

Kunnskapskartlegging pigmentering i laks

Faglig sluttrapport



Illustrasjon: Nofima

Nofima er et ledende matforskningsinstitutt som driver med forskning og utvikling for akvakulturnæringen, fiskerinæringen og matindustrien. Vi leverer internasjonal anerkjent forskning og løsninger som gir næringslivet konkurransefortrinn langs hele verdikjeden.

«Bærekraftig mat til alle» er vår visjon.

Kontaktinformasjon

Telefon: 77 62 90 00

post@nofima.no

www.nofima.no

NO 989 278 835 MVA



Hovedkontor Tromsø

Muninbakken 9–13

Postboks 6122

NO-9291 Tromsø



Stavanger

Måltidets hus

Richard Johnsensgate 4

Postboks 8034

NO-4068 Stavanger



Sunndalsøra

Sjølsengvegen 22

NO-6600 Sunndalsøra



Ås

Osloveien 1

Postboks 210

NO-1433 ÅS



Bergen

Kjerreidviken 16

Postboks 1425 Oasen

NO-5844 Bergen

Rapport

<i>Rapportnummer:</i> 26/2024	<i>ISBN:</i> 978-82-8296-797-6	<i>ISSN:</i> 1890-579X
----------------------------------	-----------------------------------	---------------------------

<i>Dato:</i> 3. juli 2024	<i>Antall sider + sider vedlegg:</i> 47 + 2	<i>Prosjektnummer:</i> 13689
------------------------------	--	---------------------------------

<i>Tittel:</i> Kunnskapskartlegging pigmentering i laks

<i>Title:</i> Knowledge mapping pigmentation in salmon

<i>Forfatter(e):</i> Trine Ytrestøyl, Renè Alvestad, Jens-Erik Dessen, Bjarne Hatlen, Sissel Albrektsen, Bente Ruyter, Thomas Larsson
--

<i>Avdeling:</i> Ernæring og førteknologi
--

<i>Oppdragsgiver:</i> FHF

<i>Eksternt prosjektnummer/Oppdragsgivers ref.:</i> 901745

<i>Stikkord:</i> Filetfarge, laks, kartlegging, årsaker
--

<i>Sammendrag/anbefalinger:</i> Gjennomgangen av data på filetfarge i norsk oppdrettslaks viser at det har vært en viss nedgang i farge, fra 2012 og frem til om lag 2021. Deretter har fargenivået økt noe. Variasjonen i filetfarge er blitt større, med pigmentnivå fra 4 til 8 mg/kg. Tilbakemeldinger fra oppdrettere bekrefter at flertallet av de spurte har problem med å oppnå ønsket farge i filet, samtidig som ønsket farge kan variere mellom 22-27 i SalmoFan score og 5-7 mg astaxanthin/kg. Noen produsenter opplever redusert innfarging på mellom 20-40 % av slaktet fisk, mens andre opplever det på under 2 %. Det er gjort ulike tiltak for å forbedre filetfarge, innholdet av astaxanthin i fôr er økt til 50-70 mg/kg, og flere oppdrettere har økt innholdet av EPA/DHA og vitaminer. Enkelte faktorer bidrar til å forklare variasjonen i innfarging. Filetfarge var sterkt positivt korrelert med slaktevekt, og variasjon i farge var også knyttet til når på året fisken slaktes, der høsten peker seg positivt ut. Antallet uker med mekanisk avlusning på en lokalitet hadde en negativ effekt på innfarging. Det var også en negativ korrelasjon mellom astaxanthin-innhold i fileten og tilvekst (TGC/VF3) og fôrfaktor, og de fleste oppdrettere meldte om problemer med farge etter perioder med hurtig vekst. Der det var tilgjengelige data på innholdet av EPA og DHA i filet ble det funnet en positiv korrelasjon med sum omega-3 og astaxanthin nivå i filet. Effekten av omega-3 er også funnet i vitenskapelige forsøk. Det ble i tillegg funnet en tydelig effekt knyttet til smoltprodusent på filetfarge ved slakt. Årsakene til dette kan ikke fastslås og bør undersøkes nærmere.
--

<i>English summary/recommendation:</i> The review of data on fillet color in Norwegian farmed salmon shows that there has been a decrease in color, from 2012 until 2021. After that, the color level has increased somewhat. The variation in fillet color has become larger, with color levels from 4 to 8 mg/kg. Feedback from breeders confirms that the majority of respondents have problems achieving the desired color in fillets, while the desired color can vary between 22-27 in the SalmoFan score and 5-7 mg astaxanthin/kg. Some producers experience reduced coloring on 20-40% of slaughtered fish, while others experience problems on less than 2%. To improve fillet color, the content of astaxanthin in feed has been increased to 50-70 mg/kg, and some producers have increased the feed content of EPA/DHA and vitamins. Some factors explain the variation in pigmentation. Fillet color was strongly positively correlated with slaughter weight, and fillet color was higher in fish slaughtered in autumn. The number of weeks of mechanical lice treatment at a site had a negative effect on fillet coloration. There was also a negative correlation between fillet astaxanthin content and growth (TGC/VF3) and feed factor, and most breeders reported problems with color after periods of rapid growth. Where data was available on the content of EPA and DHA in fillets, a positive correlation was found with total omega-3 and astaxanthin levels in fillets. The effect of omega-3 has also been found in scientific trials. A clear effect linked to smolt producer on fillet color at slaughter was also found. The reasons for this cannot be determined and should be investigated further.

Forord med anbefalinger

Prosjektet har i sin helhet vært finansiert av FHF. Prosjektgruppen har bestått av forskere fra Nofima. Industriaktører har bidratt med opplysninger ved å besvare spørreskjema og i samtaler, og med produksjonsdata fra kommersielle produksjoner. Data fra Nofima sine FoU-konsesjoner har også vært benyttet. Sammen danner disse opplysningene grunnlaget for konklusjonene i denne rapporten.

Det er alltid en fare for at de som svarer i en spørreundersøkelse er de som opplever størst utfordringer. Det var imidlertid god overenstemmelse mellom analyser av data fra kommersielle produksjoner og tilbakemeldinger fra spørreundersøkelsen.

I sum viser resultatene at det er sesongmessige og regionale variasjoner som skyldes temperatur og vekstmønster som det er vanskelig å endre, men som kan tas hensyn til ved planlegging av produksjonen. Hurtig vekst ga problem med å oppnå god nok farge i filet. Fôret spiller også en rolle, innhold av omega-3 fettsyrer i filet var positivt korrelert med filetfarge. Her er det sannsynligvis rom for mer optimalisering. Mye mekanisk avlusing medfører betydelig stress for fisken, og var negativt for farge i filet. Mer skånsomme metoder for avlusing kan kanskje bedre innfarging, men det mest optimale vil være å unngå avlusing i størst mulig grad. Dette kan gjøres ved å sette ut en større smolt, forutsatt at den har samme pigmentering ved en gitt vekt som en smolt satt ut på mindre størrelse. Som et forbyggende tiltak vil det være viktig å ikke starte for sent med tilsats av astaxanthin i fôret, og sjekke status på filetfarge ved utsett når fisken settes ut på vekter over 400-500 g. Det ble også funnet en klar effekt av smoltproducent på filetfarge ved slakt. Dette var litt overaskende, og det kan ikke identifiseres klare årsakssammenhenger i det datamaterialet vi har sett på, så dette bør følges opp videre.

Innhold

1	Norsk sammendrag	1
2	Innledning	5
3	Problemstilling og formål	7
4	Prosjektgjennomføring	8
5	Oppnådde resultater, diskusjon og konklusjon	10
5.1	Resultater fra spørreundersøkelse	10
5.1.1	Metode	10
5.1.2	Resultater	10
5.2	Analyse av faktorer med betydning for farge i filet basert på data fra industrielle produksjoner	17
5.2.1	Datagrunnlag og metode	17
5.2.2	Resultater	17
5.3	Pigmentering i Nofima sine FoU-tillatelser i ulike deler av landet	26
5.3.1	Datagrunnlag	27
5.3.2	Analyser, resultater og diskusjon	28
5.4	Oppsummering og diskusjon av resultater	40
6	Anbefalinger	43
7	Hovedfunn	44
8	Leveranser	45
9	Referanser	46

1 Norsk sammendrag

Farge i filet er et av de viktigste kvalitetskriteriene for oppdrettslaks. Blek filet, og filet med ujevn innfarging vil føre til nedklassifisering og økonomisk tap for oppdrettere. Det har i en periode vært hevdet at fargen i fileten til norsk oppdrettslaks har blitt blekere. Men omfanget av problemet og hva som er de viktigste årsakene til at dette har oppstått har ikke vært kjent. Målet med prosjektet har derfor vært å få en oversikt over utbredelsen av problemene og når de begynte. Det ble gjort en kartlegging ved å bruke spørreskjema som ble sendt til oppdrettere og ved å motta kvalitetsdata på slaktefisk, som sammen med andre opplysninger som for eksempel slaktetidspunkt, sted, antall lusebehandlinger, alder og tidspunkt ved utsett, o.a. faktorer ble lagt inn i statistiske modeller for å kunne si noe om årsakene til blek filetfarge. Det ble også brukt data fra Nofima sine FoU-konsesjoner i sør, midt, og i nord. Her er det gjort nærmere oppfølging av farge i filet gjennom hele produksjonssyklusen slik at man også kan si noe om fargeutvikling og deponering av astaxanthin i løpet av året. Resultatene fra spørreundersøkelsen og datanalsen ble så vurdert opp mot tilgjengelig kunnskap om pigmentering.

Resultatene både fra spørreundersøkelsen, data fra kommersielt oppdrett og fra FoU konsesjonene til Nofima viser at det har vært en nedgang i filetfarge som startet omkring 2013 og har vedvart inntil om lag 2021. Etter dette har filetfargen økt noe, samtidig som det er funnet større variasjon i filetfarge sammenlignet med tidligere. I 2012 lå alle observasjoner mellom 5 og 7,5 mg/kg, mens i 2023 varierte astaxantin-konsentrasjonen mellom 4 og 8 mg/kg. Dette indikerer også at noen oppdrettere ikke har problem med farge, men de fleste (92 %) svarte at de hadde opplevd problemer, at det hadde vedvart over tid, og at det var observert i alle regioner de hadde produksjon. Hva som regnes som dårlig pigmentering varierer en god del blant oppdrettere, verdier mellom 22 og 27,5 ble oppgitt som akseptable minimum-verdier for SalmoFan-score og mellom 5-7 mg/kg for pigment-innhold i filet. 27 % av de spurte svarte at det var problem med innfarging på 20-40 % av produksjonen, men 27 % svarte at det forkom på om lag 2 % av fisken. Det var gjort ulike tiltak for å få bedre innfarging, de fleste hadde økt innholdet av pigment i fôret, mest brukt var nivå mellom 50-70 mg/kg. Flere hadde også økt innholdet av EPA/DHA og vitaminer (C og E).

Noen oppdrettere oppga også kvalitetsdata som fettsyresammensetning i filet. I samme tidsrom som det er observert en nedgang i astaxanthin i filet var det også en reduksjon i EPA og DHA i filet og en økning i omega-6 fettsyrer. Det var en positiv korrelasjon mellom innholdet av omega-3 og astaxanthin i filet ($r=0,5$), og en svakere negativ korrelasjon med omega-6 fettsyrer ($r=-0,1$). De seinere årene har innholdet av omega-3 i fileten økt noe, men de er fortsatt noe lavere enn de var i 2012 og 2013. Den positive effekten av omega-3 fettsyrer på deponering av astaxanthin i filet, er vist i flere vitenskapelige studier, men den biologiske mekanismen for den positive effekten av omega-3 er ikke kjent.

Resultatene fra spørreundersøkelsene og produksjonsdataanalysene indikerer at enkelte faktorer kan bidra til å forklare variasjonen i oppnådd innfarging. Slaktevekt hadde en sterk positiv korrelasjon med farge i filet. Innholdet av pigment øker frem til fisken er om lag 5 kg, deretter flater det ut. Det er også variasjon i filetfarge knyttet til når på året fisken slaktes, hvor høsten peker seg positivt ut i datasettet fra kommersielle produksjoner, mens fisk slaktet på våren hadde dårligere farge. Svarene i spørreundersøkelsen indikerte også dette. I FoU-konsesjonene var det imidlertid dårligere pigmentering i fisk slaktet på høsten og vinteren enn i fisk slaktet på våren og sommeren, men her var det færre data fra høst/vinter, noe som gjør konklusjonene mer usikre. I FoU-konsesjonene var det også en negativ effekt av filetspalting (gaping) på pigmentering mens fettinnholdet i filet var positivt korrelert med farge.

Data fra både kommersielle produksjoner og FoU-konsesjonene viste en negativ korrelasjon mellom innholdet av astaxanthin i filet og tilvekst og fôrfaktor. Seks av respondentene (55 %) svarte også at de opplevde redusert innfarging som følge av hurtig vekst. I de kommersielle produksjonene ser sørlige produksjonsområder ut til å oppnå jevnt over høyere astaxanthin-innhold enn nordligere. I FoU-

konsesjonene kom lokalitetene i sør dårligst ut, mens de i region midt kom best ut. Dette skyldes sannsynligvis store problem med sykdom og lus i de sørlige FoU-konsesjonene som førte til tidligere utslakting og større spredning i vekt. Data fra de kommersielle produksjonene viste en klar negativ effekt av antall uker med mekaniske avlusninger på astaxanthin-innholdet i filet ved slakt. Kun to av elleve respondenter i spørreundersøkelsen mente imidlertid at dårlig innfarging kunne knyttes til lusebehandlinger, men data på lusebehandlinger hentet fra Barentswatch koblet med data på filetfarge tyder på en negativ effekt av mange lusebehandlinger.

Det ble også sett på variasjon mellom smoltprodusenter. Seks settefiskleverandører kan knyttes til vesentlig høyere astaxanthin-innhold i fileten til slaktet fisk og ytterlige seks kan knyttes til noe høyere astaxanthin-innhold. Med unntak av ett anlegg var alle disse anleggene gjennomstrømningsanlegg. Videre fant vi at astaxanthin-konsentrasjon var litt lavere i smolt satt ut på våren, mens det ikke var vesentlige forskjeller mellom smolt satt ut som 0-åring eller ett-åring. Årsakene til at det var stor variasjon mellom settefiskprodusenter i filetfarge ved slakt er ikke kjent, og bør undersøkes nærmere.

I sum bidrar resultatene fra dette prosjektet til å identifisere og gi bedre forståelse av faktorer som påvirker pigmentering i laks, slik at oppdrettere blir bedre i stand til å planlegge sin produksjon og sette inn tiltak for å bedre innfarging, noe som er viktig for omdømmet til norsk oppdrettslaks.

English summary

Fillet color is one of the most important quality criteria for farmed salmon. Pale fillets and fillets with uneven coloring will lead to downgrading and financial loss for breeders. It has been claimed for some time that the color of the fillet of Norwegian farmed salmon has become paler. But the extent of the problem and the potential causes is not known. The aim of the project was therefore to get an overview of the prevalence of the problems and when they started. A survey was made by using a questionnaire that was sent to fish farmers and quality data on slaughter fish was obtained from commercial farms, which together with other information on slaughter time, place, number of lice treatments, age and time of release, were entered into statistical models to identify factors that contribute to pale fillet colour. Data from Nofima's R&D concessions in the south, mid and north of Norway were also used in data analysis. Here, a closer follow-up of the color in the fillet has been done throughout the entire production cycle so that color development and deposition of astaxanthin can be followed during the year. The results from the survey and the data analysis were then assessed against available knowledge about pigmentation.

The results both from the survey, data from commercial farming and from the R&D licenses to Nofima show that there has been a decline in fillet color that started around 2013 and has continued until around 2021. After this, fillet color has increased somewhat, while greater variation is observed in fillet color compared to before. In 2012, all observations were between 5 and 7.5 mg/kg, while in 2023 the astaxanthin concentration varied between 4 and 8 mg/kg. This also indicates that some breeders do not have a problem with color, but most (92%) answered that they had experienced problems, that it had persisted over time, and that it had been observed in all regions where they had production. What is considered poor pigmentation varies a great deal among farmers, values between 22 and 27.5 were stated as acceptable minimum values for the SalmoFan score and between 5-7 mg/kg for pigment content in fillets. 27% of the respondents answered that there was a problem with coloring in 20-40% of the production, but 27% answered that it occurred in around 2% of the fish. Various measures had been taken to achieve better color, most of them had increased the content of pigment in the feed, diet concentrations are now commonly between 50-70 mg/kg. Several had also increased the content of EPA/DHA and vitamins (C and E).

Some producers also provided quality data such as fatty acid composition in fillets. In the same period of time that a decrease in astaxanthin in fillet has been observed, there was also a decrease in EPA and DHA in fillet and an increase in omega-6 fatty acids. A positive correlation was found between the content of omega-3 and astaxanthin in fillet ($r=0.5$), and a weaker negative correlation was observed with omega-6 fatty acids ($r=-0.1$). In recent years, the content of omega-3 in fillets has increased somewhat, but they are still somewhat lower than they were in 2012 and 2013. The positive effect of omega-3 fatty acids on the deposition of astaxanthin in fillets has been shown in several scientific studies, but the biological mechanism for the positive effect of omega-3 is not known.

The results from the surveys and the production data analyzes indicate that certain factors can help to explain the variation in the coloring achieved. Carcass weight had a strong positive correlation with color in the fillet. The content of pigment increases until the fish is about 5 kg, and then it levels off. There is also variation in fillet color linked to the time of year the fish is slaughtered, where autumn stands out positively in the data set from commercial productions, while fish slaughtered in the spring had a poorer color. The answers in the survey also indicated the same trend. In the R&D concessions, however, there was poorer pigmentation in fish slaughtered in autumn and winter than in fish slaughtered in spring and summer, but here there were fewer data from autumn/winter, which makes the conclusions more uncertain. In the R&D concessions, there was also a negative effect of fillet gaping on pigmentation, while the fat content in fillets was positively correlated with color.

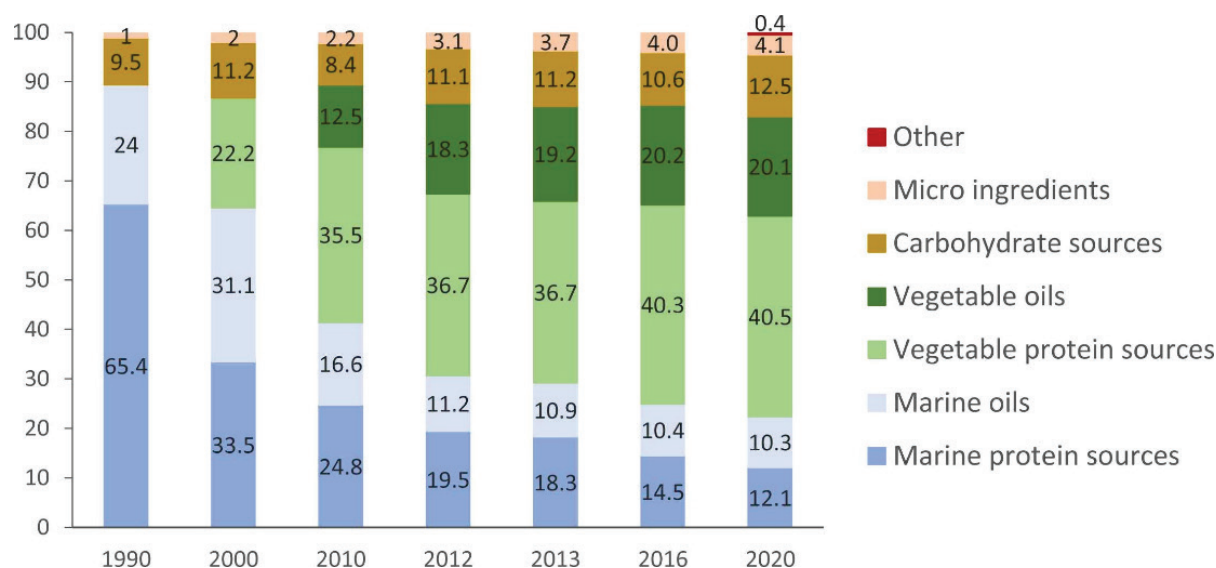
Data from both commercial productions and the R&D licences of Nofima showed a negative correlation between the content of astaxanthin in fillets and growth and feed factor. Six of the respondents (55%) also answered that they experienced reduced coloring after periods with rapid growth. In the commercial productions, southern production areas seem to consistently achieve higher astaxanthin content than northern ones. In the R&D licenses, the locations in the south had poorer pigmentation, while those in the central region came out the best. This is probably due to major problems with disease and lice in the southern R&D licenses, which led to earlier slaughter and a greater spread in weight. Data from the commercial productions showed a clear negative effect of the number of weeks of mechanical lice removal on the astaxanthin content in fillets at slaughter. However, only two out of eleven respondents in the survey believed that poor coloring could be linked to lice treatments, but data on lice treatments obtained from Barentswatch combined with data on fillet color indicate a negative effect of many lice treatments.

Variation between smolt producers in fillet color at slaughter was also examined. Six hatchery suppliers can be linked to significantly higher astaxanthin content in the fillet of slaughtered fish and a further six can be linked to somewhat higher astaxanthin content. With the exception of one facility, all were flow-through facilities. Furthermore, we found that astaxanthin concentration was slightly lower in smolt released in the spring, while there were no significant differences between smolt released as 0-year-old or one-year-old. The reasons why there was a significant variation between hatchery producers in fillet color at slaughter are not known and should be investigated further.

In sum, the results from this project provide a better understanding of factors that affect pigmentation in salmon, so that breeders are better able to plan their production and implement measures to improve coloration, which is important for the reputation of Norwegian farmed salmon.

2 Innledning

Det er en utbredt oppfatning at fargen i filet til norsk oppdrettslaks har blitt dårligere i løpet av de siste 10 årene. For 10 år siden kunne man oppnå 7 mg/kg astaxanthin i laksemuskel, mens i dag ligger man oftest nærmere 6 mg/kg. Samtidig har nivået av astaxanthin i fôret økt fra om lag 40 mg/kg i tilvekstfasen i sjø til 50-70 mg/kg i dag. Omfanget og utbredelse av dårlig pigmentering både geografisk og i tid er lite dokumentert. I samme periode som problemene med dårlig pigmentering har økt har det også skjedd store endringer i fôrets sammensetning, mengden fiskeolje og fiskemel har gått ned og andelen planteingredienser er økt tilsvarende (Ytrestøyl m fl. 2015, Aas m fl. 2019, 2022). De største endringene i fôrsammensetning skjedde før 2010 (Figur 1), men fra 2012 til 2020 er andelen fiskemel i fôret redusert med 7,5 % mens andelen fiskeolje er redusert med kun om lag 1 %. Kartleggingene som Nofima har gjort på utnyttelse av fôrressurser viser at fôret i 2012 inneholdt 2,6 % EPA+DHA, 2,4 % i 2016 og 2,2 % EPA+DHA i 2020.



