-85. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.07.001>
- Torstensen, B. E., Espe, M., Sanden, M., Stubhaug, I., Waagbø, R., Hemre, G. I., . . . Berntssen, M. H. G. (2008). Novel production of Atlantic salmon (*Salmo salar*) protein based on combined replacement of fish meal and fish oil with plant meal and vegetable oil blends. *Aquaculture*, 285(1–4), 193-200. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.08.025>

- Waagbø, R., Berntssen, M. H. G., Danielsen, T., Helberg, H., Kleppa, A. L., Berg Lea, T., . . . Breck, O. (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. *Aquaculture Nutrition*, 19(4), 598-618. doi: 10.1111/anu.12010
- Ytrestøyl, T., Aas, T. S. & Åsgård, T. (2015). Utilisation of feed resources in production of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in Norway. *Aquaculture*, 448, 365-374. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.06.023>
- Ytrestøyl, T., Struksnæs, G., Rørvik, K. A., Koppe, W. & Bjerkeng, B. (2006). Astaxanthin digestibility as affected by ration levels for Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Aquaculture*, 261(1), 215-224. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.06.046>
- Øverland, M., Sørensen, M., Storebakken, T., Penn, M., Krogdahl, Å. & Skrede, A. (2009). Pea protein concentrate substituting fish meal or soybean meal in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*)—Effect on growth performance, nutrient digestibility, carcass composition, gut health, and physical feed quality. *Aquaculture*, 288(3–4), 305-311. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.12.012>