Figur 1 Endring i laksfôrets sammensetning de siste 10-årene (Fra Aas m fl. 2022)

Problemene med lakselus har økt i omfang de siste 10 årene og fisken utsettes for flere behandlinger, bl.a. er hyppig mekanisk og termisk behandling mot lakselus vanlig. Dette medfører betydelig stress for fisken. Samtidig har det blitt mer mangfold i måter å produsere settefisk på med mer utsett av større settefisk, ofte produsert i RAS med utsett gjennom en større del av året. Det er godt dokumentert at det er årstidsvariasjoner i utnyttelse av astaxanthin (Torrissen m fl. 1995; Mørkøre og Rørvik 2001; Nordgarden m fl. 2003, Ytrestøyl m fl., 2006, 2008) noe som skyldes effekter av temperatur og fotoperiode på veksthastighet og fordøyelighet av astaxanthin (Ytrestøyl m fl. 2005, 2006, Rørvik m fl. 2010). Det er også vist forskjeller i pigmenteringsmønster mellom laks satt ut som 0+ og 1+ (Mørkøre og Rørvik 2001, Ytrestøyl m fl. 2004) noe som sannsynligvis skyldes forskjellig vekstmønster gjennom deler av året.

En annen mulig forklaring på dårlig pigmentering som har vært nevnt er stabiliteten på astaxanthin-produktene som brukes i fôret. Der det tidligere var to produsenter av astaxanthin (Roche/DSM og BASF) er det nå flere syntetiske astaxanthin-kilder til bruk i laksefôr på markedet. Om disse kan ha dårligere utnyttelse i fisken eller lavere stabilitet under lagring er ikke kjent, men det må antas at fôrprodusentene har noe kunnskap om dette. Det har også vært hevdet at man har sett en nedgang i farge i filet etter at det ble forbudt å tilsette antioksidanten ethoxyquin i fiskemelet, og dette er også noe man bør undersøke nærmere.

Forskning gjort av Nofima de seinere år har pekt på noen faktorer som har betydning for filetfarge. I flere prosjekt, blant annet i FHF prosjektet «Samspill i fôr, miljø og fiskehelse, Optihealth, 901282) var det en positiv effekt av høyere DHA-nivå på filetfarge selv om årsakssammenhengene ikke er klarlagt. Fisk som går lenge i RAS før utsett i sjø får en dårligere innfarging i første periode i sjøfasen, men det var ingen forskjeller ved slaktestørrelse mellom fisk satt ut ved ulik størrelse (Ytrestøyl m fl. 2018). I et pågående prosjekt har vi også nylig funnet indikasjoner på at gjentatt stress i form av trenging og hypoksi kan føre til redusert innfarging av fileten (FHF 901623 «Diettfaktorer og fysiologiske mekanismer samspiller og styrer pigmentering av laksemuskel»). Stress påført fisken rett før slakting, og metode for bedøvelse/avliving kan potensielt også påvirke fargen i fileten, og effekten av dette er undersøkt i ulike studier, men uten at det er påvist klare effekter av ulike metoder (Sigholt m fl. 1997, Robb m fl. 2000, Erikson m fl. 2006). Sykdomsutbrudd, særlig av PD er vist å ha negativ effekt på filetfarge (Larsson m fl.2012), men også andre infeksjoner medfører stress på fisken noe som kan påvirke pigmentering.

Det er vanskelig å peke hvilke av disse endringene som har størst betydning for reduksjonen i filetfarge, og årsakene til dårlig pigmentering er sannsynligvis sammensatte og komplekse. Dette prosjektet gir en oversikt over omfanget av problemet, og også hvordan farge i fileten har utviklet seg over tid. For å få en oversikt over mulige årsakssammenhenger er det gjort en grundig gjennomgang av tilgjengelig kunnskap om faktorer som kan påvirke pigmentering som publiseres i form av en review artikkel. Ved å koble tilgjengelig vitenskapelig kunnskap med informasjon fra kommersielle produksjoner, både i form av objektive kvalitetsdata og erfaringer som er kommet fram i spørreundersøkelser blant næringsaktører, er det funnet årsakssammenhenger som kan gi grunnlag anbefalinger til tiltak for å forbedre pigmentering. Det er også avdekket kunnskapsmangler som bør prioriteres i fremtidig forskning.

Nofima har FoU konsesjoner i hele landet (nord, midt, sør) og fra disse har vi hentet data på pigmentering som er benyttet i prosjektet. I starten av prosjektperioden ble det arrangert et åpent seminar ved Nofima på Ås hvor det ble presentert og diskutert erfaringer omkring pigmentering.

Seniorforsker Trine Ytrestøyl i avdeling Ernæring og fôrteknologi i Nofima, har vært prosjektleder. Hun har sin doktorgrad på pigmentering i laksefisk og i en periode på over 20 år jobbet med problemstillinger knyttet til pigmentering av laksefisk. Prosjektgruppen har bestått av forskere i Nofima med et bredt kontaktnett i industrien og med lang erfaring med FoU på pigmentering, fettmetabolisme, slaktekvalitet og ernæringsbehov: Jens-Erik Dessen (forsker avdeling Ernæring og fôrteknologi), Renè Alvestad (forsker avdeling for Produksjonsbiologi), Bjarne Hatlen (seniorforsker avdeling Ernæring og Fôrteknologi), Professor Bente Ruyter, (seniorforsker avdeling Ernæring og fôrteknologi) Sissel Albrektsen (seniorforsker avdeling for Ernæring og Fôrteknologi), Thomas Larsson, (forsker avdeling Ernæring og fôrteknologi).

Referansegruppen i prosjektet har bestått av Jon Øvrum Hansen (Cargill), Trygve Sigholt (Biomar), Olai Einen (Cermaq) og Elin Tveit Sveen (Marø Havbruk).

3 Problemstilling og formål

Hovedmålet i prosjektet har vært å sammenstille erfaringsbasert og publisert kunnskap om pigmentering i laksemuskel for å bidra til å avdekke årsaker til dårlig pigmentering og gi anbefalinger om tiltak som kan bedre innfarging.

Farge i filet er et av de viktigste kvalitetskriteriene for oppdrettslaks. Blek filet, og filet med ujevn innfarging vil føre til nedklassifisering og økonomisk tap for oppdrettere. Hvor mye dette vil utgjøre vil variere med etterspørsel og laksepriser, men dårlig innfarging er også knyttet til tap av omdømme som det er vanskelig å sette en eksakt verdi på.

Tidlig i prosjektperioden ble det holdt et åpent seminar hvor forskere presenterte oppdatert kunnskap om temaet og kommersielle oppdrettere delte sine erfaringer.

I prosjektet er det gjort en kartlegging av utbredelse om omfang av problemer med dårlig pigmentering ved hjelp av spørreskjema og innsamling av data fra kommersielle oppdrettere. Data fra Nofimas FoU-konsesjoner i nord, midt og sør-Norge er sammen med data fra kommersielle produksjoner brukt i statistiske modeller for å kartlegge årsaker til dårlig pigmentering.

Videre er det gjort en litteraturgjennomgang av tilgjengelig vitenskapelig informasjon og rapporter som belyser problemstillingen. Arbeidet vil bli publisert som en review artikkel i en internasjonal journal.

Det publiseres også en populærvitenskapelig artikkel og et faktaark fra prosjektet.

4 Prosjektgjennomføring

For å få oversikt over situasjonen i industrien er prosjektet avhengig av tilgang på erfaringsdata fra næringsaktører, og det ble derfor inngått intensjonsavtaler med flere store oppdrettsselskap og fôrprodusenter om tilgang til kvalitetsdata og erfaringer som kommer frem i intervju og spørreundersøkelser. Spørreskjema ble også sendt til oppdrettere som ikke hadde inngått intensjonsavtale i prosjektet (vedlegg 1). Det ble i alt sendt ut spørreskjema til 26 oppdrettsselskap som representerer i alt ca. 530 matfiskanlegg.

Nofima har også FoU konsesjoner i hele landet (nord, midt, sør) og data fra disse ble også benyttet i prosjektet.

Prosjektet har vært organisert i 4 arbeidspakker:

Arbeidspakke 1: Gjennomgang og sammenstilling av relevant tilgjengelig litteratur om pigmentering av laksefisk

Formålet med denne arbeidspakken har vært å samle og gjennomgå all tilgjengelig og relevant litteratur på pigmentering av laksefisk. Det er særlig lagt vekt på det som har skjedd de siste 20 årene, siden det ikke har vært publisert noen slik gjennomgang på over 20 år (Torrissen et al., 1989; Storebakken og No, 1992; Bjerkeng, 2000). Siden den gang har lakseføret endret seg fra et nesten rent fiskemel- og fiskeoljebasert fôr til dagens moderne laksefôr hovedsakelig basert på vegetabiliske råvarer (Ytrestøyl et al., 2015; Aas et al. 2019). Samtidig har det skjedd en rekke andre endringer i produksjonen av laks, som nevnt ovenfor. Det har også vært en rivende utvikling i relevant metodikk for vevsanalyse og dataanalyse, som transkriptomikk, metabonomikk, big data analyser, etc. som muliggjør økt kunnskapsproduksjon. Både publiserte vitenskapelige artikler og mindre tilgjengelig litteratur, som rapporter, masteroppgaver, sammendrag fra møter, etc., er samlet inn og gjennomgått. Det er utarbeidet et manuskript basert på arbeidet for publisering som en review-artikkel i et vitenskapelig tidsskrift.

Arbeidspakke 2: Innsamling av erfaringsdata

Formålet med denne arbeidspakken var å samle inn erfaringsbasert kunnskap fra industrien både gjennom produksjonsdata fra slaktefisk og gjennom intervju og spørreundersøkelser blant næringsaktører. Det har vært et mål å få tilgang til produksjonsdata og erfaringsdata fra oppdrettsselskap som har aktivitet i ulike regioner, både i Norge og i andre lakseproduserende land. Det har også vært samlet data fra Nofimas FoU konsesjoner som er lokalisert i sør, midt og i nord-Norge.

Det har også vært et mål å få mest mulig informasjon om faktorer som potensielt kan påvirke pigmentering, og i spørreskjema (vedlegg 1) ble det blant annet spurt om informasjon om følgende faktorer:

- Geografisk beliggenhet (hvor fisken er produsert)
- Behandlingsmetoder og hyppighet av behandlinger mot lakselus
- Sykdomsutbrudd (PD, andre relevante sykdommer)
- Hvor i produksjonskjeden rapporteres kvalitetsavvik (ved slakt, etter prosessering)
- Fôrsammensetning (avhengig av tilgjengelig info)
 - Astaxanthin konsentrasjon
 - Protein/fett ratio
 - Proteinråvarer (Marin/vegetabilsk, spesielle råvarer)
 - Fettsammensetning (fiskeolje/rapsolje, fettsyresammensetning)

- Slaktestørrelse, slaktetidspunkt
- Smoltkvalitet og tidspunkt for utsett o 0+ eller 1+
 - RAS/gjennomstrømning/salinitet
 - Smoltifiseringsstimuli

Arbeidspakke 3: Statistisk analyse av erfaringsdata

I denne arbeidspakken er statistiske modeller benyttet for å finne sammenhenger mellom ulike pigmenteringsmønstre og faktorer nevnt i AP1 som kan påvirke pigmentering. Miljøet fisken møter etter utsett varierer med årstid og region, og eksponering for patogener og lusepåslag vil også være ulikt. Særlig behandlinger mot lus medfører stress, som har vært nevnt som en mulig årsak til dårlig pigmentering. Eksplorative multivariate metoder, f.eks. faktoranalyse eller beslutningstrær, er brukt for å belyse sammenhenger og korrelasjoner mellom responsvariabler og forklaringsvariabler, og som grunnleggende for videre analyser. Regresjonsmodeller, parametriske eller semi-parametriske, er brukt for å vurdere i hvilken grad ulike variabler bidrar til variasjon i pigmentering. Spørreundersøkelsene er utformet med henblikk på kategorisk dataanalyse, for eksempel kjiqvadrert-tester av kontingenstabeller, for å kunne belyse sammenhenger mellom opplevd utilstrekkelig pigmentering og produksjons- eller fôrrelaterte faktorer. Svar fra spørreskjema og intervju er gjennomgått og informasjonen kategorisert og sammenfattet opp mot resultater av data-analysen og sammenstilling av tilgjengelig litteratur fra AP1.

Arbeidspakke 4: Formidling og dialog med næringsutøvere

Prosjektet er gjort kjent gjennom nyhetsoppslag via Nofima sin kommunikasjonsavdeling. I nyhetssaken var det også informasjon om og link til påmelding til det åpne seminaret for næringsaktører som ble arrangert i begynnelsen av prosjektet. Fra Arbeidspakke 1 vil det bli publisert en review artikkel i et vitenskapelig tidsskrift. Resultatene fra prosjektet formidles også i form av en populærvitenskapelig artikkel i Norsk Fiskeoppdrett, og gjennom nyhetssaker på relevante nettsteder (Intrafish, Kyst.no) delt av Nofima i sosiale medier (facebook, twitter, LinkedIn).

Det er også laget et faktaark som oppsummerer de viktigste funn fra prosjektet.

5 Oppnådde resultater, diskusjon og konklusjon

5.1 Resultater fra spørreundersøkelse

5.1.1 Metode

En spørreundersøkelse bestående av 35 spørsmål ble utformet og sendt ut våren 2023. Undersøkelsen ble sendt ut til kvalitetsansvarlige i 26 store og små lakseprodusenter i Norge, hvorav 10 (38 %) besvarte. En engelskspråklig utgave av undersøkelsen ble sendt til 3 større lakseprodusenter med drift i Canada og/eller Chile. To av disse internasjonale aktørene besvarte undersøkelsen. Undersøkelsen ble utformet med programvaren Microsoft Forms.

Undersøkelsen inneholdt forgreninger, slik at kun respondenter som svarte «Ja» på spørsmål 5 ble gitt spørsmålene 6 til og med 30. Likeledes ble kun respondentene som svarte «Ja» eller «Annet» på spørsmålene 21, 24, og/eller 28, gitt henholdsvis spørsmålene 22 og 23, 25 til 27, samt 29 og 30.

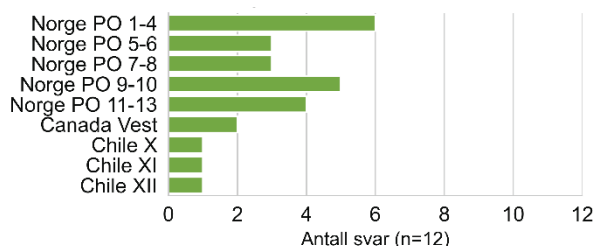
5.1.2 Resultater

Spm. 1: Hvor mange matfiskanlegg svarer du på vegne av?

Antall svar (n): 12.

Respondentene svarte på vegne av fra under 10 til over 100 lokaliteter.

Spm. 2: I hvilke regioner oppdrettes fisken dere slakter? (Flere svaralternativer er mulig)



Spm. 3: Hvordan evaluerer dere farge og pigmentinnhold i fisken? (Flere svaralternativer er mulig)

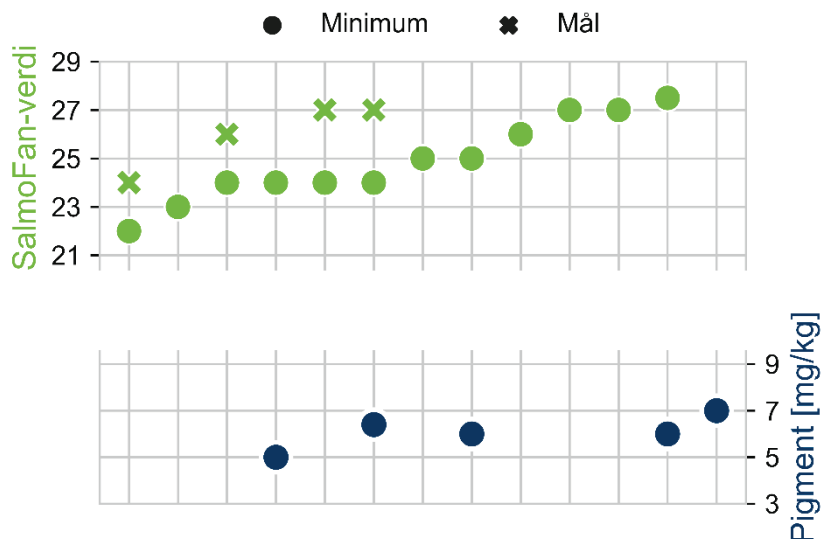
Antall svar (n): 12.



Spm. 4: Hva regner dere som dårlig pigmentering? Angi, for eksempel, pigmentkonsentrasjoner eller SalmoFan-verdier dere regner som utilstrekkelige.

Antall svar (n): 11.

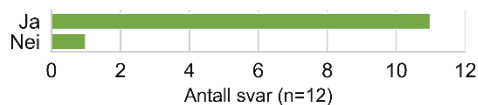
Elleve respondenter oppga akseptable minimum-verdier for SalmoFan-score mellom 22 og 27,5; en av disse respondentene oppga 22 som akseptabelt minimum for fisk under 3 kg og 24 for fisk som er over (Figur 2). Fire respondenter oppga verdier mellom 24 og 27 som mål for innfarging; en av disse respondentene oppga 24 som mål for fisk under 3 kg og 27 for fisk som er over. Fem respondenter oppga akseptable minimumskonsentrasjoner for pigment på mellom 5 og 7 mg/kg.



Figur 2 Respondentenes (n=11) oppgitte svar på spørsmålet «Hva regner dere som dårlig pigmentering». Her er minste akseptable verdier for Salmofan-score og pigmentkonsentrasjon oppgitt, samt ønskede verdier for Salmofan-score.

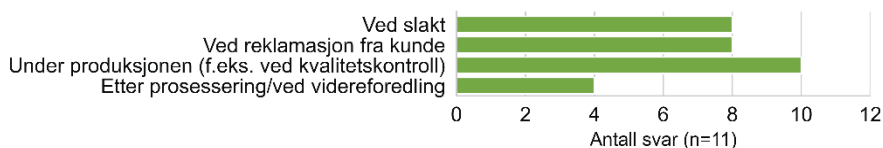
Spm. 5: Har dere opplevd problemer med pigmentering i filet?

Antall svar (n): 12.



Spm. 6: Når i produksjonen oppdages/rapporteres kvalitetsavviket (reduisert pigmentering)? (Flere svaralternativer er mulig)

Antall svar (n): 11.



Spm. 7: I hvilket omfang forekommer problemet? Angi, for eksempel, omtrentlig prosentandel av slaktet fisk.

Antall svar (n): 11.

Tre respondenter svarte at problemet forekommer på mellom 20 % og 40 % av fisken som slaktes. Tre respondenter svarte at det forekommer på under 2 % av slaktet fisk. En av disse respondentene svarte at problemet likevel «anses som større», grunnet behovet for å øke pigmentinnholdet i fôret for å oppnå tilstrekkelig innfarging. En respondent svarte at andelen er «lav» men at dette forekommer jevnlig. En annen respondent svarte at problemet forekommer på enkelte generasjoner eller år, eller ved bruk av enkelte fôrtyper eller fôrleverandører. En respondent svarte at det er lokalitetsspesifikt, men at det varierer mellom under 2 % og opptil 6 %. En respondent svarte at de ikke har hatt problemer siden 2019.

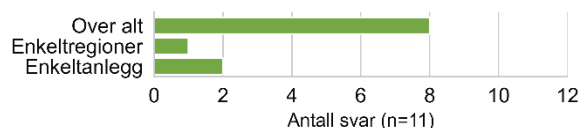
Spm. 8: Hvordan fortøner problemet seg? Er det, for eksempel, som ujevn fordeling av farge i fileten eller at hele fileten har jevn men dårligere innfarging? Beskriv gjerne.

Antall svar (n): 11.

Fire respondenter svarte at innfargingen er jevn, men for dårlig. Syv respondenter oppga at både jevn, men for dårlig, innfarging og skjoldet/ujevn innfarging forekommer.

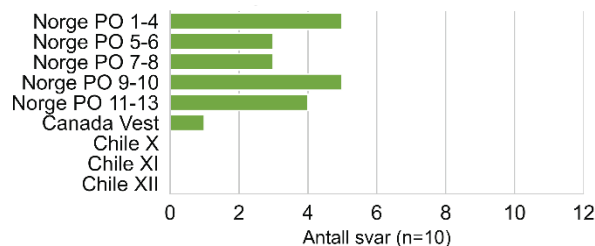
Spm. 9: Er problemet knyttet til enkeltanlegg, enkelte regioner, eller forekommer det overalt hvor dere har virksomhet?

Antall svar (n): 11.



Spm. 10: I hvilke regioner har dere opplevd problemer med redusert pigmentering? (Flere svaralternativer er mulig)

Antall svar (n): 10.



Spm. 11: Har disse regionene/anleggene spesifikke og gjentatte sykdomsutfordringer? Vennligst beskriv disse.

Antall svar (n): 10.

Fire respondenter svarte at de ikke har hatt slike utfordringer, eller ikke utover det som er vanlig for deres region. Utover dette nevnes ILA (to respondenter), PD (to respondenter), CMS (tre respondenter) og HSMB/PRV (tre respondenter), gjelleutfordringer (to respondenter), Moritella/vintersår (to respondenter, og Pasteurella (en respondent). Spesifikt for Canada nevnes «Yellow mouth», en betegnelse på infeksjon med *Tenacibaculum* spp. og algeutfordringer (en respondent).

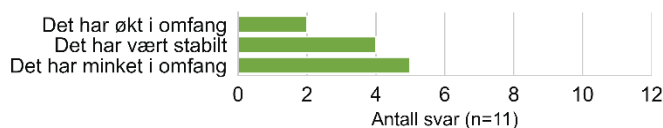
Spm. 12: Når opplevde dere først at redusert pigmentering i filet ble et problem? Angi, for eksempel, et årstall.

Antall svar (n): 11.

Av respondentene som oppga spesifikke tidsangivelser nevnes 2018/2019 (tre respondenter), 2015/2016 (en respondent), 2011/2012 (to respondenter). De resterende respondentene svarte at de ikke har konkrete tidsangivelser eller at det har vært tilstede i lang tid.

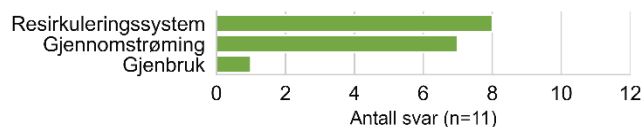
Spm. 13: Har problemet med redusert pigmentering minket i omfang, vært stabilt over lengre tid, eller økt i omfang? Skriv gjerne i annet-boksen hvis, for eksempel, enkelte år har skilt seg ut.

Antall svar (n): 11.



Spm. 14: I hvilken type produksjonssystem produseres fisken før den settes ut i sjø?

Antall svar (n): 11.



Spm. 15: Forekommer problemer med redusert pigmentering oftere på fisk som ble satt ut som nullåring (0+) eller ettårig (1+) smolt, eventuelt storsmolt (settefisk over 250 gram)? (Flere svaralternativer er mulig)

Antall svar (n): 11.

En respondent svarte at det forekommer oftere på nullåring. En respondent svarte at det forekommer oftere på storsmolt. De resterende respondentene synes å ikke ha sett noen systematisk variasjon knyttet til strategi for sjøsetting av settefisk.

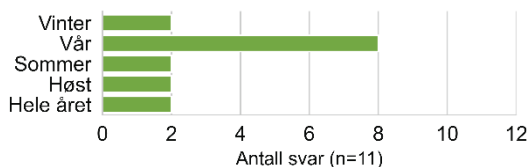
Spm. 16: Forekommer problemer med redusert pigmentering oftere ved bruk av bestemte lusebehandlingsmetoder eller ved et bestemt antall behandlinger?

Antall svar (n): 11.

Ni av respondentene svarte at de ikke har observert dette eller har indikasjoner på det. En respondent svarte at de har sett tegn til dette i forsøk, men ikke i produksjonsdata fra kommersiell produksjon. En respondent svarte at flere behandlinger gir dårligere pigmentering.

Spm. 17: Når på året observeres problematiske forekomster av redusert pigmentering i slaktet fisk? (Flere svaralternativer er mulig)

Antall svar (n): 11.



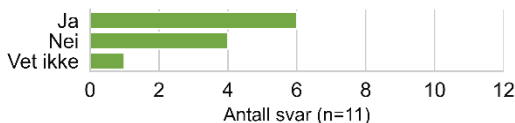
Spm. 18: Ser dere variasjon i innfarging som kan knyttes til fiskens størrelse ved slakt?

Antall svar (n): 11.



Spm. 19: Ser dere en nedgang i innfarging som kan knyttes til hurtig vekst?

Antall svar (n): 11.



Spm. 20: Ser dere en reduksjon i pigmentering i grupper som har gjennomgått mange avlusninger?

Antall svar (n): 11.



Spm. 21: Bruker dere rognprodukt/genetisk materiale selektert for bedre pigmentering?

Antall svar (n): 11.



En respondent svarte «Annet» og oppga et spesielt avlsprodukt. Det er uklart om dette har hatt avlsmål knyttet til innfarging.

Spm. 22: Hvilket rognprodukt/genetisk materiale selektert for bedre pigmentering bruker dere?

Antall svar (n): 3.

De to respondentene som besvarte forrige spørsmål med «Ja», henviste begge til AquaGen RED.

Spm. 23: Ser dere en bedring i pigmentering ved bruk av dette rognproduktet/genetiske materialet?

Antall svar (n): 3.

En respondent svarte «Nei». Den andre respondenten svarte «Vet ikke».

Spm. 24: Har dere begynt å bruke andre førsammensetninger, for eksempel med høyere innhold av pigment eller omega-3 fettsyrer, som følge av problemer med redusert pigment i filet?

Antall svar (n): 11.



Tre respondenter svarte «Annet». En av disse utdypet at de ikke har endret førsammensetning for øvrig, men at de ikke reduserer astaxanthin-konsentrasjonen fra 50 mg/kg ved oppnådd innfarging, noe de

tidligere har gjort. En respondent svarte at de bruker astaxanthin-konsentrasjoner på 50 mg/kg eller 70 mg/kg gjennom hele produksjonen. En respondent svarte at de bruker Salmon Group sin fôrresept.

Spm. 25: Hvilke endringer i førsammensetning har dere gjort?

Antall svar (n): 8.

Seks respondenter svarte at de har økt pigmentkonsentrasjonen. To respondenter svarte at de har økt vitaminkonsentrasjoner, og en av disse oppgir spesifikt at de øker konsentrasjonene av vitaminene C og E, sammen med innholdet av n-3-fettsyrer, ved lave temperaturer. Den andre av disse respondentene oppga at de har økt innholdet av mineraler, men ikke hvilke. En respondent svarte at de har økt andelen vegetabiliske råvarer. En av respondentene svarte at de benytter Salmon Group sin fôrresept (ikke den samme som svarte dette på forrige spørsmål), som har «større innslag av marine råvarer».

Spm. 26: Når ble disse endringene i førsammensetning gjort?

Antall svar (n): 7.

Respondentene oppga 2012, 2016-2017, 2018-2019, 2019, og 2020-2021.

Spm. 27: Hadde disse endringene i førsammensetning en målbar effekt?

Antall svar (n): 8.

En av respondentene som oppga å ha økt pigmentkonsentrasjonen i føret svarte at dette ikke har hatt noen effekt. En svarte «Vet ikke». De øvrige ga positivt svar på spørsmålet.

Spm. 28: Har dere gjort andre tiltak for å motvirke problemet med redusert pigment i filet?

Antall svar (n): 11.



To respondenter henviser til at de nå aldri bruker lavere pigmentkonsentrasjoner enn 50 mg/kg i føret under sjøfasen av produksjonen, eller at de bruker 70 mg/kg den første tiden i sjø.

Spm. 29: Hvilke tiltak har dere gjort?

Antall svar (n): 5.

To respondenter oppga å ha økt EPA/DHA-konsentrasjonen i føret og en av disse oppga spesifikt til 7,5 % av fettsyreinnholdet. En av disse respondentene oppga at de også byttet førselskap. En svarte at de har økt pigmentkonsentrasjonen i føret. En respondent oppga tiltak for å unngå PRV-smitte i settefiskanlegg. En respondent svarte at de har sammenlignet forskjellige fôrtyper.

Spm. 30: Hadde tiltaket en målbar effekt?

Antall svar (n): 6.

De to respondentene som svarte at de hadde økt EPA/DHA-nivået i fôret svarte «Ja» på dette spørsmålet. Tre respondenter svarte «Vet ikke». En respondent svarte at de «Har tro på» å begynne pigmenttilsetningen tidlig.

Spm. 31: Ved hvilken fiskevekt begynner dere med pigmenttilsetning (f.eks. astaxanthin) i fôret?

Antall svar (n): 12.

Fire respondenter svarte at de begynner med 50 mg/kg eller 70 mg/kg etter vaksinerings, når fisken er på «smoltstadiet», eller når fisken er ca. 50 gram. Fire respondenter svarte at de begynner med tilsetning (i høyere konsentrasjoner) ved utsett i sjø eller når fisken er ca. 100 g. Tre respondenter svarte at de begynner med pigmenttilsetning når fisken er 2, 5, eller 15 gram i gjennomsnitt, men disse oppgir ikke med hvilke konsentrasjoner.

Spm. 32: Hvilken strategi følger dere for administrering av pigment gjennom fôr: med hvilke konsentrasjoner og hvor lenge gis fôr inneholdende pigment?

Antall svar (n): 12.

Respondentene benyttet ulike strategier for tilføring av pigment gjennom fôret. Den mest benyttede strategien består i å benytte fôr med 50 mg astaxanthin per kg fôr fra utsett til slakt (7 av 10 respondenter). Blant respondentene som benytter denne strategien, oppga tre at de reduserer pigmentinnholdet, gjerne til 30 mg/kg, når de eventuelt oppnår ønskede verdier i kvalitetsprøvene. En av respondentene som benytter 50 mg/kg fra utsett til slakt svarte at de går opp til 70 mg/kg dersom de ikke oppnår ønskede verdier i kvalitetsprøvene.

Av respondentene som ikke benytter 50 mg/kg fra utsett til slakt, svarte en respondent at de benytter 70 mg/kg fra utsett til fiskegruppen oppnår en gjennomsnittlig individvekt på 1 kg, og deretter 50 mg/kg. Videre oppga en respondent at de benytter 70 mg/kg fra utsett, for deretter å gå ned til 60 mg/kg, uten å spesifisere når reduksjonen forekommer. Til sist oppga en respondent at de benytter 5 mg/kg fra fisken er yngel til den smoltfiserer, deretter benytter de 50 mg/kg i post-smolt-fasen, 70 mg/kg fra utsett i sjø til fisken oppnår en gjennomsnittlig individvekt på 2-3 kg, og deretter 50 mg/kg frem til slakt.

Spm. 33: Hva tror dere kan være årsakene til at redusert pigmentering av fileten forekommer?

Antall svar (n): 12.

Blant respondentenes egne hypoteser om årsakene til redusert pigmentering i fileten, nevnes «stress» av syv respondenter og hurtig vekst av to respondenter. Av disse nevnte tre spesifikt antioksidativt stress som en årsak. Tre respondenter svarte at kvaliteten på pigmentet som tilsettes kan være redusert. Tre respondenter oppga interaksjoner med øvrig fôr kvalitet som viktig for innfarging, hvorav to av disse spesielt pekte på fettsyresammensetning. Sykdom, miljø, og håndtering ble nevnt av tre respondenter, hvorav en av disse spesielt pekte på HSMB og CMS. Tre respondenter nevnte avl/genetikk som en mulig årsak. En respondent, lokalisert i Chile, svarte at avstand fra fôrfabrikken er et problem, da ca. 15 dagers transporttid medfører en nedbrytning av pigmentet i fôret.

5.2 Analyse av faktorer med betydning for farge i filet basert på data fra industrielle produksjoner

5.2.1 Datagrunnlag og metode

Slakte- og produksjonsdata ble innhentet fra fem produsenter med virksomhet i produksjonsområdene 1 til 12 og slått sammen med data fra Nofimas FoU-tillatelser (se kap. 5.3). Antall merder i de ulike produksjonsområdene var som følger: PO 1-2 (1533), PO 3-4: (1764), PO 5-6: (1262), PO 7-8: (826), PO 9-10: (459), PO 11-12: (707). Datasettene inneholdt registreringer av astaxanthin-nivåer, visuell fargescore, og fettprosent i NQC-prøver eller filet prøvetatt under produksjonen eller ved slakt. De inneholdt også, i varierende grad, data om geografisk plassering av produksjonen, generasjon og prøvetakingsdato, produksjonsforhold, og andre slaktekvalitetsparametere. Data knyttet til lusepress, lusebehandlinger, og sjøtemperatur ble hentet fra BarentsWatch (<https://www.barentswatch.no/>) og koblet til dataene fra produsentene. Etersom dataene fra BarentsWatch er på anleggsnivå og ikke inneholder nøkler som identifiserer unike produksjonssykluser ble sammenhengende, ukentlige registreringer på en lokalitet, med opphold i registreringene på mindre enn fem uker, brukt som kriterium for å skille produksjonssykluser. Disse ble koblet til produsentenes data basert på sammenfall i tid. Det har ikke vært mulig å koble alle produsentenes produksjonssykluser til dataene fra BarentsWatch, grunnet kvaliteten på sistnevnte datasett.

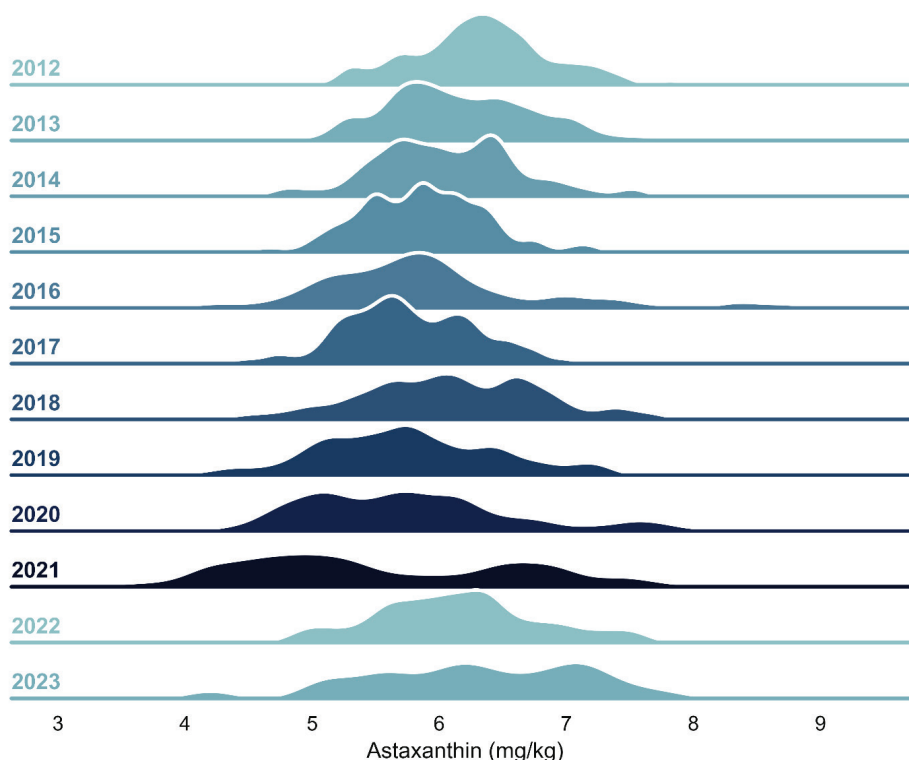
Forbehandling av dataene ble gjort ved hjelp av programbibliotekene Pandas og NumPy i programmeringsspråket Python, og noe visualisering ble gjort med programbibliotekene Matplotlib og Seaborn. Modellering og øvrig visualisering ble gjort ved hjelp av programpakken R med bibliotekene mgcv, mgcViz, gratia, ggplot2, og GGally.

5.2.2 Resultater

Grunnlagsdataene fra produsentene ga 6603 observasjoner, i form av slaktede merder, som kunne kobles til en opphavslokalitet eller produksjonsområde. Hos én av produsentene var det ikke mulig å koble de overleverte slaktedataene til enkeltanlegg, men kun til produksjonsområde. Fra flere av produsentene var det ikke mulig å skille mellom registreringer av pigment i kvalitetsprøver tatt underveis i produksjonen og pigmentinnhold i filet ved slakt. Fiskens vekt (rund) på prøvetakingstidspunktet var dog oppgitt for nær alle observasjonene. Utover dette inneholdt dataene fra de produsentene et ulikt antall variabler som kunne bidra til å belyse variasjonen i pigmentinnhold/innfarging.

Utvikling over tid, sesongvariasjon, og geografisk variasjon

Figur 3 viser overordnet utviklingen i målt astaxanthin-nivå i filet fra 2012 til 2023, hvor dataene fra 2012 inkluderer to produsenter, til sammen med aktivitet i alle landsdeler, fra 2016 tre produsenter, og fra 2018 fem produsenter. Gjennom disse årene har Astaxanthin-nivåene jevnt over gått noe nedover, men i 2022 og 2023 har nivåene beveget seg noe oppover igjen, men det er en betydelig og til dels økende spredning i datasettet, i 2023 varierer astaxanthin-konsentrasjonen mellom 4 og 8 mg/kg. Noen produksjoner kommer altså veldig dårlig ut med hensyn på farge, mens andre klarer å opprettholde nivået av astaxanthin i filet. Dette er i kontrast til de første årene, for eksempel i 2011, hvor alle astaxanthin-verdiene lå mellom ca. 7 og 8,5 mg/kg.



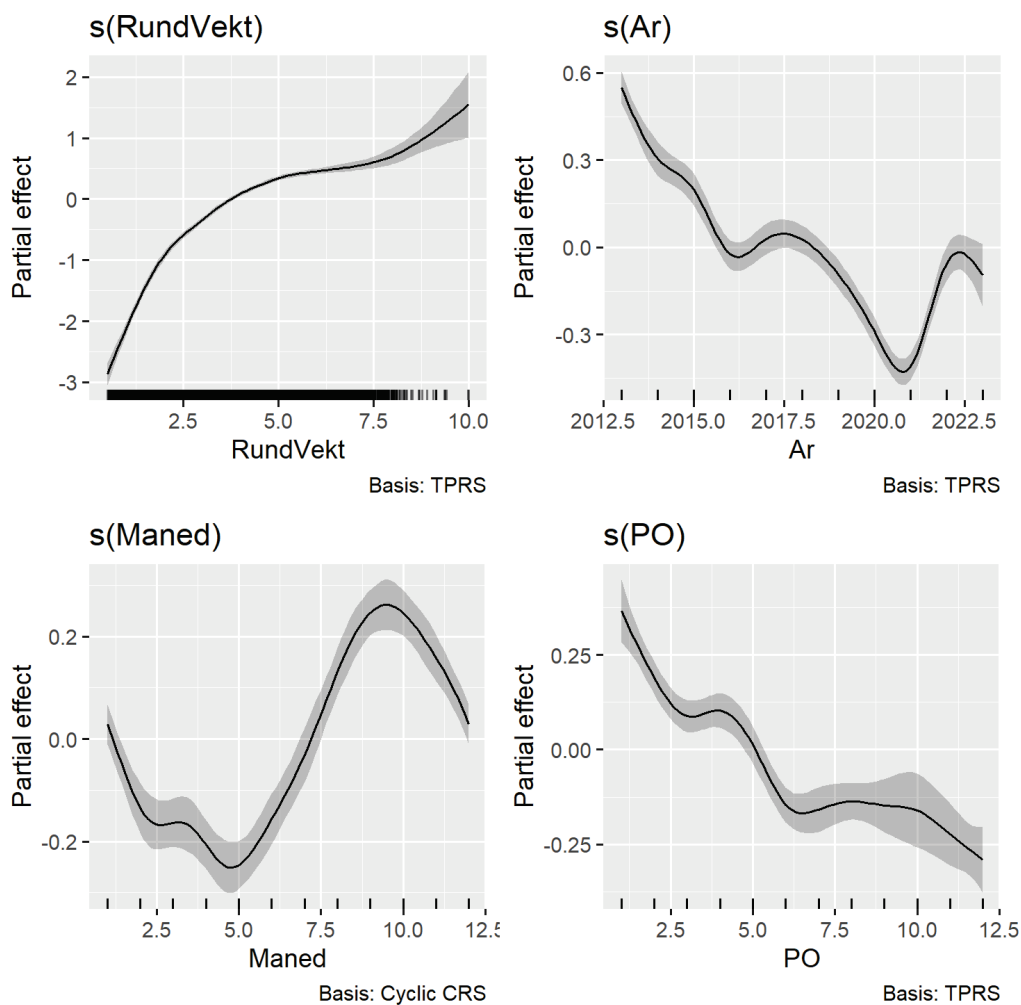
Figur 3 Astaxanthin konsentrasjon i oppdrettslaks fra 2012 til 2023 vist som et plott av andel laks med en gitt konsentrasjon av astaxanthin. Årstallet angir slaktetidspunkt.

For å nærmere belyse utviklingen i pigmentinnhold i filet over tid benyttet vi en blandet additivmodell (*Generalised Additive Mixed Model, GAMM*) med produsent som tilfeldig effekt, blant annet fordi vi ikke hadde lokalitetsidentifikatorer for alle produsentene.

$$E(y_i) = f(RV_i) + f(\text{År}_i) + f(\text{Måned}_i) + f(PO_i) + \varepsilon_i$$

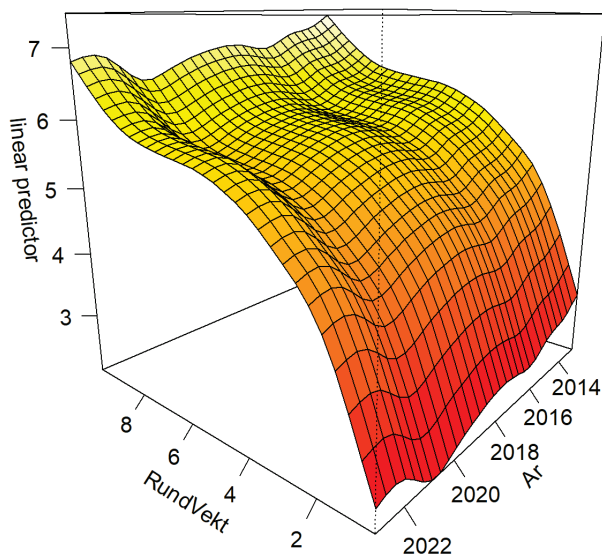
Hvor RV er rundvekt og PO er produksjonsområdet fisken ble oppdrettet i. År og måned angir tidspunktet for slaktning av fisken. Måned ble modellert som en syklisk effekt, hvilket gjør januar måned en kontinuasjon av desember måned når det gjelder effekten på pigmentinnhold. Kun slaktedata fra 2013 til 2023, og produksjonssykluser med endelig snittvekt <10 kg, ble inkludert i modellen. Modellen inkluderte 5357 observasjoner.

Alle inkluderte variabler var signifikante ($p < 0,001$), justert R^2 for modellen var 0,53. Figur 4 viser glattingsfunksjonene fra modellen, som visualiserer variablenes margineffekt på astaxanthin-innhold i filetene. Vi ser en klar effekt av fiskens vekt ved slakt, hvor astaxanthin-innholdet øker sterkt med økende vekt inntil det når et platå over 5 kg. Det er indikasjoner på en viss nedgang i astaxanthin-innhold over tid, hvor verdiene tilsynelatende nådde et bunnpunkt i 2021, for deretter å stige noe. Astaxanthin-innholdet ser ut til å være høyere i fisk slaktet ut på høsten, fremfor om våren. Innledende analyser indikerte at dette var forholdsvis likt for hele landet, men at mønsteret var mindre utpreget i Nord-Norge. Sørligere produksjonsområder ser ut til å oppnå jevnt over høyere astaxanthin-innhold enn nordligere.



Figur 4 Visualisering av glatningsfunksjoner fra blandet additivmodell som viser variablenes marginaleffekt på astaxanthin-innhold i filet. Variablene er rund vekt, årstall og måned for slakt, samt produksjonsområde.

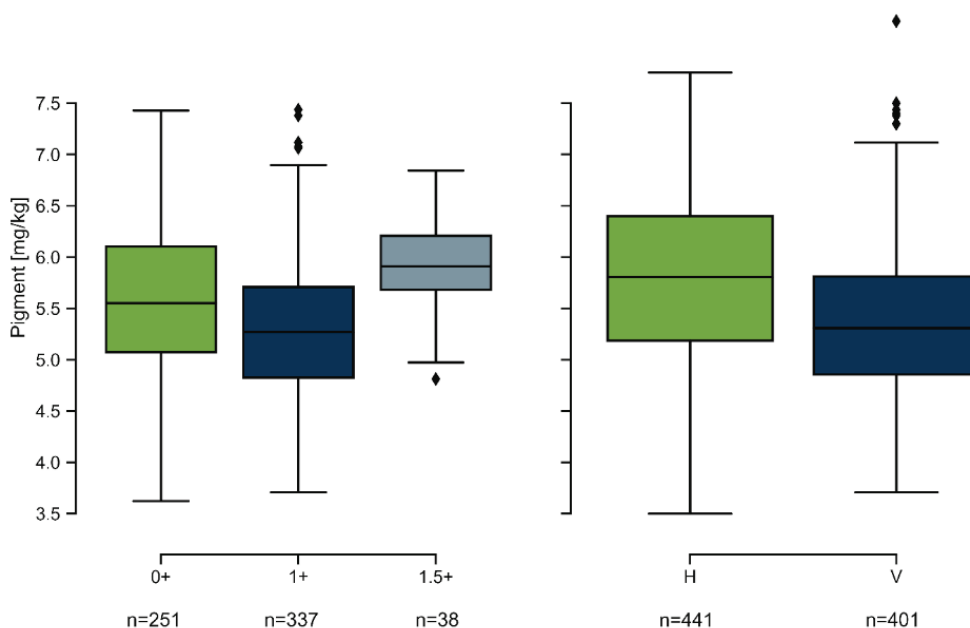
Figur 5 viser en sammenstilling av de modellerte effektene av årstall og rundvekt på astaxanthin-innhold i fillet. Nedgangen over tid er relativt sett lav i forhold til den variasjonen som følger av slaktevekt.



Figur 5 Årstall og rundvekt plottet mot modellert effekt på astaxanthin-innhold i filet. Modellen er en blandet additivmodell. Merk at ingen interaksjon mellom rundvekt og årstall er lagt inn i modellen.

Settefiskleverandør, tidspunkt for utsett, og type settefisk

Vi kunne hos to av produsentene forbinde innfargingsdataene til opphavelig smoltleverandør og hvorvidt fisken ble satt ut om høsten eller om våren. Hos to av produsentene var det også oppgitt hvorvidt fisken ble satt ut som null- (0+), ett- (1+), eller halvannetåring (1,5+). Figur 6 viser gjennomsnittlige astaxanthinverdier for fisk satt ut som 0-åring, 1-åring eller 1,5 årig smolt. Gjennomsnittlig astaxanthinkonsentrasjon var mellom 5,3 og 6, og det var noe høyere nivå i 1,5 årig smolt, enn i de to andre gruppene. Figuren viser også at astaxanthinkonsentrasjon ved slakt i smolt satt ut på høsten eller på våren, og nivået var litt lavere i smolt satt ut på våren.



Figur 6 Gjennomsnittlig målt/estimert astaxanthin-innhold i fiskegrupper med snittvekt mellom 3,5 kg og 5 kg, fra generasjonene fullført f.o.m 2017 t.o.m. 2023, plottet mot strategi for smoltproduksjon (nullåring (0+), ettåring (1+), og halvannetåring (1,5+)).

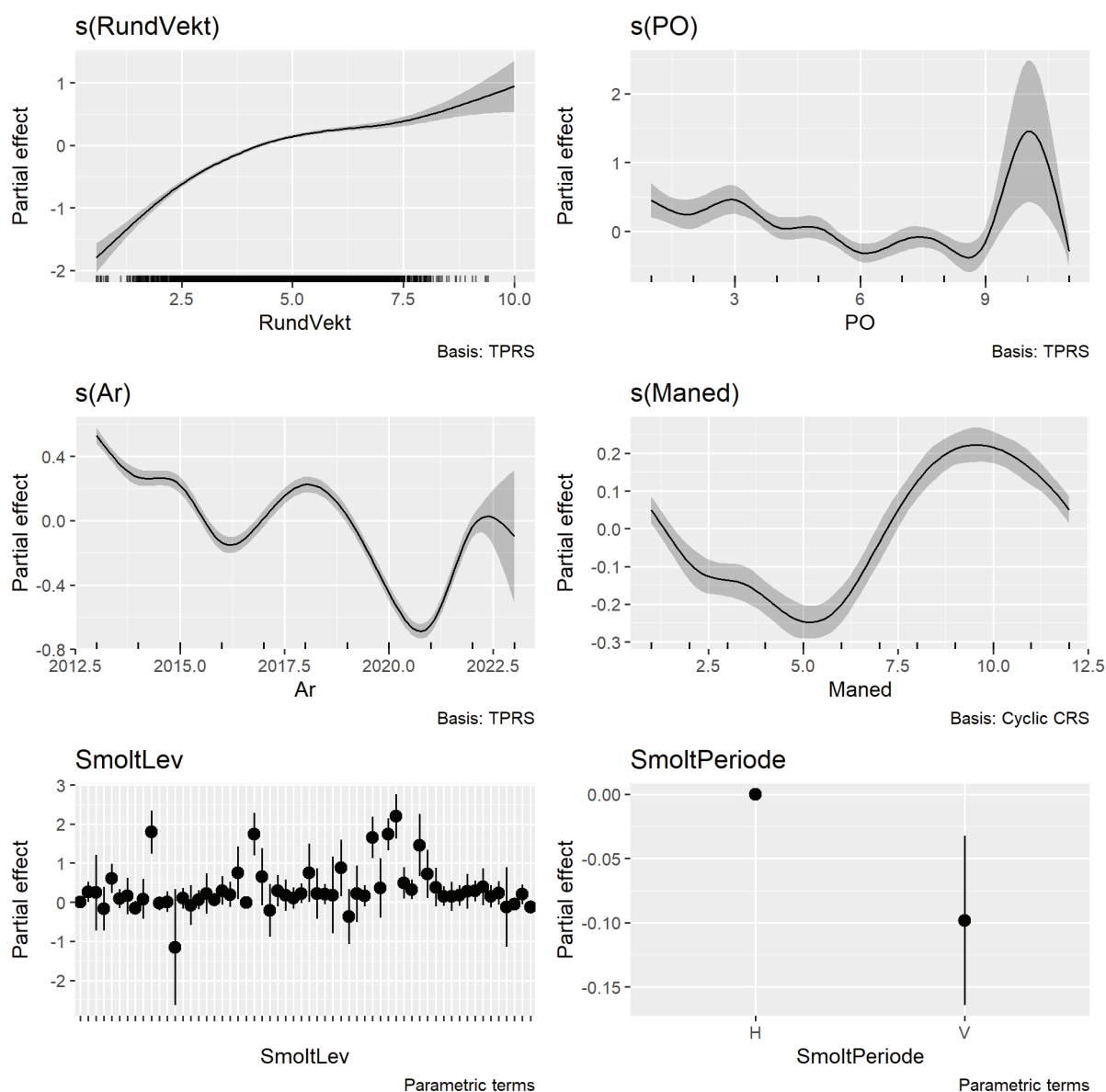
For å nærmere utrede sammenhengen mellom astaxanthin-innhold i fileten og settefiskleverandør og settefisktype, benyttet vi følgende GAM-modell, denne gangen med lokalitet som tilfeldig effekt (i):

$$E(y_i) = SL + ST + f(RV_i) + f(\text{År}_i) + f(\text{Måned}_i) + f(PO_i) + \varepsilon_i$$

Hvor SL og ST henholdsvis betegner settefiskleverandør og tidspunkt for sjøsetting (høst eller vår), RV er rundvekt og PO er produksjonsområdet fisken ble oppdrettet i. År og måned angir tidspunktet for slaktning av fisken. Måned ble modellert som en syklisk effekt. Kun slaktedata fra 2013 til 2023, og produksjonssykluser med endelig snittvekt <10 kg, ble inkludert i modellen. Analysen omfattet 3698 observasjoner knyttet til fire produsenter.

Alle variablene i modellen var signifikante ($p < 0,001$, men $p < 0,01$ for tidspunkt for sjøsetting) og justert R^2 for modellen var 0,63. Figur 7 viser glattingsfunksjonene og effektene av faktorvariablene fra modellen. Vi ser at seks settefiskleverandører kan knyttes til vesentlig høyere astaxanthin-innhold i fileten til slaktet fisk (marginaleffekt > 1 , $p < 0,001$) og ytterlige seks kan knyttes til noe høyere astaxanthin-innhold ($p < 0,01$). Av disse er det kjent for oss at ett av anleggene i perioden benyttet resirkulering av vann, mens resten var gjennomstrømningsanlegg. Det er ingen øvrige tegn her til at anlegg som er kjent for å ha benyttet resirkulering av vann skiller seg ut i noen retning.

Vi ser også at fisk satt ut om våren tilsynelatende har lavere astaxanthin-innhold i fileten ved slakt, selv om variasjonen her er stor. Mønsteret for glattingsfunksjonene er jevnt over likt som for foregående modell, men enkelte observasjoner i produksjonsområde 10 synes å trekke opp effekten på astaxanthin-innhold; bortfallet av produsent som tilfeldig effekt kan ha bidratt til dette.



Figur 7 Visualisering av glattingsfunksjoner og effekter av faktorvariabler fra blandet additivmodell som viser variablenes marginaleffekt på astaxanthin-innhold i fileten. Variablene er rund vekt, årstall og måned for slakt, produksjonsområde, smolt- eller settefiskeleverandør og tidspunkt for sjøsetting av smolt/settefisk; H: høst, V: vår.

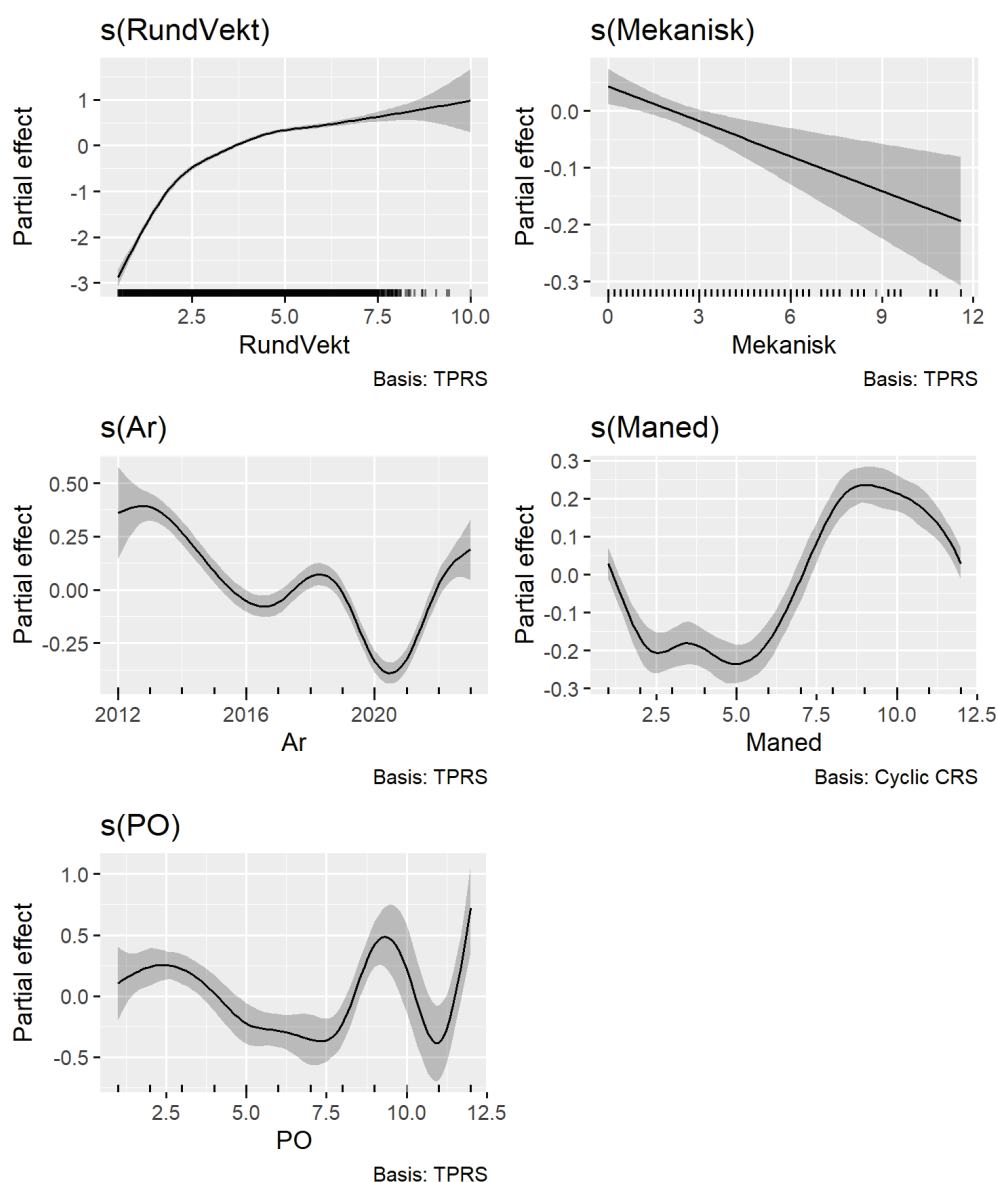
Sjøtemperatur, lusetall, og mekaniske lusebehandlinger

For fire av produsentene var det mulig å knytte registreringer av astaxanthin-innhold til data fra BarentsWatch. Etter en innledende utforskning av dataene ble det vurdert som interessant å se nærmere på effektene av gjennomsnittlig antall voksne hunnlus, antall uker med mekaniske avlusningsbehandlinger, antall uker et anlegg var over lusegrensen, og maksimumstemperatur under produksjonen. Ettersom BarentsWatch kun oppgir hvorvidt hele anlegget eller deler av anlegget ble avluset i en gitt uke, ble uker med mekanisk avlusning av deler av anlegget vektet som 1/5 av en uke hvor hele lokaliteten ble avluset. Modellen som ble benyttet, med lokalitet som tilfeldig effekt, var:

$$E(y_i) = s(MB_i) + s(LG_i) + s(VL_i) + s(TM_i) + f(RV_i) + f(\text{År}_i) + f(\text{Måned}_i) + f(PO_i) + \varepsilon_i$$

Hvor *MB* er estimert antall uker med mekaniske avlusninger på lokaliteten, *LG* er antall uker lokaliteten var over lusegrensen, *VL* er gjennomsnittlig antall voksne hunnlus på lokaliteten, *TM* er maksimumstemperatur registrert på lokaliteten under produksjonen, *RV* er rundvekt og *PO* er produksjonsområdet fisken ble oppdrettet i. År og måned angir tidspunktet for slakt av fisken. Måned ble modellert som en syklisk effekt. Kun slaktedata fra 2013 til 2023, og produksjonssykluser med endelig snittvekt <10 kg, ble inkludert i modellen. Analysen omfattet 4034 observasjoner knyttet til fire produsenter.

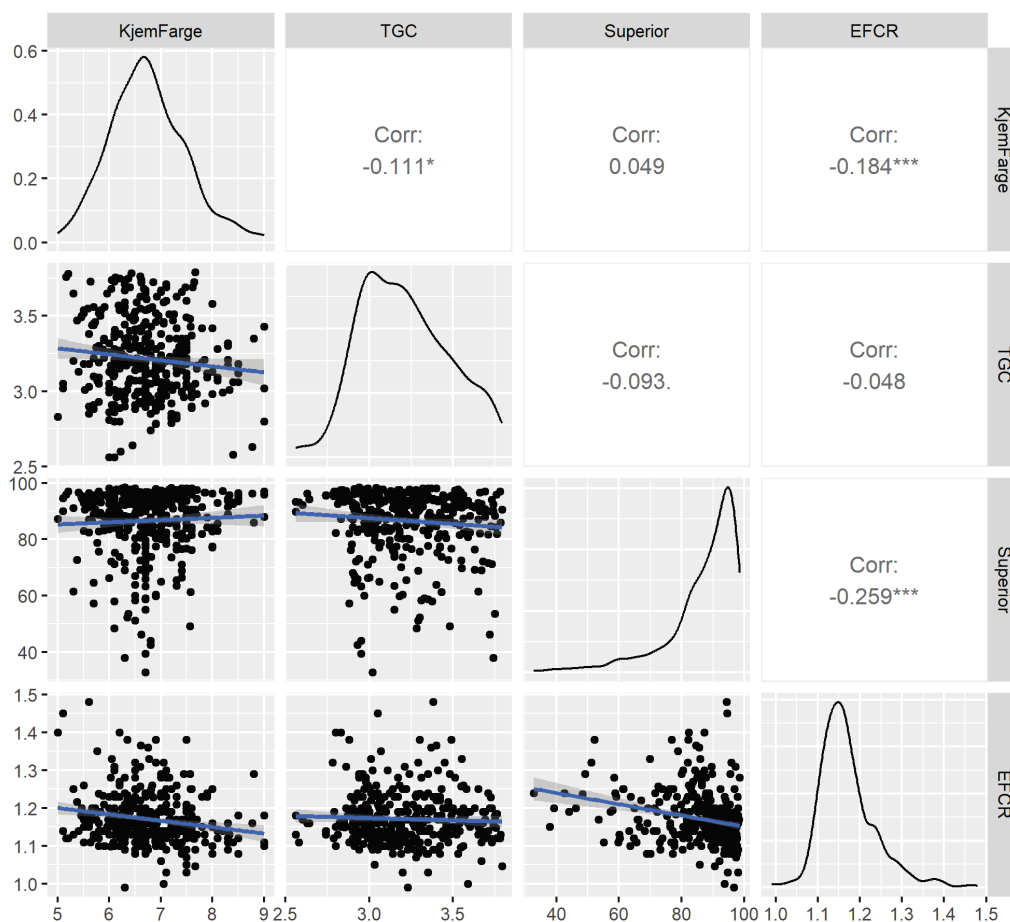
Maksimumstemperatur, gjennomsnittlig antall voksne hunnlus, og antall uker over lusegrensen var ikke signifikante ($p > 0,05$) og ble suksessivt fjernet fra modellen. Estimert antall uker med mekaniske avlusninger på lokaliteten var signifikant, som også de øvrige variablene ($p < 0,001$). Justert R^2 for modellen var 0,60. Figur 8 viser glattingsfunksjonene fra modellen. Disse viser en klar negativ effekt av antall mekaniske avlusninger på astaxanthin-innholdet i filet ved slakt. For øvrig er trenden knyttet til lavere innfarging i mer nordlige produksjonsområder mer avdempet i forhold til de andre modellene; en større andel lokaliteter fra produksjonsområdene 9, 10, og 12 kan ha bidratt til dette.



Figur 8 Visualisering av glattingsfunksjoner fra blandet additivmodell som viser variablenes marginaeffekt på astaxanthin-innhold i filet. Variablene er rund vekt, estimert antall uker med mekaniske avlusninger på lokaliteten, årstall og måned for slakt, samt produksjonsområde.

Sammenheng med tilvekst, fôrfaktor, og superiorandel

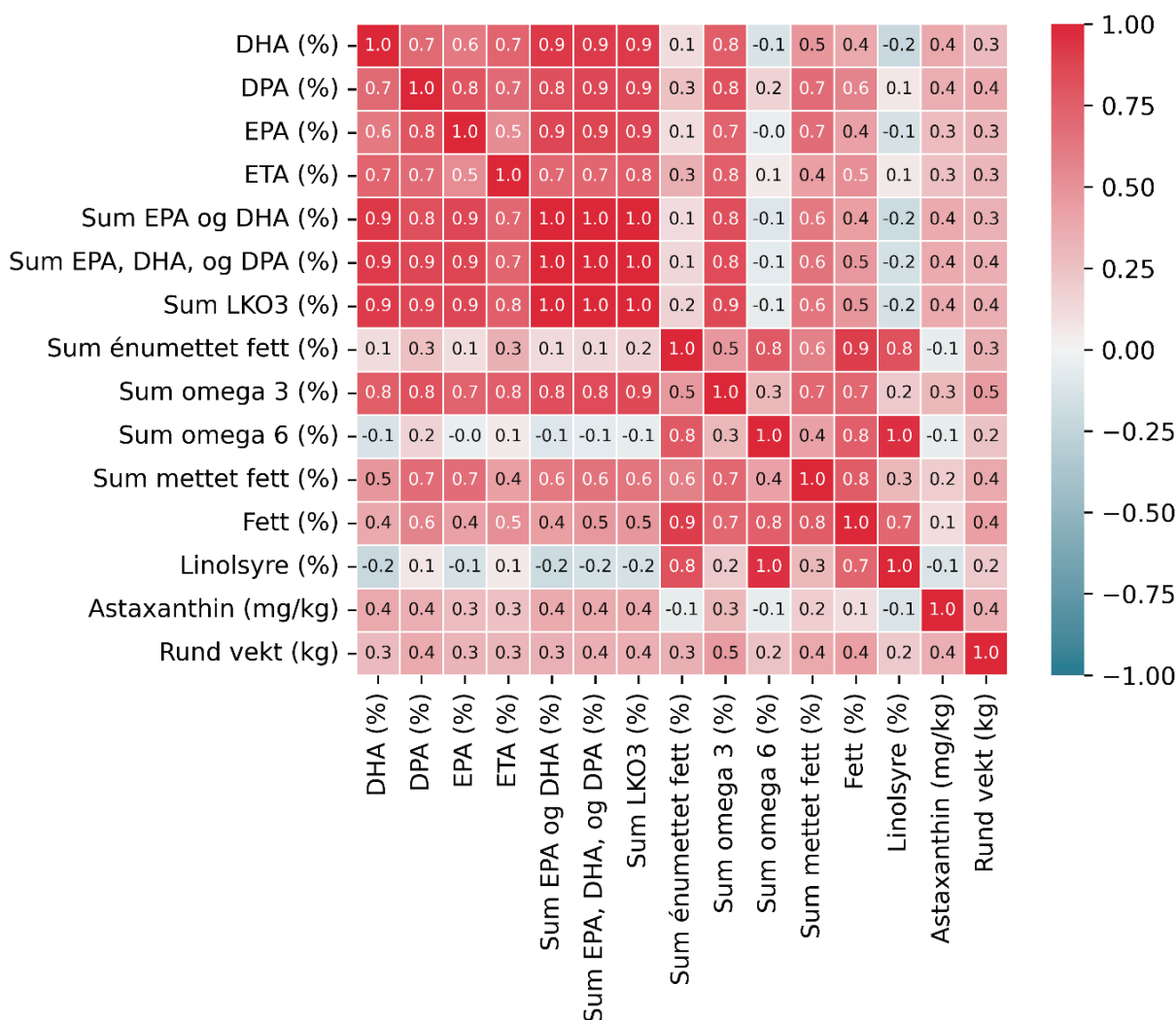
For to av produsentene kunne astaxanthin-innhold i fileten knyttes til data på tilvekst (TGC/VF3), superiorandel, og økonomisk fôrfaktor. Sammenhengene er visualisert i Figur 9, med spredningsplott, kjernetetthetsplott, og Pearson-korrelasjonsverdier. Denne delen av datasettet omfattet 385 observasjoner fra 2018 til 2023. Det var signifikante korrelasjoner mellom astaxanthin-innhold og tilvekst og fôrfaktor.



Figur 9 Spredningsplott med lineær regresjonslinje, kjernetetthetsplott, og Pearson-korrelasjonsverdier som viser sammenhengene mellom astaxanthin-innhold i fileten og tilvekst (TGC), superiorandel, og økonomisk fôrfaktor (EFCR).

Effekter av fettsyresammensetning i fileten

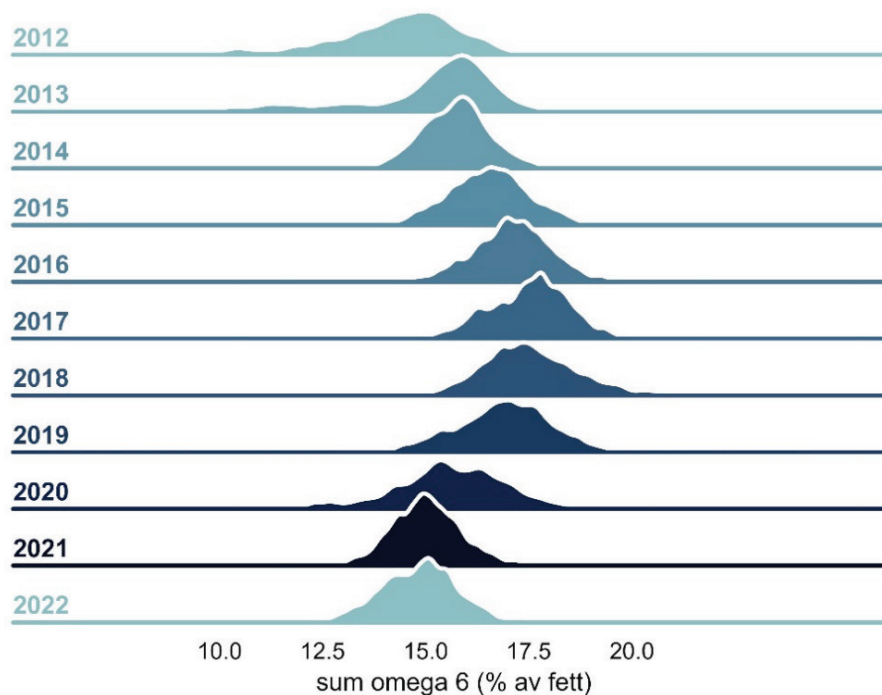
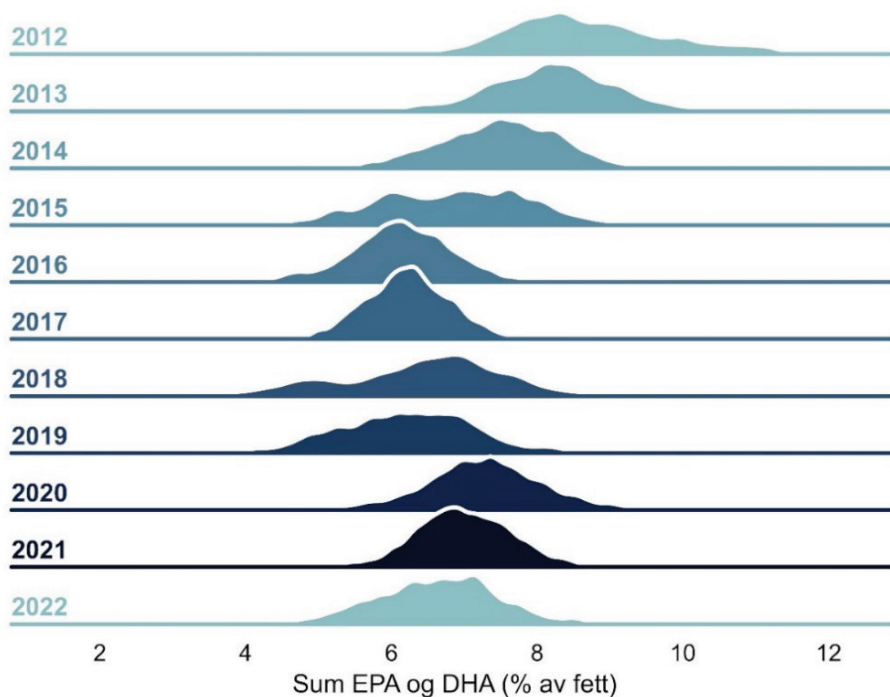
Noen produsenter hadde oppgitt data på fettsyresammensetning i fileten, målt med NIR. Figur 10 viser en korrelasjonsmatrise mellom innholdet av enkelte fettsyrer og innholdet av astaxanthin i fileten. Rød farge indikerer positiv korrelasjon mens blå farge indikerer negativ korrelasjon. Innholdet av astaxanthin i fileten var positivt korrelert med innholdet av omega-3 fettsyrer i fileten med korrelasjonskoeffisienter mellom 0,3-0,4 (sum omega-3: 0,5). Det var derimot en svak negativ korrelasjon mellom astaxanthin i fileten og det totale innholdet av omega-6 fettsyrer (-0,1), og av en-umettede fettsyrer (-0,1) og med innhold av linolsyre (-0,1). Det var en positiv korrelasjon mellom rundvekt ved slakt og astaxanthin i fileten (0,4).



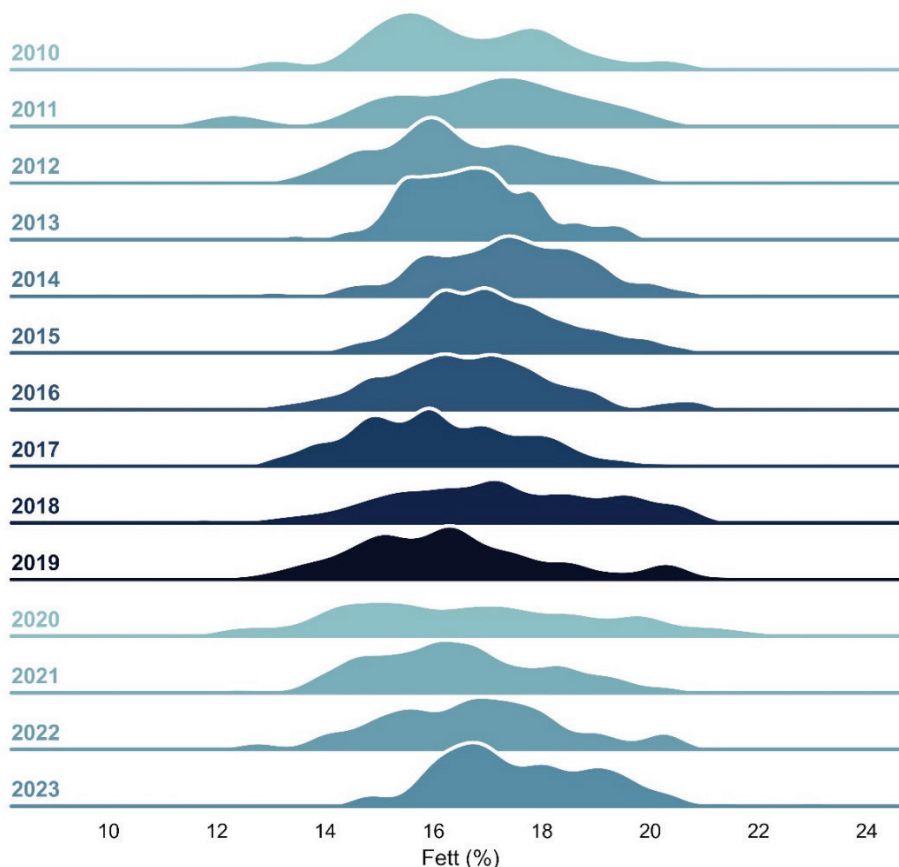
Figur 10 Matrise med signifikante ($p < 0,001$) Pearsons-korrelasjonskoeffisienter mellom variabler knyttet til fett og farge. Grunnlagsdata er NIR-analyser på individnivå ($n=44997$) fra én produsent (generasjoner fra 2010 til 2022). DHA: doksoheksaensyre; DPA: doksoheksaensyre; EPA: eikosapentaensyre; ETA: eikosatetraensyre, LKO3: langkjedete omega-3-fettsyrer.

Endring i fettsyresammensetning i filet over tid

Noen produsenter hadde målt fettsyresammensetning i filet over tid, data brukt i analysene var fra perioden 2012 til 2022. Fra 2012 til 2019 var det en gradvis nedgang i innholdet av EPA og DHA i filet (Figur 11). Fra 2020 og til 2022 har nivåene beveget seg oppover igjen, men de er fortsatt noe lavere enn de var i 2012 og 2013. Innholdet av omega-6 fettsyrer viste naturlig nok motsatt tendens, en økning fra 2012 til 2019, for så å avta noe frem til i dag. Innholdet av fett i fileten har derimot ikke endret seg vesentlig i perioden 2010 til 2023 (Figur 12).



Figur 11 Innholdet av EPA+DHA (øverst) og sum omega-6 fettsyrer i % av totalt fettinnhold i filet i perioden 2012 til 2022 vist som et kjernetetthetsplott av andel laks mellom 3,5 og 5 kg (n=14861) med en gitt konsentrasjon av EPA+DHA og sum omega-6. Årstallet angir slaktetidspunkt.

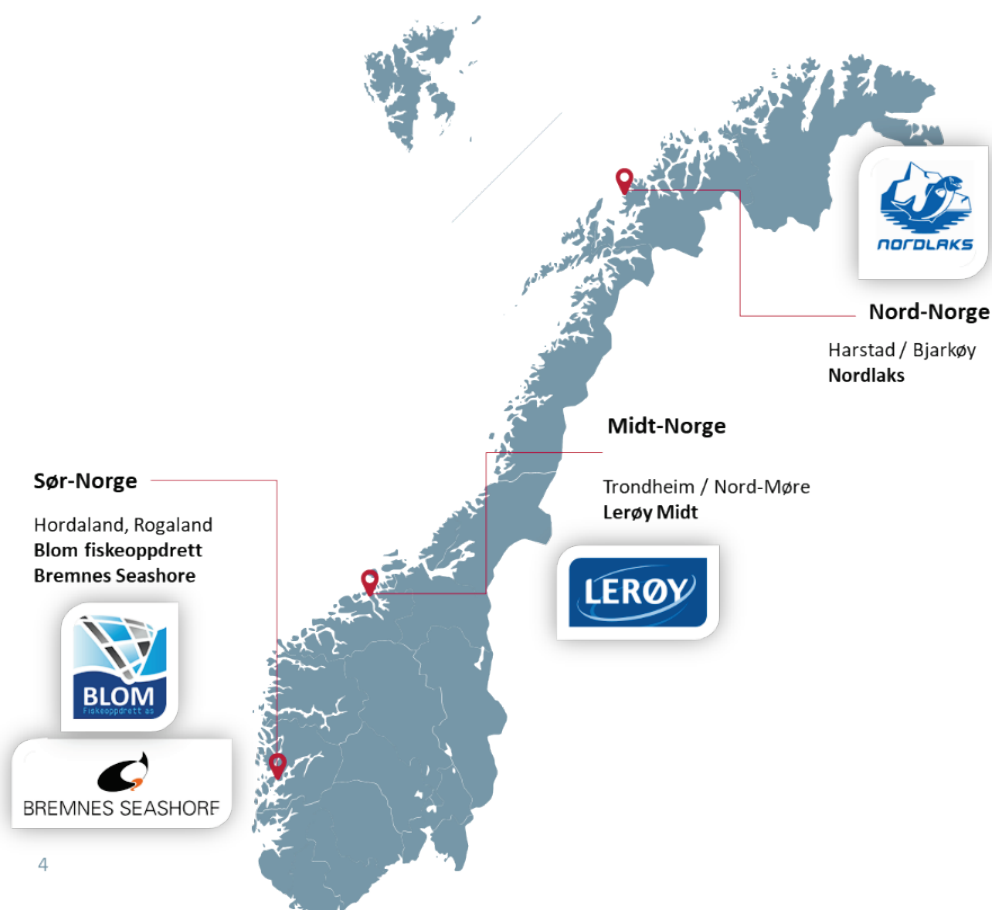


Figur 12 Totalt fettinnhold i filet i perioden 2010 til 2023 vist som et kjernetetthetsplott av andel slaktede produksjonssykluser av laks (med gjennomsnittsvekt mellom 3,5 og 5 kg) med en gitt gjennomsnittlig fettprosent ($n=2405$). Årstallet angir slaktetidspunkt.

5.3 Pigmentering i Nofima sine FoU-tillatelser i ulike deler av landet

For å kunne utføre næringsnyttig forskning i storskala sammen med oppdrettsnæringen har Nofima forskningstillatelser i Sør-, Midt- og Nord-Norge (Figur 13). Nofima har hatt tre forskningstillatelser i hver region (nå 1,5 tillatelse i hver region), som er samlokalisert og driftes sammen med ulike industripartnere. Nofima samarbeider med Bremnes Seashore i Sør- (i perioden 2014-2019 Blom fiskeoppdrett), Lerøy i Midt-, og Nordlaks i Nord-Norge. Forskningstillatelser er viktige for å kunne løse aktuelle biologiske problemstillinger som næringen står overfor i sin daglige produksjon av laks- og ørret. Forskningstillatelser er også en viktig arena for å implementere forskningen i oppdrettsnæringen. Formålet har vært å dokumentere om et dynamisk fôringsregime relatert til årstid kan øke appetitt, vekst, robusthet og fiskevelferd for oppdrettslaks gjennom produksjonsfasen i sjø og samtidig øke forståelsen av kompleksiteten og samspillet mellom miljø-, produksjon-, kvalitet- og helseparametere i ulike deler av landet.

Målet med denne arbeidspakken var å innhente og analysere data fra Nofima sine FoU-tillatelser i Sør-, Midt- og Nord-Norge i perioden fra 2014-2021. Dette for å evaluere pigmentering i laksemuskel og undersøke mulige årsakssammenhenger til dårlig pigmentering, spesielt knyttet til faktorer som endringer i fôr, produksjonsform (smolt-type/utsett) og breddegrader/regioner.



Figur 13 Lokalisering av Nofima sine FoU-tillatelser i Sør-, Midt- og Nord-Norge, samt samarbeidspartnerne i hver region

5.3.1 Datagrunnlag

Astaxanthin-innhold, SalmoFan score, fettinnhold, slakteutbytte, filetspalting og tekstur analysert ved slakt/avslutning av forsøk i FoU-tillatelsene i perioden 2014-2021 ble innhentet og satt sammen i en liten database. Det ble ikke slaktet ut fisk i 2016 og dette årstallet utgår derfor i oversikten. Astaxanthin og fettinnholdet i laksemuskel/norsk kvalitetssnitt (NKS), samt SalmoFan score, ble analysert ved bildeanalyse (PhotoFish) etter metodene beskrevet av Folkestad et al. (2008) og Rørvik et al. (2014). Samtidig ble informasjonen om år/dato for utsett, region, smolt-type, fôrtype, nivå av astaxanthin i fôr (vekta relativt til mengde utfôret), størrelse på analysefisk, oppnådd gjennomsnittlig slaktevekt, gjennomsnitt sjøtemperatur, døgngader brukt i produksjonen, vekstfaktor (TGC), fôrfaktor (FCR), dødelighet og slaktetidspunkt/måned samlet inn for de aktuelle merdene/enhetene. Datasettet ble sortert på merdbasis (10-40 individer bak hver enhet) med totalt 63 registreringer i perioden 2014-2021 (Tabell 1). Fôret benyttet i FoU-tillatelsene ble produsert av BioMar etter Nofima sine spesifikasjoner. Astaxanthin-nivået som ble benyttet fulgte i all hovedsak prosedyrene til samarbeidspartnerne i hver region, samt vanlige kommersielle standarder.

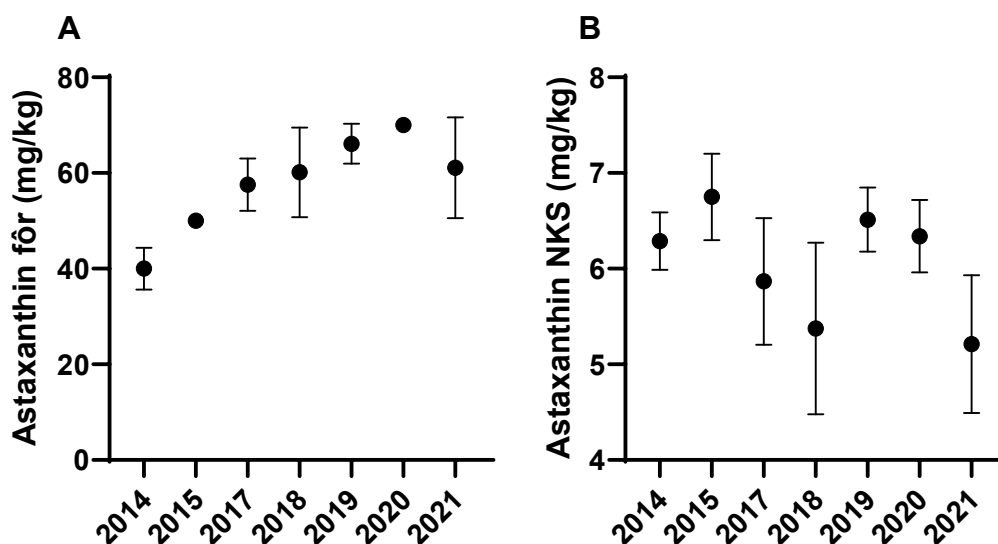
Tabell 1 Oversikt over datagrunnlaget ved år for utsett, gjennomsnittlig (min og maks) astaxanthin nivået i fôr, NKS, vekt på fisk analysert, SalmoFan score og antall enheter bak de enkelte registreringene.

Årsklasse utsett	Astaxanthin fôr, mg/kg* (min-max)	Astaxanthin NKS, mg/kg (min-max)	Vekt analysefisk, kg (min-max)	SalmoFan score, 20-34 (min-max)	Enheter, n = merder
2014	40 (36-45)	6,3 (5,9-6,9)	5,0 (4,9-5,1)	26,2 (25,9-26,7)	8
2015	50 (50-50)	6,7 (6,1-7,1)	5,1 (5,1-5,2)	26,5 (25,9-27,0)	4
2017	58 (50-66)	5,9 (4,5-6,8)	4,9 (4,2-5,6)	25,7 (23,9-26,8)	12
2018	62 (50-70)	5,4 (4,1-6,8)	3,8 (1,9-5,5)	25,0 (23,4-26,8)	12
2019	66 (61-70)	6,5 (5,9-7,1)	4,4 (3,5-5,2)	26,5 (25,7-27,2)	8
2020	70 (70-70)	6,3 (5,8-7,0)	5,3 (4,5-6,2)	26,2 (25,6-27,0)	10
2021	61 (50-70)	5,2 (4,3-6,3)	5,1 (4,3-6,3)	24,8 (23,7-26,2)	9
Total	58	5,9	4,7	25,7	63

*vektet nivå relativt til hva som er utført under produksjonen

5.3.2 Analyser, resultater og diskusjon

Datasettet ble analysert og illustrert ved hjelp av PIVOT-funksjonen i Excel, GraphPad Prism og statistikkprogrammet R. Disse verktøyene ble valgt på grunn av deres evne til å effektivt håndtere og visualisere komplekse datasett samt deres anerkjente funksjonalitet innen dataanalyse og statistikk. Ved å kombinere disse verktøyene kunne vi utføre analyser og presentere resultatene på en pålitelig og informativ måte.

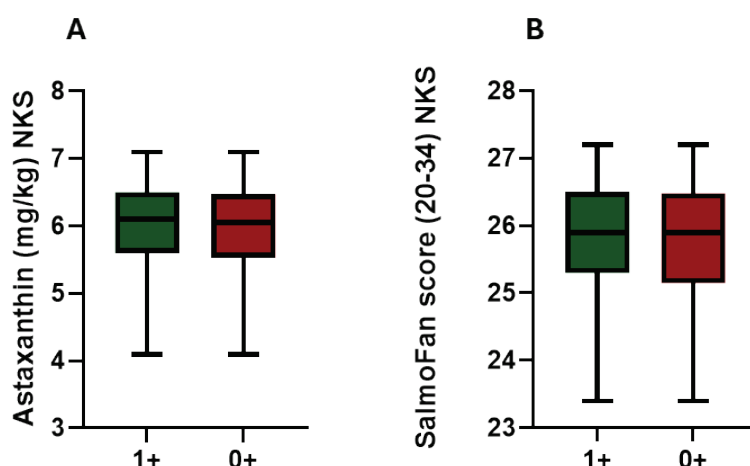


Figur 14 Gjennomsnittlig vektet astaxanthin innhold i fôret under produksjonen (A) og gjennomsnittlig astaxanthin nivå i norsk kvalitetssnitt (NKS) (B) ved slakt/avslutning av forsøk for produksjoner som inngår i Nofima sin FoU-tillatelse i perioden 2014-2021. Data er vist som punkter med \pm standardavvik (SD).

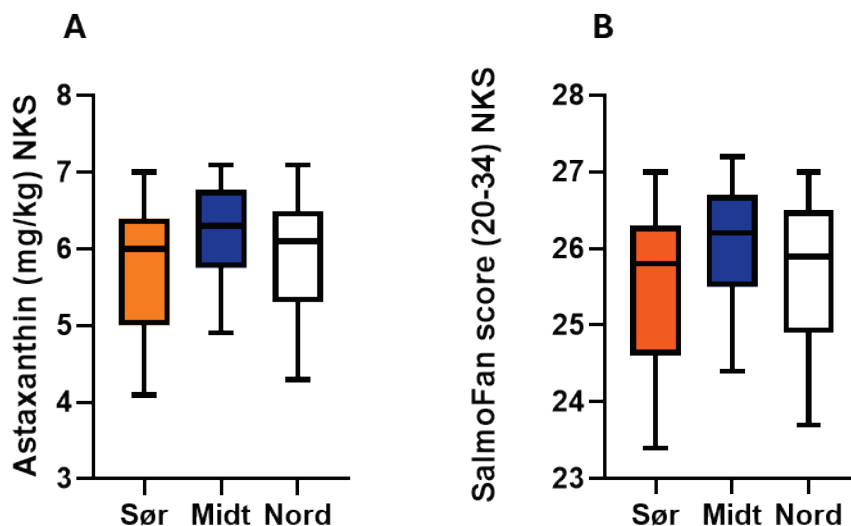
Astaxanthin-nivået i fôret økte i perioden 2014-2021, med det høyeste nivået av astaxanthin registrert i fôret i 2020, med et nivå på 70 mg/kg i gjennomsnitt i fôret (Figur 14A). I 2014 benyttet Lerøy Midt (20→30→40 mg/kg) og Blom fiskeoppdrett (20→40→50 mg/kg) av en gradvis økning i astaxanthin-konsentrasjonen i fôret, korrelert med økende pellet-størrelse og produksjonstid. Dette er førte til at det samlede vektete nivået av astaxanthin i fôret var lavest i 2014 med 40 mg/kg i snitt. Disse strategiene baserer seg på tidligere modellerte strategier for optimal pigmentering av atlantisk laks (Forsberg & Guttormsen, 2006), hvor en gradvis økning i pigment kan redusere fôr-kostnaden. Ved å benytte denne strategien ende man opp på med et nivå av astaxanthin på 6,3 mg/kg i NKS. Til tross for en økning i astaxanthin-nivået i fôret i løpet av 2014-2021, observeres ikke en tilsvarende økning i astaxanthin-konsentrasjonen eller SalmoFan score i fiskefilet/NKS. Det laveste nivået av astaxanthin i NKS ble registrert i 2018 (Figur 14B), og dette var også året med lavest og mest variasjon relatert til størrelse på analysefisken grunnet sykdomsutfordringer i region Sør-Norge (Tabell 1). Det høyeste gjennomsnittlige nivået av astaxanthin og SalmoFan score i NKS ble observert hos fisk satt ut i 2015 i Nord-Norge, som fikk 50 mg/kg astaxanthin gjennom hele sjøfasen. I snitt i perioden 2014-21 ble det benyttet 58 mg/kg astaxanthin i fôret og analysefisken hadde en snittvekt på 4,7 kg, samt et astaxanthin-nivå og SalmoFan score på henholdsvis 5,9 mg/kg og 25,7.

5.3.2.1 Produksjonsform og region

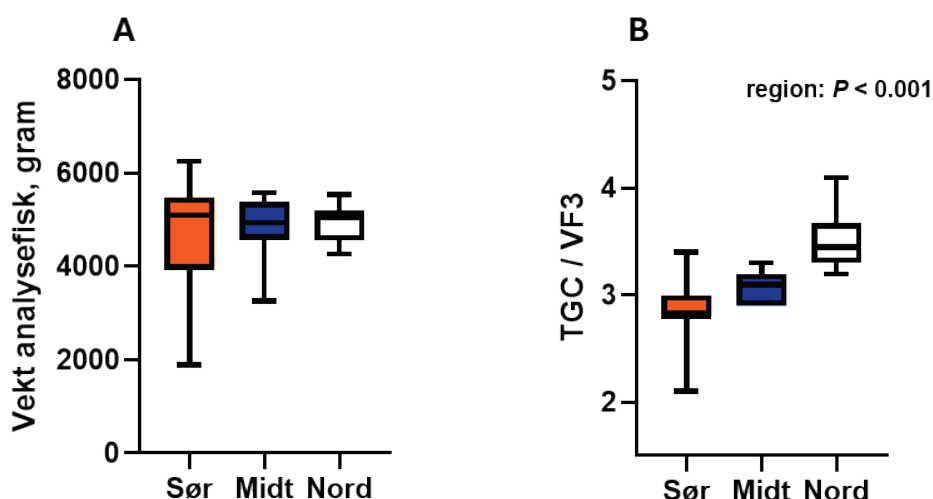
Når vi analyserer datasettet basert på produksjonsform knyttet til smoltproduksjon og utsettingsdato, observerer vi ingen forskjeller i gjennomsnittlig astaxanthin-nivå (se Figur 15A) eller SalmoFan-score (se Figur 15B) mellom 1+ og 0+ smolt. Videre er det heller ingen betydelige forskjeller i astaxanthin-nivå eller SalmoFan-score mellom de ulike regionene (Figur 16). Imidlertid kan det observeres et noe lavere nivå og score, samt større variasjon i regionene Sør- og Nord-Norge sammenliknet med Midt-Norge. En faktor som potensielt kan forklare denne observasjonen i Sør-Norge, er større variasjon blant analysefisk (Figur 17A). I region Sør-Norge har man hatt høyere sykdomsforekomst, samt økt håndtering som har resultert i signifikant redusert tilvekst (Figur 17B), som igjen gjorde det nødvendig å utføre analyser av astaxanthin og SalmoFan-score på mindre fisk. Dette skyldes utfordringer med å følge gruppene av fisk helt frem til slakting på grunn av sykdomsrelaterte forhold. Dette kan også påvirke de andre registeret variablene i region Sør-Norge. Region Nord-Norge viste minst variasjon når det gjelder fiskestørrelse og hadde den høyeste gjennomsnittlige tilveksten. Likevel ble det observert flere individer med lave nivåer av astaxanthin og SalmoFan-score, noe som resulterte i en betydelig variasjon i disse parameterne. Region Midt-Norge hadde den minst variasjon i vekstfaktor sammenliknet med de andre regionene og det er mulig dette kan være en mulig årsak til mindre variasjon i innfarging.



Figur 15 Astaxanthin (A) og SalmoFan score (B) i filet/norsk kvalitetssnitt (NKS) for 1+ og 0+ ved slakt/avslutning av forsøk. Data er vist som boks-plott med median (median er vist ved horisontal linje i boksen, og hvor boksen representerer de midterste 50 % av dataene, fra kvartilene Q1 i nedre del til Q3 i øvre del) og hvor linjene/whiskers viser minste og største verdi i datasettet.

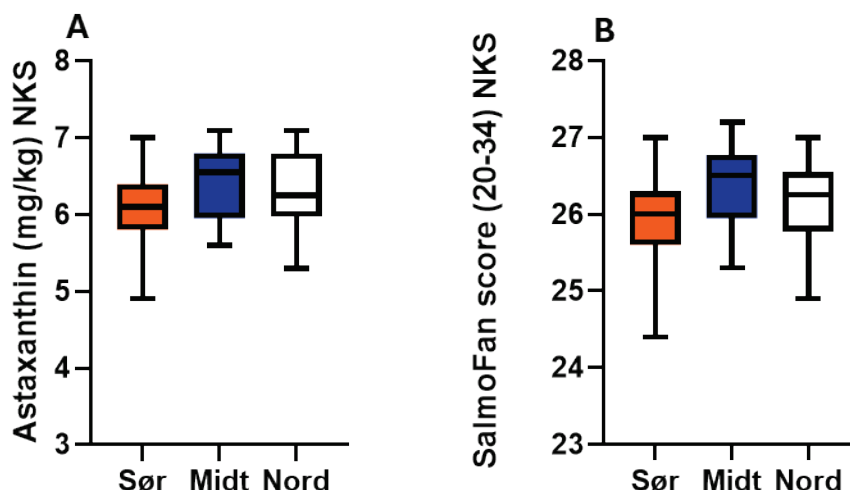


Figur 16 Astaxanthin (A) og SalmoFan score (B) i filet/norsk kvalitetssnitt (NKS) ved de ulike regionen ved slakt/avslutning av forsøk. Data er vist som boks-plott med median (median er vist ved horisontal linje i boksen, og hvor boksen representerer de midterste 50% av dataene, fra kvartilene Q1 i nedre del til Q3 i øvre del) og hvor linjene/whiskers viser minste og største verdi i datasettet.



Figur 17 Vekt på analysefisk (A) og vekstfaktor/TGC for populasjonen (B) i de ulike regionen ved slakt/avslutning av forsøk. Data er vist som boks-plott med median (median er vist ved horisontal linje i boksen, og hvor boksen representerer de midterste 50% av dataene, fra kvartilene Q1 i nedre del til Q3 i øvre del) og hvor linjene/whiskers viser minste og største verdi i datasettet.

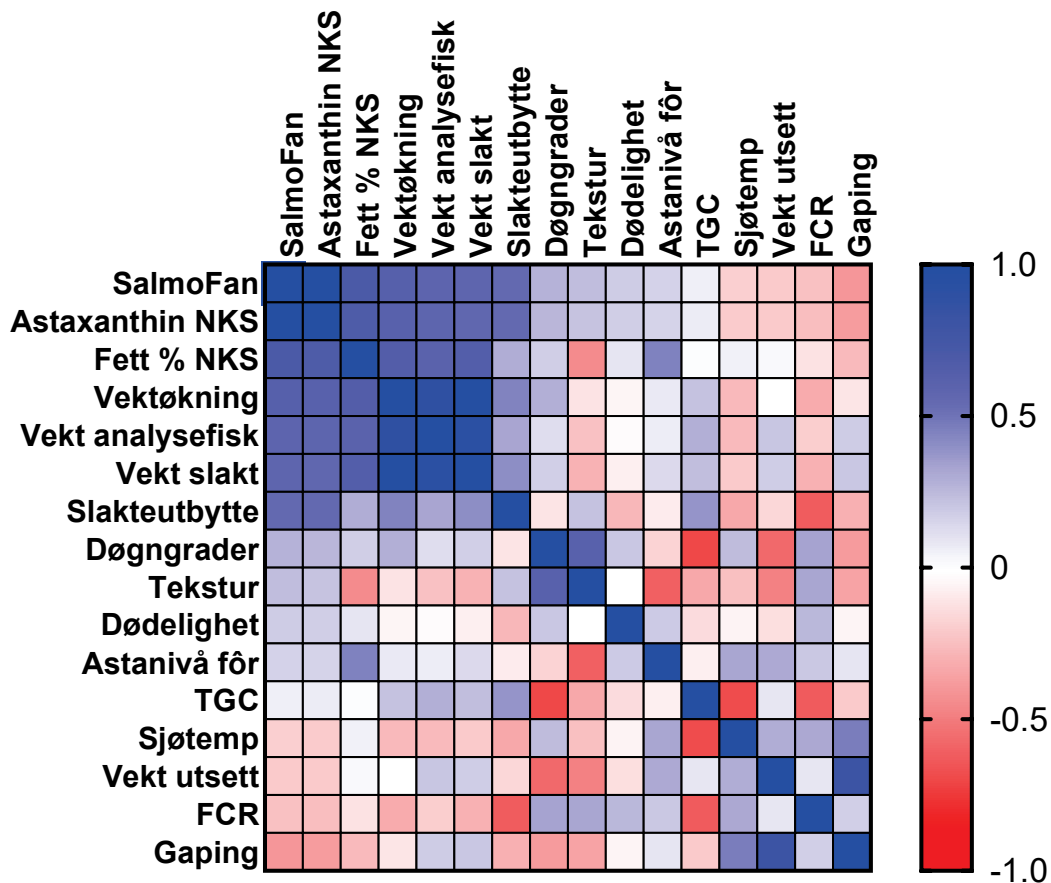
Det skal nevnes at vekstfaktor/TGC er tett korrelert til gjennomsnittstemperatur og daglengde (REF), og det er derfor viktig å være forsiktig når man sammenlikner TGC mellom steder med ulik breddegrad og andre abiotiske faktorer som kan påvirke denne anvendte vekstmodellen. Hvis vi begrenser oss til å kun inkludere slaktefisk som har en vekt mellom 4,9 og 6 kg, observeres det mindre variasjon i SalmoFan score og astaxanthin (Figur 18). Vi ser imidlertid den samme trenden med størst variasjon i region sør, etterfulgt av nord, og til slutt midt, som igjen viser minst variasjon og de høyeste verdiene for SalmoFan score og astaxanthin-nivå.



Figur 18 Astaxanthin (A) og SalmoFan score (B) i filet/norsk kvalitetssnitt (NKS) ved de ulike regionen på slaktefisk med vekt mellom 4,9 og 6 kg. Data er vist som boks-plott med median (median er vist ved horisontal linje i boksen, og hvor boksen representerer de midterste 50 % av dataene, fra kvartilene Q1 i nedre del til Q3 i øvre del) og hvor linjene/whiskers viser minste og største verdi i datasettet.

5.3.2.2 Årsakssammenhenger til varierende innfarging

For å undersøke mulige årsakssammenhenger til varierende innfarging i fileter, ble det utført en korrelasjonsanalyse/matrise av relevante variabler som ble registrert for merdene i perioden 2014-2021 (Figur 19). Generelt ble det observert logiske sammenhenger, særlig mellom parametere som vektøkning, slaktevekt, vekt av analysefisker og døgngader. Det ble identifisert en signifikant negativ korrelasjon mellom astaxanthin/SalmoFan og graden av gaping/filetspalting, samt FCR (Tabell 2). Dette antyder at fisk med lavt innhold av pigment i filet har økt grad av filetspalting, og kan indikere viktigheten av antioksidanter som astaxanthin for filetenes integritet. Reduserte nivåer av astaxanthin og lavere visuell farge ved økende fôrfaktor antyder at fôrutnyttelse og sannsynligvis pigmentopptak spiller en avgjørende rolle for innfarging av fileten. Vekt ved utsett og sjøtemperatur viste også en negativ korrelasjon opp mot SalmoFan og astaxanthin-nivå. Selv om disse ikke var signifikante, kan de antyde at utsett av stor smolt og høy sjøtemperatur ikke er positivt for innfarging av filet. Videre ble det registrert betydelige signifikante positive korrelasjoner mellom astaxanthin/SalmoFan opp mot parametere; fettinnhold, vektøkning, slaktevekt, vekt av analysefisker, slakteutbytte og døgngader. Mange av disse parametere er avhengig av hverandre og har blitt identifisert som viktige faktorer for pigmentinnhold i filet tidligere. Som en kontroll, ble det også utført en transformering av rådatasettet til standardiserte koeffisienter ved å trekke gjennomsnittet av hver observasjon og deretter dele med standardavviket. Dette gir en bedre sammenligning av den relative størrelsen på effektene av de ulike variablene ved å justere standardavvikene slik at alle variablene, til tross for ulike måleenheter, har like standardavvik. Det var ingen betydelige forskjeller mellom ustandardiserte og standardiserte matriser, og det ble observert en signifikant sammenheng mellom de nevnte parametere også etter standardisering.



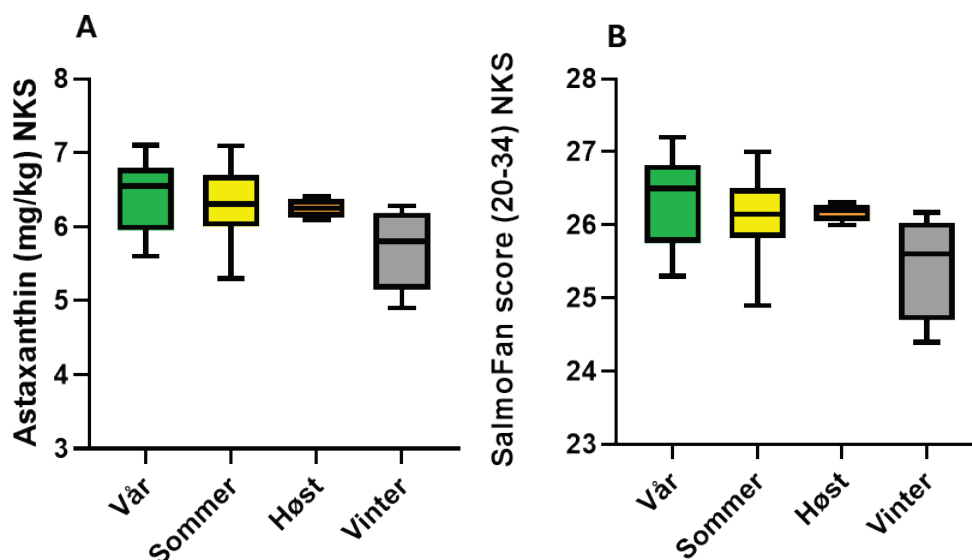
Figur 19 Matrise med Pearsons-korrelasjonskoeffisienter mellom variabler knyttet til registrerte kvalitets og produksjonsparametere i Nofima sine FoU-tillatelser

Tabell 2 Rangerte korrelasjonskoeffisienter fra negativ til positiv korrelasjon relativ til Astaxanthin og SalmoFan score i norsk kvalitetssnitt (NKS) og signifikansnivå ved angitt P-verdi

Astaxanthin NKS			SalmoFan NKS		
Faktor	Pearson r	P-verdi	Faktor	Pearson r	P-verdi
Gaping/spalting	-0,37	0,03	Gaping/spalting	-0,39	0,02
FCR	-0,24	0,05	FCR	-0,23	0,07
Vekt utsett	-0,20	0,11	Vekt utsett	-0,20	0,12
Gj. Sjøtemp	-0,19	0,12	Gj. Sjøtemp	-0,18	0,14
TGC	0,07	0,56	TGC	0,06	0,62
Asta-nivå før	0,16	0,20	Asta-nivå før	0,17	0,20
Dødelighet	0,18	0,15	Dødelighet	0,19	0,14
Tekstur	0,22	0,27	Tekstur	0,24	0,22
Døgngrader	0,27	0,03	Døgngrader	0,28	0,03
Slakte utbytte	0,56	< 0,0001	Slakte utbytte	0,56	< 0,0001
Vekt slakt	0,57	< 0,0001	Vekt slakt	0,58	< 0,0001
Vekt analysefisk	0,58	< 0,0001	Vekt analysefisk	0,59	< 0,0001
Vektøkning	0,62	< 0,0001	Vektøkning	0,63	< 0,0001
Fett % NKS	0,69	< 0,0001	Fett % NKS	0,71	< 0,0001

5.3.2.3 Sesongvariasjoner i innfarging og utvikling i løpet av produksjonstiden

Det ble observert en viss sesongmessig variasjon i astaxanthin og SalmoFan-score, avhengig av årstiden eller tidspunktet laksen ble slaktet i perioden 2014-2021 (Figur 20). Den beste innfargingen ble observert for laks slaktet om våren, mens den laveste innfargingen ble observert om vinteren. I disse figurene er det kun slaktefisk som er presentert (4,9 – 6,0 kg). Hovedandelen av laksen ble slaktet i løpet av våren og sommeren, og det er derfor få observasjoner for høst (n = 4) og vinter (n = 5). Det skal derfor understrekes at det er knyttet noe usikkerhet til disse tallene.



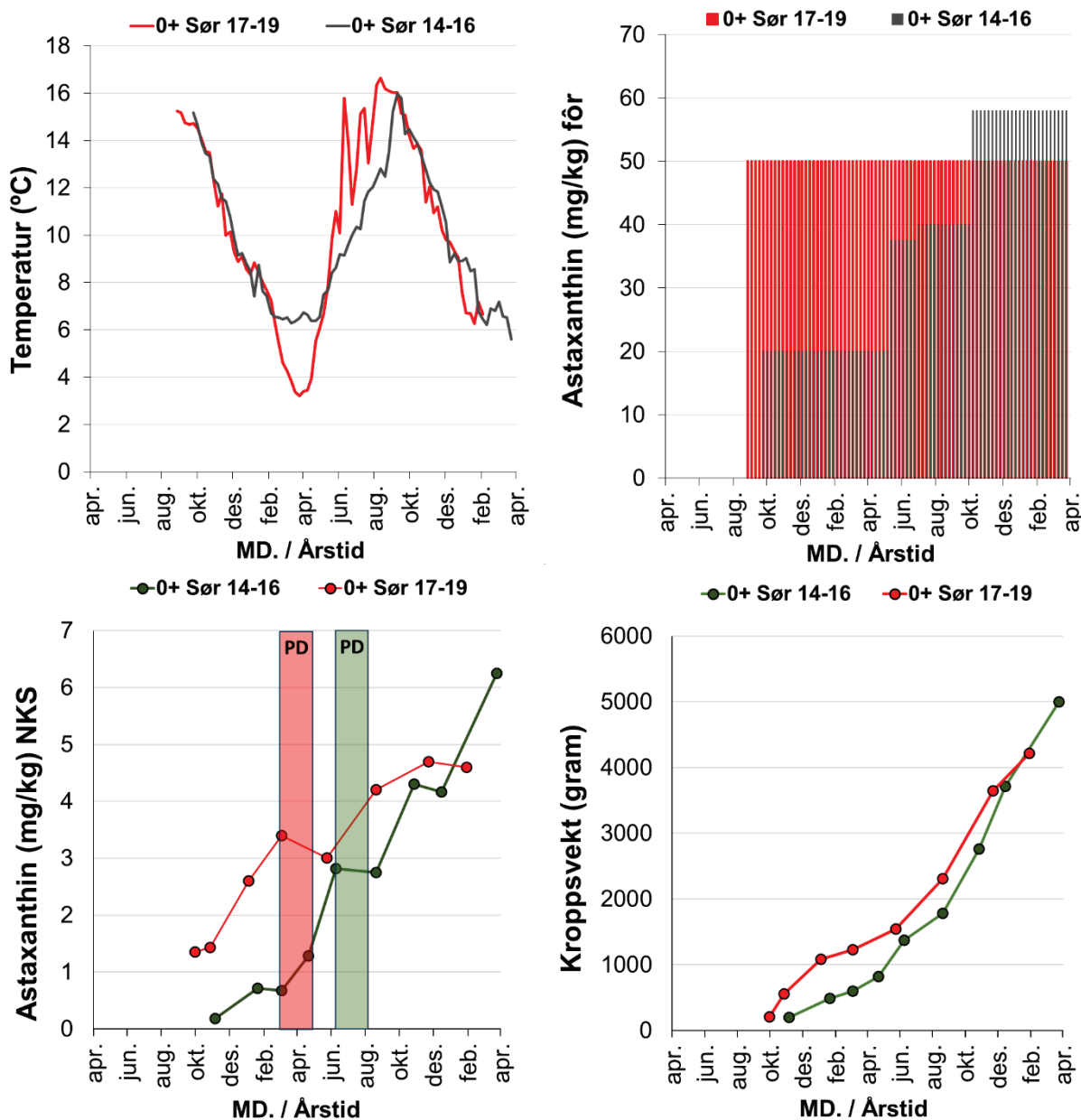
Figur 20 Astaxanthin (A) og SalmoFan score (B) i filet/norsk kvalitetssnitt (NKS) ved ulike slaktidspunkt relater til sesong. Slaktefisk med vekt mellom 4,9 og 6 kg er inkludert i datasettet. Data er vist som boks-plott med median (median er vist ved horisontal linje i boksen, og hvor boksen representerer de midterste 50 % av dataene, fra kvartilene Q1 i nedre del til Q3 i øvre del) og hvor linjene/whiskers viser minste og største verdi i datasettet.

For å se nærmere på variasjoner i innfarging i løpet av produksjonen, gikk vi gjennom 2-3 produksjoner i hver enkelt region og så nivået av astaxanthin i NKS ved uttak utført på forskjellige tider i produksjonen. Gjennomsnittsverdiene relatert til produksjonsdata og analyser ble tatt fra 2 merder per region som gikk på likt fôr, som igjen fulgte vanlige standarder (relativt til tidsperioden) mht. nivå av fett og protein (5 mm: 40 % protein og 30 % fett, 9 mm – 1,5 kg: 35 % protein og 35 % fett, fra 2,5 kg: 34 % protein 38 % fett). For å vurdere innfarging, ble lengde og vekt registrert på enkeltfisk. Vanligvis målte vi dette på rundt 50-100 fisk pr. merd, avhengig av hvor stor variasjonen det var i vekt mellom individer, til man hadde et akseptabelt nivå mht. usikkerhet for gjennomsnittlig vekt i merden. I tillegg, vurderte vi målingene opp mot gjennomsnittlig vekt beregnet ut fra produksjonsprogrammet som ble benyttet (fishtalk/mercatus etc). I løpet av prosjektperioden ble det tatt ut 10 fisk fra hver merd som hadde mest mulig lik vekt i.f.t. gjennomsnittet for de respektive merdene (± 10 prosent på individnivå) og deretter ble astaxanthin-nivået målt med PhotoFish på disse individene. Pigmenteringseffektiviteten målt som astaxanthin deponert per vektøkning ($\mu\text{g}/\text{kg}$) ble kalkulert som beskrevet i Hatlen et al. (1995). Temperaturdata, nivå av astaxanthin i fôr, astaxanthin i NKS og kroppsvekt på fisken, samt kalkulert pigmenteringseffektivitet og vekstfaktor (VF3 / TGC per merd) er vist for hver region. Ved utslakt ble det tatt ut 10-30 representative fisk med gjennomsnittlig slaktevekt for de respektive merdene og også disse ble analysert for astaxanthin innhold.

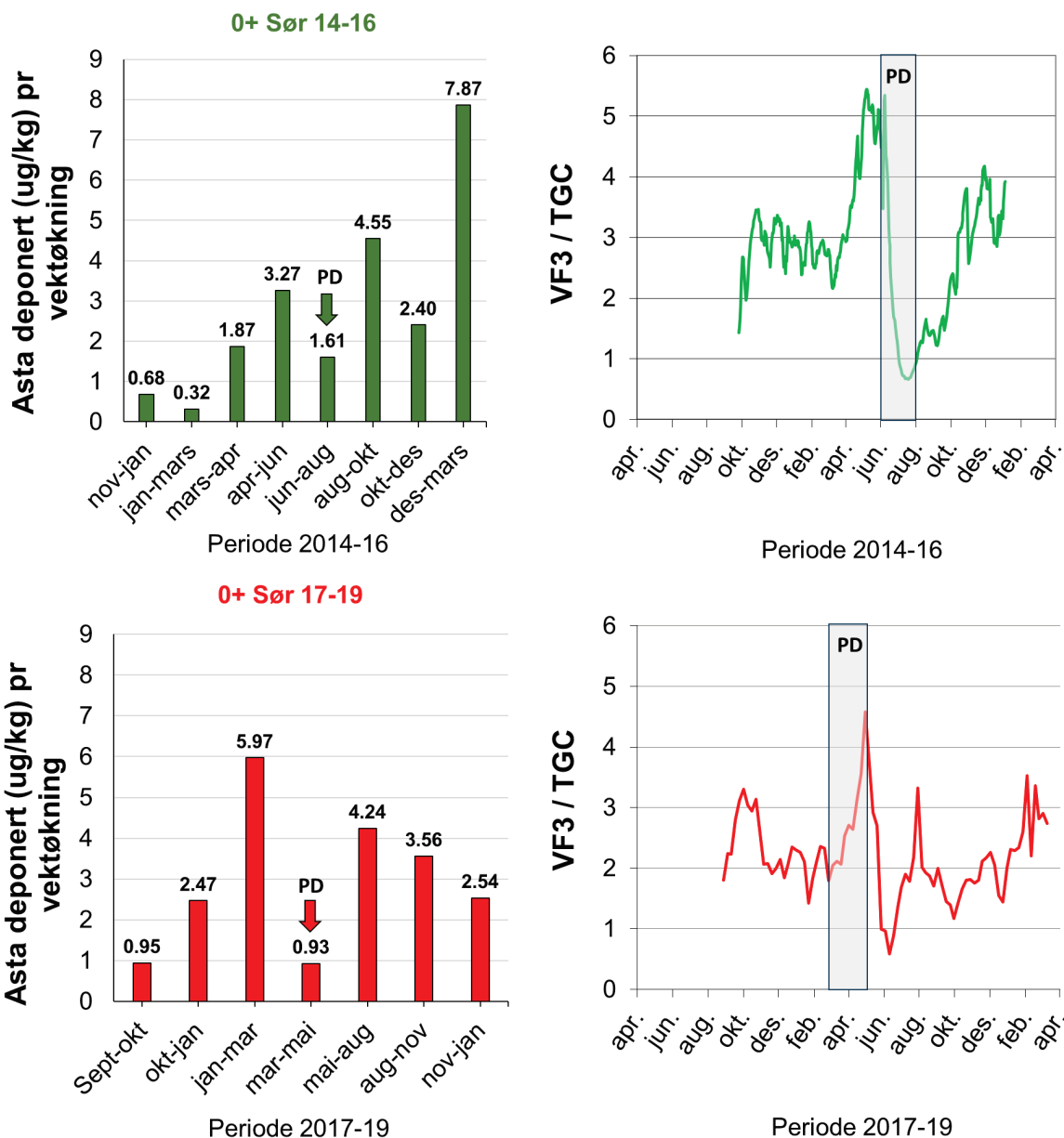
5.3.2.3.1 Region Sør-Norge

I region Sør-Norge tok man utgangspunkt i produksjonen i 2014-16 og 2017-19, hvor det ble benyttet tradisjonell høstusatt 0-åring på hhv. 92 og 168 gram (utsatt i september og august), mens astaxanthin nivået ble målt fra 200 gram og oppover. Som tidligere nevnt ble det i perioden 2014-16 benyttet en

gradvis økning i astaxanthin i fôret, mens i 2017-19 ble det benyttet et stabilt nivå på 50 mg/kg. Vi ser at det var redusert innfarging i nivå av astaxanthin og mengde deponert astaxanthin per vektøkning ($\mu\text{g}/\text{kg}$) ved de to naturlige utbrudd av pancreas disease (PD) forårsaket av SAV3-viruset. I 2014-16 sammenfaller PD utbruddet med vårdroppen, mens i 2017-19 var temperaturen svært lav i løpet av perioden med påvisning av PD. Disse faktorene kan også ha hatt stor innvirkning på innfargingen og det er derfor vanskelig å skille de ulike faktorer fra hverandre. Det observeres noe redusert innfarging i begynnelsen etter utsett, i denne perioden er fôr-inntaket ofte er høyt relativt til kroppsvekt (1 – 1,5 %) og vektøkning (relativt til kroppsvekt) er høy. I siste andel av perioden 2017-19 ble det påvist CMS og dette kan ha påvirket innfargingen negativt, vi observerer en lav pigmenteringseffektivitet og en liten reduksjon i absolutt nivå fra november til januar.



Figur 21 Temperatur, astaxanthin nivå i fôret, astaxanthin i muskel/NKS og vektutvikling region sør for produksjonen 2014-16 og 2017-19



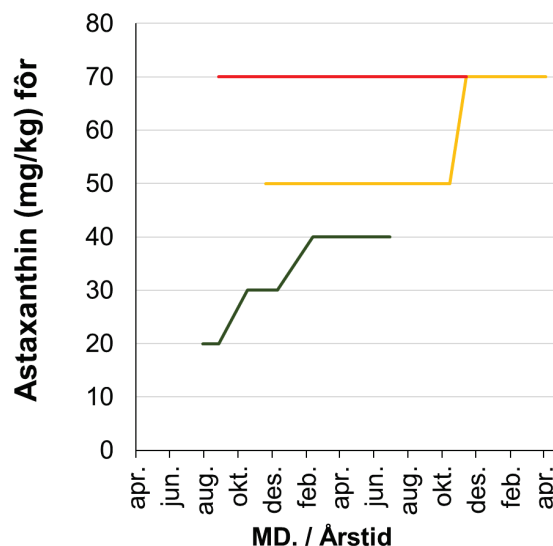
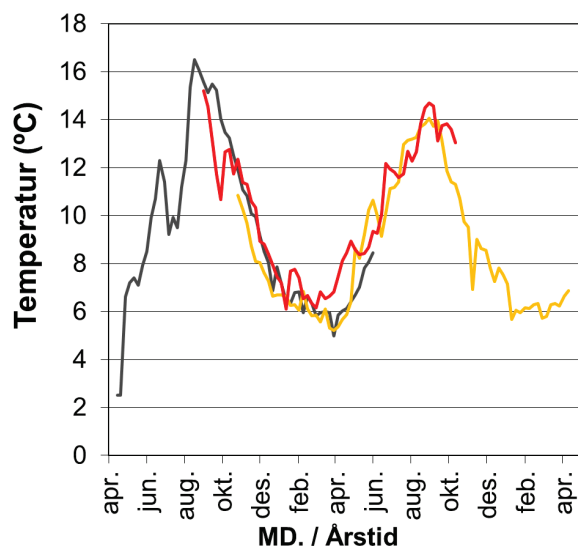
Figur 22 Astaxanthin deponert pr vektøkning ($\mu\text{g}/\text{kg}$) og vekstfaktor ($\text{VF3} / \text{TC}$) for region sør i løpet av sjøfasen for produksjonen i 2014-16 og 2017-19

5.3.2.3.2 Region Midt-Norge

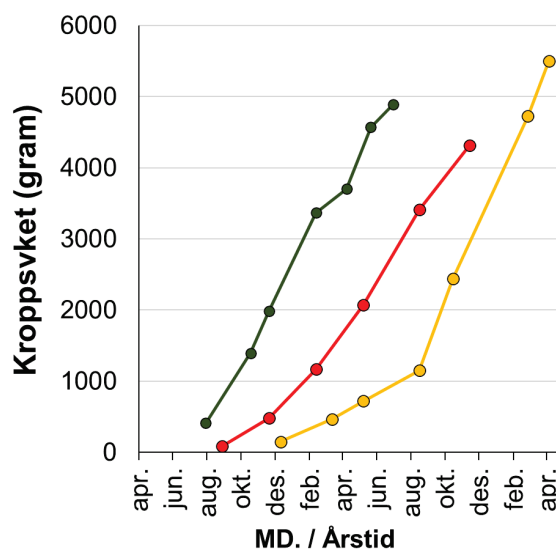
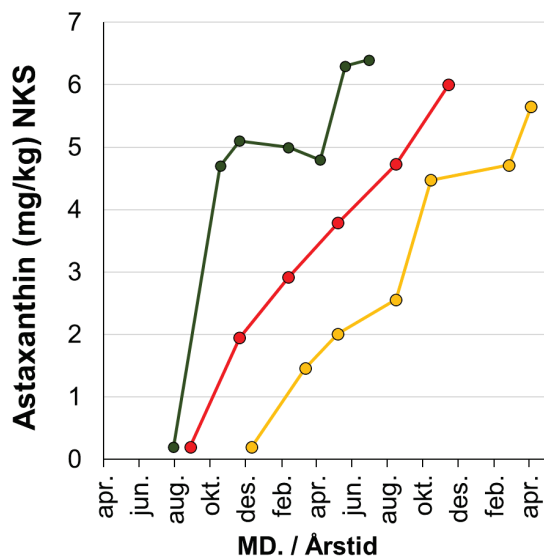
I region Midt-Norge ble det tatt utgangspunkt i produksjonen i 2014-15, 2017-19 og 2018-19, hvor det ble benyttet 1-åring i 14-15 (satt ut i april, mens astaxanthin ble ikke målt før juli fra 400 gram), og tradisjonell høstusatt 0-åring på hhv. 90 og 86 gram (utsatt i november og september). For 0-åringen satt ut i november i perioden 2017-19, ble det først målt astaxanthin ved uttaket i desember. I perioden 2014-15 ble det benyttet en gradvis økning i astaxanthin i føret, i 2017-19 ble det benyttet først 50 og deretter 70 mg/kg, mens i 2018-19 ble det brukt 70 mg/kg under hele produksjonen. Vi ser en gradvis økning og relativt lav pigmenteffektivitet i starten hos begge 0-åringene. I denne perioden er før-inntaket ofte høyt relativt til kroppsvekt (1-1,5 %) og vektøkningen (relativ til kroppsvekt) høy, noe som kan påvirke innfargingen negativt, som observert i region Sør-Norge. Det var en negativ korrelasjon mellom vekst og pigmenteffektivitet hos 0-åringen i perioden 2018-19, hvor det ble observert svært god vekst i første halvdel av produksjonen, og lav vekst i siste halvdel. 1-åringen ble ikke fulgt opp med pigmentanalyser fra start, men etter 400 gram i slutten av juli. I denne perioden og frem til oktober hadde

denne gruppen en svært god innfarging, mens innfargingen ble redusert ut over vinterperioden. I mars 2015 ble fisken avluset, noe som førte til redusert tilvekst og trolig en negativ effekt på innfargingen, som kan sees ved redusert pigmenteffektivitet i perioden februar til april 2015. Felles for alle grupper er svært god innfarging i vår-perioden, samt andre høst/vinter i sjø. Vi ser at nivå av astaxanthin i føret har liten effekt på innfarging og at man kommer best ut ved å benytte 1-åring og gradvis økt pigmentinnhold. Vi observerer også at vektøkning er størst for laksen som er tyngst ved inngangen til høsten, og at sent utsatt 0-åring har liten vektøkning i første fase av produksjonen, som igjen medfører lengre produksjonstid.

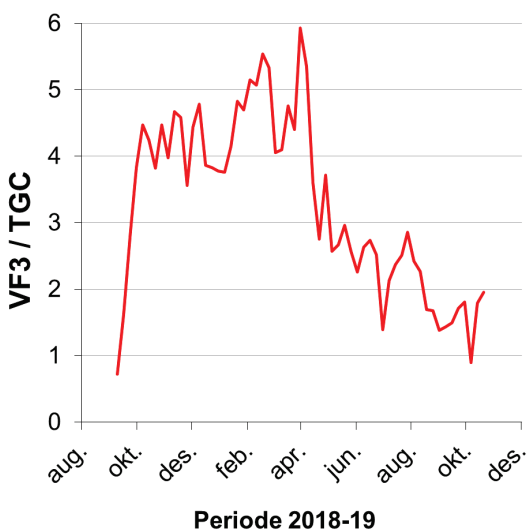
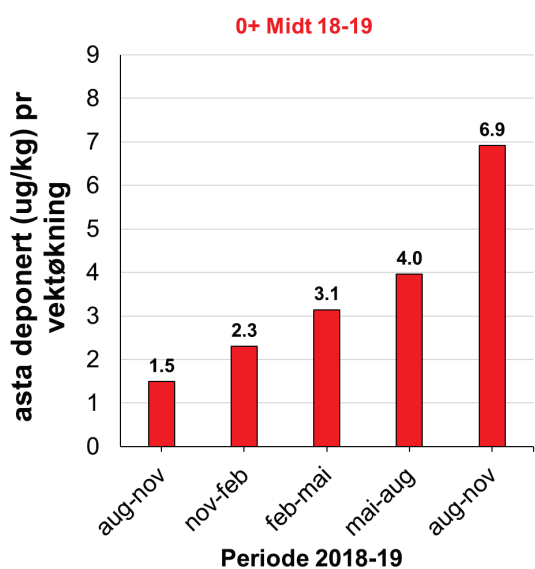
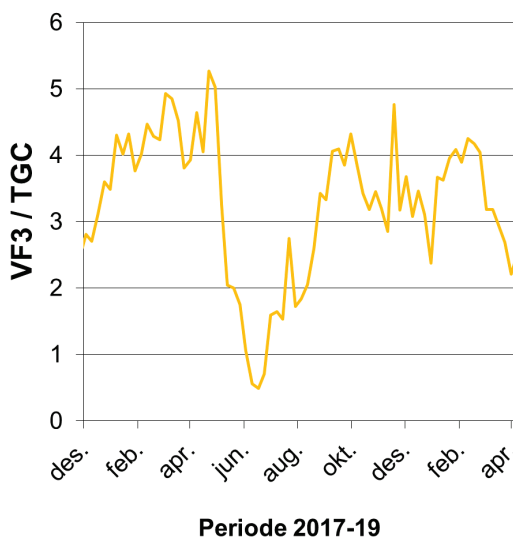
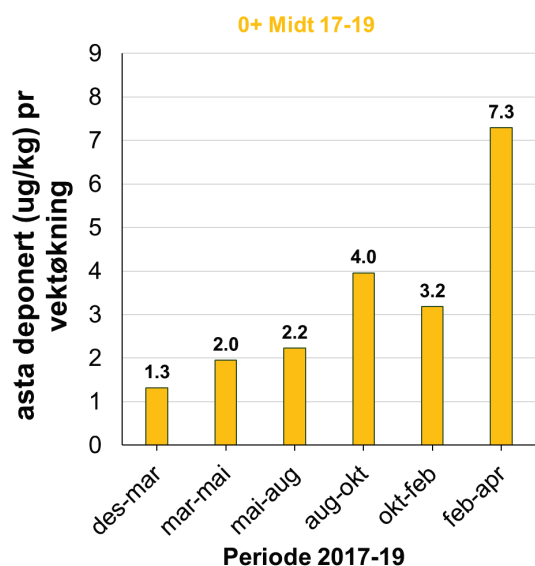
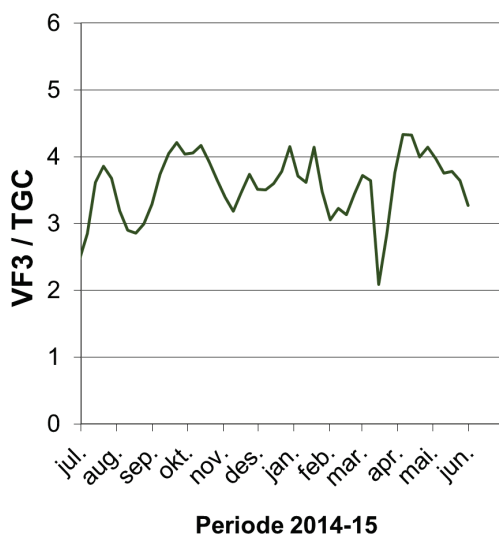
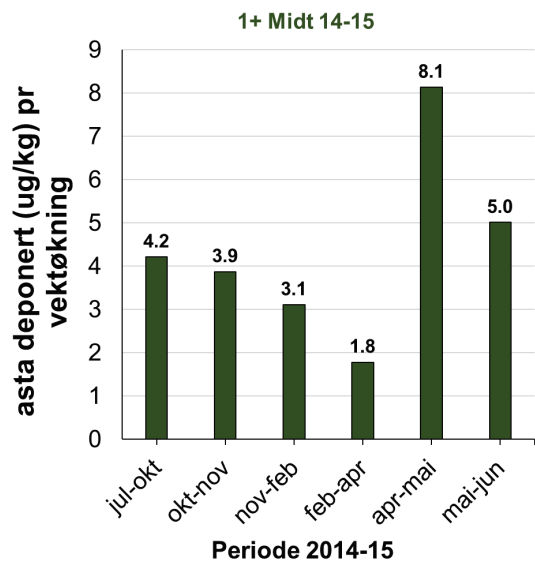
— 1+ Midt 14-15 — 0+ Midt 17-19 — 0+ Midt 18-20



● 1+ Midt 14-15 ● 0+ Midt 17-19 ● 0+ Midt 18-19



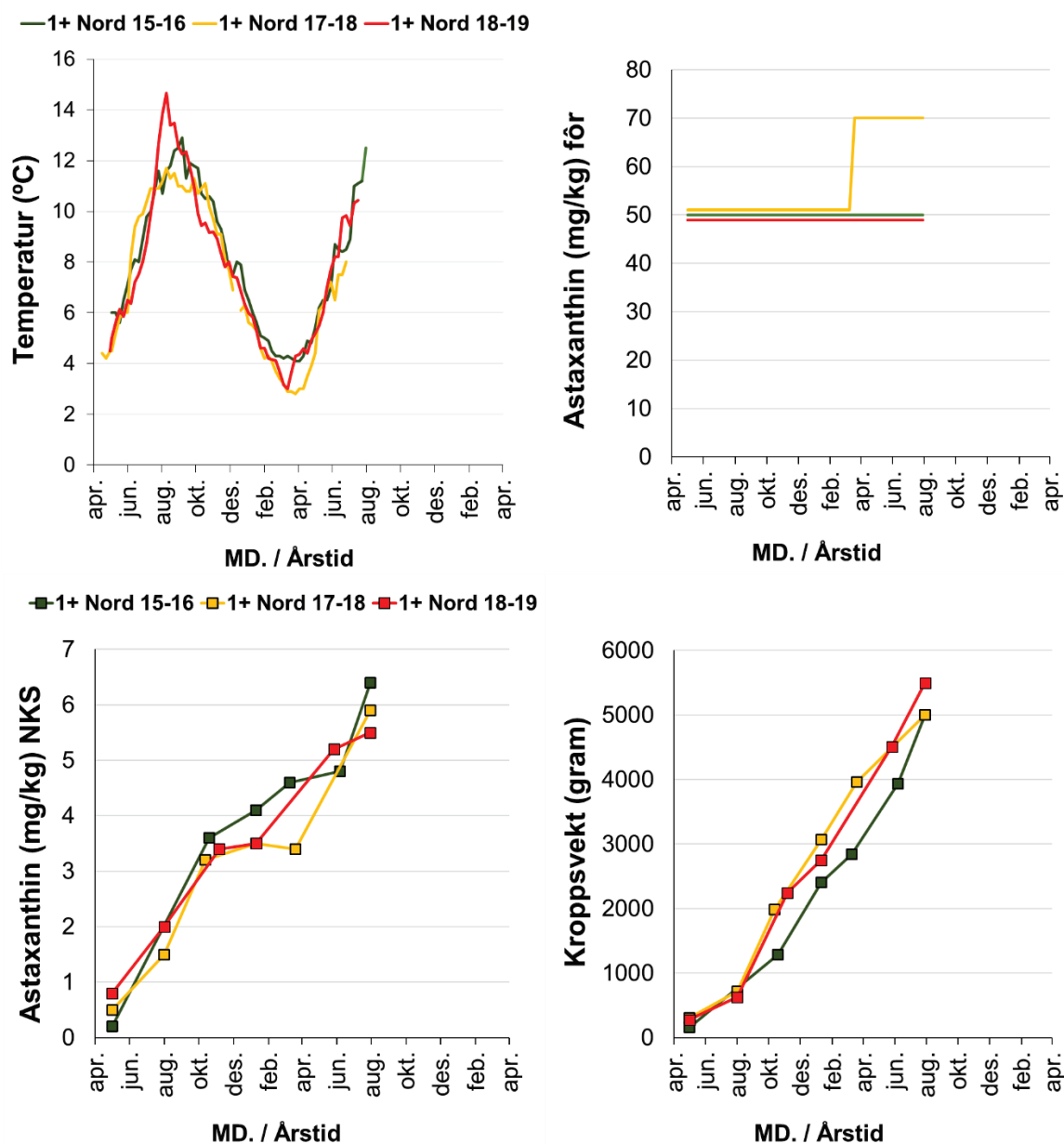
Figur 23 Temperatur, astaxanthin nivå i føret, astaxanthin i muskel/NKS og vektutvikling region sør for produksjonen 2014-15, 2017-19 og 2018-19



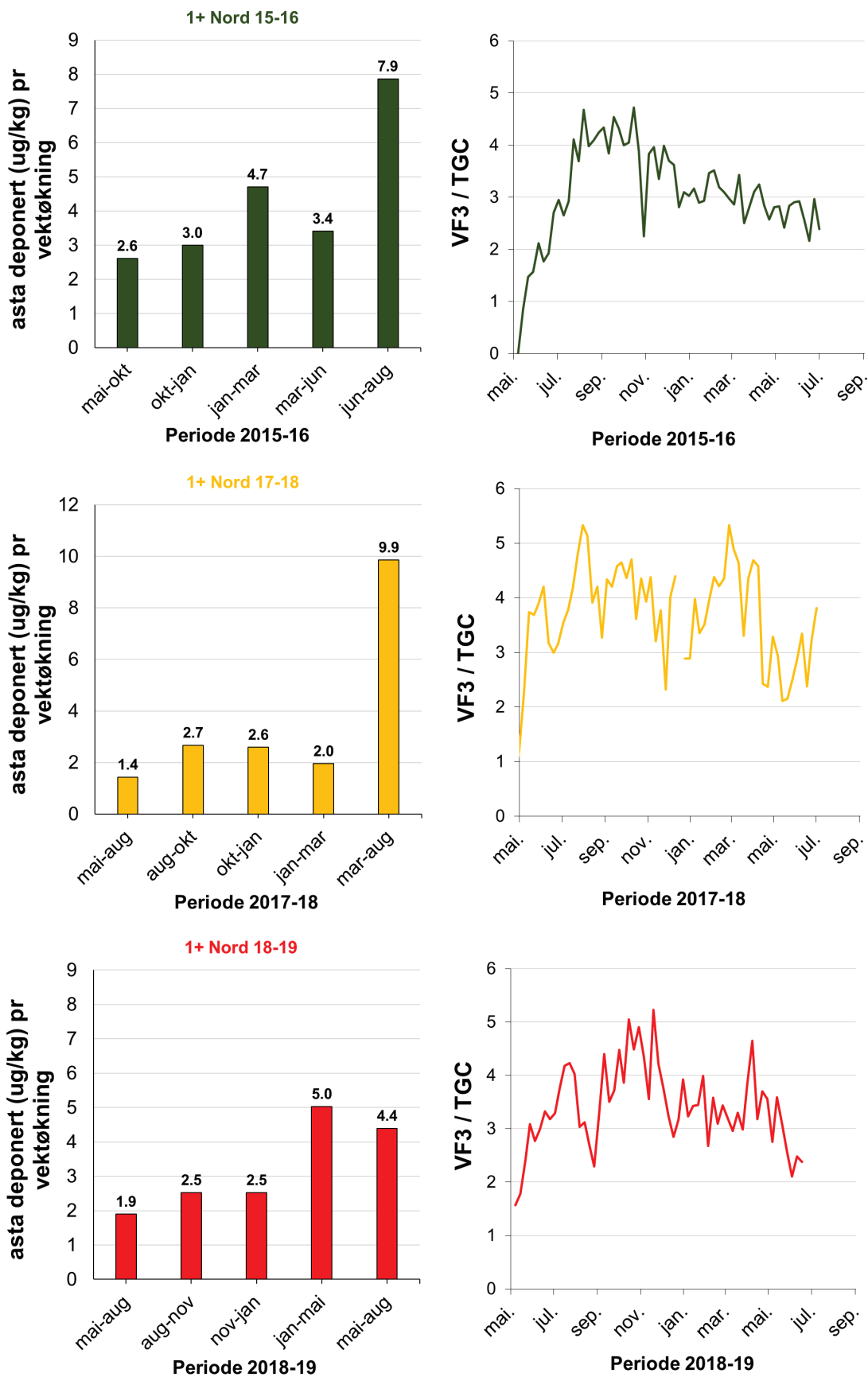
Figur 24 Astaxanthin deponert pr vektøkning ($\mu\text{g}/\text{kg}$) og vekstfaktor ($\text{VF3} / \text{TC}$) for region midt i løpet av sjøfasen for produksjonen i 2014-16, 2017-19 og 2018-19

5.3.2.3.3 Region Nord-Norge

I region Nord-Norge ble produksjonen i 2015-16, 2017-18 og 2018-19 vurdert. Det ble da kun benyttet 1-åring med utsett i april/mai og vekt ved utsett på hhv. 150, 247 og 280 gram i 2015, 2017 og 2019. I 2015-16 og 2018-19 ble det benyttet 50 mg/kg astaxanthin i fôret under hele produksjons-fasen, mens i 2017-18 ble 50 mg/kg astaxanthin i fôret benyttet frem til mars og deretter 70 mg/kg frem til slakt i august. Innfargingsmønsteret følger hovedsakelig de andre regionene, med en lav innfarging i starten av produksjonen, men svært god innfarging og økning i pigment i løpet av vår og sommer. I motsetning til de andre regionene, er veksten relativt stabil og produksjonen ganske like mht. vektutvikling og innfarging på grunn av likt tidspunkt for utsett, samt samme smolt-type. Vi ser dårlig innfarging i 2017-18 og 2018-19 sammenliknet med 2015-16 i løpet av vinter og tidlig vår, hvor temperaturen var ned mot 3 grader. Temperaturen i perioden 2015-16 var ikke under 4 grader i løpet av denne perioden.



Figur 25 Temperatur, astaxanthin nivå i fôret, astaxanthin i muskel/NKS og vektutvikling region sør for produksjonen 2014-16 og 2017-19



Figur 26 Astaxanthin deponert pr vektøkning (µg/kg) og vekstfaktor (VF3 / TC) for region nord i løpet av sjøfasen for produksjonen i 2014-16 og 2017-18 og 2018-19

5.4 Oppsummering og diskusjon av resultater

Det har vært en viss nedgang i astaxanthin-innhold i fileter av oppdrettet atlantehavslaks over tid siden 2012, til tross for at mange produsenter oppgir å ha økt pigmentinnholdet i fôret i perioden. Dette reflekterer noe som ble sagt av en respondent i spørreundersøkelsen: problemet med redusert innfarging av filet er større enn det synes, grunnet innsatsen knyttet til det å opprettholde ønskede nivåer. Vi ser også tegn til en økt spredning i filet astaxanthin-innhold over tid, noe som kan antyde at ikke alle produsentene lykkes like godt med deres innfargingsstrategier. Et flertall av respondentene i spørreundersøkelsen oppgir å ha gjort tiltak eller endringer i produksjonen som kan knyttes til innfarging. Særlig gjelder dette endringer i fôrsammensetning. Alle, unntatt én, av respondentene i spørreundersøkelsen oppgir å ha opplevd problemer med innfarging, men oppfatningen av hvor stort problemet er og i hvilken grad det har vedvart synes å variere betraktelig: noen respondenter opplever redusert innfarging på over 20 % av slaktet fisk, mens andre opplever det på under 2 %. Et flertall av respondentene oppgir at problemet er minkende, mens noen oppgir at det er stabilt eller økende. Problemene med innfarging omfatter både jevnt blek filet, men også ujevn og skjoldete utseende på fileten og det forekommer i alle regioner. En del hadde svart at problemet har blitt mindre de siste par årene, og det støttes også av data på astaxantin i filet.

Spørreundersøkelsen viser at hva som oppfattes som tilstrekkelig pigmentering varierer blant respondentene, som oppgir minste akseptable SalmoFan-verdier fra 22 til 27,5 og minste akseptable pigmentkonsentrasjoner i filet på 5 til 7 mg/kg. Basert på vår undersøkelse er det vanskelig å si om det er en systematisk sammenheng mellom ønskede målverdier for pigmentinnhold/innfarging og hvordan man oppfatter problemet.

Resultatene fra spørreundersøkelsene og produksjonsdataanalysene indikerer at enkelte variabler kan bidra til å forklare variasjonen i oppnådd innfarging. Majoriteten av respondentene (8/11) rapporterte at de så en klar effekt av fiskevekt ved slakt på farge i filet. Dette bekreftes også av data fra FoU konsesjonene og fra de kommersielle produksjonene hvor det var en positiv korrelasjon med rundvekt ved slakt på henholdsvis 0,57 og 0,43. Endringer i slaktevekt vil derfor være en sterk driver for filetfarge, og dersom det slaktes ut mer laks på lavere vekt for å for eksempel unngå avlusinger eller sykdomsutbrudd, så vil dette resultere i lavere innfarging. Det er også en klar variasjon knyttet til når på året fisken slaktes, hvor høsten peker seg positivt ut. Antallet uker med mekanisk avlusning på en lokalitet synes å ha en negativ effekt på innfarging, selv om dette er et grovt og indirekte mål på belastningen fisken utsettes for. Kun to av elleve respondenter i spørreundersøkelsen mente at dårlig innfarging kunne knyttes til lusebehandlinger. Det synes å være en negativ korrelasjon mellom oppnådd astaxanthin-innhold i fileten og både tilvekst (TGC/VF3) og fôrfaktor, men ikke superiorandel fisk. Seks av respondentene svarte også at de opplevde redusert innfarging som følge av hurtig vekst. At det ikke er en sammenheng mellom astaxanthin-verdier og superiorandel kan indikere at vesentlige bidragsyttere til redusert superiorandel, som spesielt er sår på fisken, f.eks. vintersår, ikke påvirker innfarging. Dog kan en rekke forhold påvirke oppnådd superiorandel, også forhold under transport og slakt, som f.eks. feilskjæring.

I analysene i kapittel 5.3 ble kun målt pigmentinnhold brukt som avhengig variabel da disse antas mer sikre enn de visuelle fargemålingene. En utforskning av datasettet viste også tilsynelatende større variasjon i de visuelle fargemålinger og representasjonen av disse, f.eks. ved at noen forekom med kun heltallsverdier, mens andre forekom med desimaler. Det er også en usikkerhet i datasettet knyttet til hvilke metoder som ble benyttet for måling av pigmentinnhold i filet, samt hvordan instrumentene er kalibrert og dataene validert. Vi vet likevel at de fleste registreringene i vårt datasett ble gjort med NIR. Utover dette kan bruken av produsent eller lokalitet som tilfeldig effekt i modellene ha tatt ut noe av variasjonen knyttet til ulik bruk av målemetoder blant produsentene.

Vi har i samtaler med enkelte produsenter funnet at det er ulik praksis når det kommer til å dokumentere at pigmentinnholdet/innfargingen i fileten er tilstrekkelig: ikke alle produsentene måler og registrerer pigmentinnholdet eller fargeverdien i fileten ved slakt, men måler derimot i kvalitetsprøver tatt underveis i produksjonen. Når de oppnår ønsket pigmentering, utfører de angivelig ikke flere målinger. At det er ulik praksis knyttet til dette fremkommer også av intervjuene, hvor noen produsenter synes å justere pigmenttilsetningen gjennom fôret basert på pigmenteringsverdiene de får fra kvalitetsprøvene tatt underveis i produksjonen. Respondentene oppgir også flere ulike tidspunkter for når avvikende innfarging registreres, fra kvalitetsprøvene blir tatt under produksjonen til en eventuell reklamasjon fra kundene.

De fleste variablene som er inkludert i de benyttede datasettene er overordnede og analysene kan være preget av konfunderende variabler som ikke er inkludert; f.eks. gir ikke effektene av settefiskprodusent og tidspunkt for utsett noen entydig forklaring om årsaksforhold. En særskilt svakhet er at vi for de fleste produsentene ikke hadde informasjon om fôret, ei heller hvor mye pigment som ble tilført gjennom dette. Et annet viktig forbehold er at modellene som er benyttet i rapporten er relativt enkle og ikke inkluderer interaksjonseffekter.

Samtidig som innholdet av astaxanthin i filet gikk ned gikk også nivåene av EPA og DHA i fileten ned, for så å øke fra 2020-2022. Innholdet av planteolje i laksefôret økte fra 2012 (Ytrestøyl m fl., 2012, Aas m fl. 2016, 2020), og mengden av omega-3 i fôret gikk ned, mens mengden av omega-6 økte. Dette vises også i laksefileten, hvor vi ser at mengden omega-6 øker fra 2014 til 2018. Fra 2019 til 2022 avtar mengden omega-6 i filet. Innholdet av fettsyrer i fiskens filet gjenspeiler i stor grad det som er i fiskefôret, så det er grunn til å tro at endringen i fôretsammensetning har ført til reduserte nivå av omega-3 fettsyrer i fileten. Det er vist i flere studier at mengden flerumettede fettsyrer i fôret kan ha en positiv effekt på deponering av astaxanthin og farge i filet (Bjerkeng m fl., 1999, Regost m. fl. 2004, Rørå m fl., 2005, Wågbø m fl., 2013., Lufti m. fl. 2022, Ytrestøyl m. fl. 2023). Rørå m fl. 2005 fant en 40 % økning i konsentrasjonen av astaxanthin i filet ved å bytte ut 29 % soyaolje med høy omega-3 olje fra Peru. I analysen av data fra kommersielle produksjoner ble det funnet en positiv korrelasjon ($R^2 = 0,5$) mellom summen av omega-3 fettsyrer og astaxanthin konsentrasjon i filet og en svakere negativ korrelasjon med innholdet av omega-6 fettsyrer ($R^2 = -0,1$). Dette stemmer godt overens med en positiv korrelasjon mellom astaxanthin og EPA og DHA i filet på 0,43 og 0,46 og en negativ korrelasjon med omega-6 på -0,13 funnet av Ytrestøyl m fl. (2023). Korrelasjoner sier ikke noe om en årsaksakssammenheng, men den sterkere korrelasjonen mellom omega-3 og astaxanthin i filet enn den svakere negative sammenhengen med omega-6 tyder på en biologisk mekanisme som vi ikke har avdekket foreløpig. EPA og DHA har mange effekter, blant annet antiinflammatoriske og antioksidant effekter, i likhet med astaxanthin. Det kan være synergistiske effekter mellom omega-3 fettsyrer og astaxanthin, som er viktig i fiskens forsvar mot oksidativt stress. I laks er det vist at under krevende forhold, med avlusinger og stress, så var det høyere dødelighet hos laks som hadde fått fôr med lave nivåer av EPA og DHA. Blant tiltakene for bedre filetfarge nevnt fra respondentene, ble det innmeldt økt innhold av EPA og DHA i fôr, og noen nevnte også at de nå bruker et minimum på 7,5 % EPA + DHA av totalt fett i fôret.

Et annet tiltak som var gjennomført var å øke innholdet av astaxanthin i fôret, men dette hadde mindre effekt enn å øke innholdet av omega-3, den positive korrelasjonen mellom astaxanthin i fôret og i filet var på 0,16 basert på data fra FoU-konsesjonene. Det er kjent fra en rekke forsøk fra en del år tilbake at det kun har en marginal effekt på pigmentinnholdet i filet å øke konsentrasjonen av astaxanthin i fôret over 50-60 mg/kg (Torrissen m fl. 1995, Ytrestøyl m fl., 2008). Enkelte respondenter nevnte også at de hadde økt nivået av vitaminer/antioksidanter i fôret, særlig ved lav temperatur. Effekten av dette er det ikke mulig å dokumentere i dette prosjektet, men det har vært gjort forsøk som kan indikere at når fisken har økt behov for antioksidanter så reduseres innholdet av astaxanthin i filet (Nordgården m fl., 2003) mens andre studier ikke viser en nedgang i astaxanthin i filet når fisken har økt behov for antioksidanter (Hamre m fl. 2022). Antioksidanten ethoxyquin som har vært tilsatt fiskemel i en årrekke for å hindre

eksplosjonsfare under transport, ble forbudt å tilsette i fiskemel i 2021. Det har vært hevdet at dette kan være årsaken til nedgangen i filetfarge, men både svar fra spørreundersøkelsen og datagrunnlaget indikerer at nedgangen begynte en god stund før 2021, så dette er ikke den mest sannsynlige forklaringen, selv om utfasingen av ethoxyquin kan ha startet en stund før forbudet trådte i kraft.

Det var mindre klare sammenhenger mellom størrelse og tidspunkt for utsett og farge i filet. Datagrunnlaget fra FoU-konsesjonene indikerer en mulig negativ sammenheng mellom økende størrelse ved utsett og blekere filetfarge ($r = -0,2$). En respondent svarer at stor smolt har dårligere innfarging (1/11), mens en annen svarer at 0-åring har dårligere innfarging. Majoriteten av respondenter (9/11) har ikke sett noen systematiske forskjeller mellom smoltgrupper. Data fra FoU konsesjonene viser heller ingen forskjeller mellom 0+ og 1+ mens data fra de kommersielle produksjonene kan indikere effekter av alder eller tidspunkt for utsett der smolt satt ut om høsten hadde bedre filetfarge ved slakt. I tidligere studier er det observert forskjeller i pigmentering mellom 0+ og 1+ smolt (Rørvik og Mørkøre 2001, Ytrestøyl m. fl. 2004). Det var også en betydelig variasjon mellom smoltprodusenter med hensyn på filetfarge, men årsakene til dette har vi foreløpig ikke tilstrekkelig datagrunnlag til å kunne si noe om. Det som vi har opplysninger om er om anlegget var RAS eller gjennomstrømming, og de seks anleggene som kom best ut med hensyn til farge ved slakt var samtlige gjennomstrømningsanlegg. Dette kan skyldes andre faktorer enn produksjonssystem, for eksempel temperatur og størrelse ved utsett. Det er nå et pågående prosjekt i regi av Nofima (FHF 901770) som ser på effekt av temperatur og produksjonssystem i settefiskfasen på prestasjon i sjøfasen og kvalitet ved slakt. Dette kan på sikt gi noen indikasjoner om årsakssammenhenger.

Data fra de kommersielle produksjonene viser en tendens til at det er bedre innfarging i sørlige regioner enn i nord. I FoU-konsesjonene kom imidlertid lokalitetene i sør dårligst ut, mens de i region midt kom best ut. Dette skyldes sannsynligvis store problemer med sykdom og lus i de sørlige FoU-konsesjonene som førte til tidligere utslakting og større spredning i vekt på lokalitetene i sør. I FoU konsesjoner følges fisken opp med regelmessig data-innsamling og registrering av vekst og fôrutnyttelse. Her kunne vi derfor gå litt dypere inn på sammenhenger mellom ulike parametere og filetfarge, og også se på sesongvariasjoner i deponeringseffektivitet og effekter av sykdomsutbrudd enn det som var mulig med data fra de kommersielle produksjonene. Det er godt kjent at det er sesongmessige variasjoner i hvor effektivt laksen deponerer astaxanthin i fileten, noe som i stor grad skyldes sesongmessig variasjon i veksthastighet. Rask vekst og høyere fôrinntak er vist å redusere fordøyelighet av astaxanthin og gi redusert farge i filet (Rørvik m. fl. 2010, Ytrestøyl m. fl. 2006). Men lav temperatur kan også gi lavere fordøyelighet av astaxanthin (Ytrestøyl m. fl. 2005). Om lag halvparten av respondentene svarte at de fikk problem med pigmentering etter perioder med rask vekst. Det ble registrert årstidsvariasjoner i pigmentdeponering i FoU-tillatelsene, hvor våren og den andre høsten i sjøen ser ut til å være perioder med økt deponering. Den første delen av produksjonen, som er assosiert med rask vekst og fôrinntak, viser ofte lav pigmenteffektivitet og deponering. I tillegg ser det ut til at sykdommer som PD og CMS har en sterk negativ påvirkning på innfarging. I FoU-konsesjonene ble det observert best innfarging for laks slaktet om våren, mens den laveste innfargingen ble observert om vinteren, mens blant respondentene i spørreundersøkelsen svarte de fleste at problemene var størst i fisk slaktet ut om våren, og det kan også se ut som om dette er tilfelle i datagrunnlaget fra de kommersielle produksjonene.

6 Anbefalinger

En del av de faktorene som er vist å påvirke pigmentering, som sesongmessige variasjoner i slaktetidspunkt og tidspunkt for utsett av smolt og som sannsynligvis er relatert til vanntemperatur er det ikke mulig å gjøre mye med. Men når man er klar over disse faktorene er det mulig å planlegge produksjonen slik at man kan ta høyde for disse faktorene. Det kan også tenkes at fettsyreprofil eller antioksidant-innhold i fôret kan påvirke utnyttelse av astaxanthin ved lave temperaturer, og dette er noe som kan undersøkes nærmere, for det er ikke mye tilgjengelig informasjon om interaksjoner mellom miljøfaktorer, fôrsammensetning og utnyttelse av astaxanthin. Det er også en klar positiv effekt av innholdet av EPA og DHA, så det synes som det er viktig å ha tilstrekkelig innhold av disse fettsyrene i fôret for å sikre god innfarging, men behovet under krevende forhold for å sikre god innfarging er ikke kjent. Det kan også variere med sesong og geografisk lokalisering. Mange mekaniske avlusinger var klart negativ for farge, det samme var PD. Sykdom og avlusinger er vanskelig å unngå, men alternative metoder for å redusere lusenivå som er mer skånsomme for fisken og å vaksinere mot PD vil ha en positiv effekt.

Det ble også funnet variasjon mellom smoltprodusenter i farge ved slakt. Årsakene her er ikke kjent, og det oppfordres til å se nærmere på årsakene til dette, og særlig ved utsett at større smolt bør man gjøre en vurdering av farge i filet ved utsett. Det bør også tilsettes astaxanthin i fôret fra fisken er relativt liten, noe de fleste allerede gjør i dag.

7 Hovedfunn

- Det har vært en svak nedgang og økt spredning i oppnådd innfarging i filet siden 2012, med en viss økning siden 2021, og noen av produsentene synes å ha måttet øke innsatsen for å opprettholde ønsket innfarging ved å tilsette mer astaxanthin i fôret. Det er nå vanlig å benytte 50-70 mg/kg fôr i sjøfasen. Enkelte svarer også at de har økt innholdet av omega-3 i fôret.
- Produsentene har varierende oppfatning om hva som er tilstrekkelig innfarging og det varierer i hvilken grad de oppfatter innfarging som et problem.
- Tidspunkt for slakt, antall uker med mekanisk avlusning på en lokalitet, og settefiskleverandør synes å ha betydning for oppnådd innfarging og disse sammenhengene burde undersøkes nærmere.
- Det var også en positiv korrelasjon mellom innholdet av omega-3 i filet og innholdet av astaxanthin i filet. Mekanismen bak effekten er ikke kjent, men samme tendens er observert i kontrollerte forsøk.

8 Leveranser

- Nyhetssak om prosjektet og om seminar for næringsseminar med informasjon om påmelding: 15.02 2022
- Åpent seminar for næringsaktører på pigmentering: 31.03 2022
- Review artikkel om pigmentering i laksefisk i internasjonalt tidsskrift: Innsendt innen 15.07 2024
- Populærvitenskapelig artikkel i Norsk Fiskeoppdrett eller tilsvarende: 30.07 2024
- Faktaark: 15.07 2024
- Referat fra møter med referansegruppen: Q1, Q3 2022, Q1, Q3 2023
- Statusrapporter til FHF: 31.12 2022, 31.12 2023
- Faglig sluttrapport i tråd med FHF's *Retningslinjer for sluttrapportering*: 30.06 2024
- Populærvitenskapelig resultatsammendrag: 30.06 2024
- Administrativ sluttrapport i tråd med FHF's *Retningslinjer for sluttrapportering*: 30.06 2024
- Oppsummerende seminar for næringsaktører med presentasjon av resultater: Høst 2024
- 2-4 siders oppsummerende faktaark med resultater fra prosjektet (30.06.2024)

9 Referanser

- Aas, T.S., Ytrestøyl, T., Åsgård, T. 2019. Utilization of feed resources in the production of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in Norway: An update for 2016, *Aquaculture Reports*, 15, 100216
- Aas, T.S., Åsgård, T. and Ytrestøyl, T., 2022. Utilization of feed resources in the production of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in Norway: an update for 2020. *Aquaculture Reports*, 26, p.101316.
- Albrektsen, S., Østby T.K., Pedersen M., Ytteborg E., Ruyter B., Ytrestøyl T. 2018. Dietary impacts of sulphuric acid extracted fish bone compounds on astaxanthin utilization and muscle quality in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*. 495, 255-266.
- Bjerkeng, B., 2000. Carotenoid pigmentation of salmonid fishes - recent progress. In Suárez, L.E.C., Marie, D.R., Salazar, M.T., Novoa, M.A.O. and Cerecedo, R.C. (Eds.): *Avances en Nutrición Acuicola V*, Mérida, Mexico, Nov. 19.-22., 2000, pp. 71-89.
- Bou, M., Berge, G.M, Bæverfjord, G., Sigholt, T., Østbye, T.K., Ruyter, B. 2017b. Low levels of very-long-chain n-3 PUFA in Atlantic salmon (*Salmo salar*) diet reduce fish robustness under challenging conditions in sea cages. *J. Nutr. Sci.* 6, 1-14.
- Erikson, U., Hultmann, L., Steen, J.E., 2006. Live chilling of Atlantic salmon (*Salmo salar*) combined with mild carbon dioxide anaesthesia. I. Establishing a method for large -scale processing of farmed fish. *Aquaculture* 252, 183-198.
- Folkestad, A., Wold, J. P., Rørvik, K.-A., Tschudi, J., Haugholt, K. H., Kolstad, K. & Mørkøre, T. 2008. Rapid and non-invasive measurements of fat and pigment concentrations in live and slaughtered Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, 280, 129-135.
- Forsberg, O.I. and A.G. Guttormsen, 2006. A pigmentation model for farmed Atlantic salmon: Nonlinear regression analysis of published experimental data. *Aquaculture* 253, 415-420.
- Hamre, K., Micalle, G., Hillsestad, M., Johansen, J., Remø, S., hang, W., Ødegård, E., Araujo, P., Philip, A.J.P., Waagbø, R. 2022. Changes in daylength and temperature from April until August for Atlantic salmon (*Salmo salar*) reared in sea cages, increase growth, and may cause consumption of antioxidants, onset of cataracts and increased oxidation of fillet astaxanthin. *Aquaculture*, 551, 737950,
- Larsson, T., Krasnov, a., Lerfall, J., Taksdal, T., Pedersen, M., Mørkøre, t. (2012). Fillet quality and gene transcriptome profiling of heart tissue of Atlantic salmon with pancreas disease (PD). *Aquaculture* 330-333, 82-91.
- Lutfi, E., Berge, G.M., Bæverfjord, G., Sigholt, T., Bou, M., Larsson, T., Mørkøre, T., Evensen, Ø., Sissener, N.H., Rosenlund, G., 2022. Increasing dietary levels of the omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids, EPA and DHA, improves the growth, welfare, robustness, and fillet quality of Atlantic salmon in sea cages. *British Journal of Nutrition*, 1-48.
- Mørkøre, T. and K.-A. Rørvik, 2001. Seasonal variations in growth, feed utilisation and product quality of farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) transferred to seawater as 0+ smolts or 1+ smolts. *Aquaculture* 199, 145-157
- Nordgarden, U., Ørnsrud, R., Hansen, T., Hemre, G-I., 2003. Seasonal changes in selected muscle quality parameters in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) reared under natural and continuous light. *Aquacult. Nutr.* 9, 161-168.
- Regost, C., J.V. Jakobsen and 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 Research International* 37, 259-271.
- Robb, D.H.F., Kestin, S.C., Warriss, P.D., 2000. Muscle activity at slaughter: I. Changes in flesh colour and gaping in rainbow trout. *Aquaculture* 182, 261-269.
- Roth, B., S.J.S. Johansen, J. Suontama, A. Kiessling, O. Leknes, B. Guldberg and S. Handeland, 2005. Seasonal variation in flesh quality, comparison between large and small Atlantic salmon (*Salmo salar*) transferred into seawater as 0+ or 1+ smolts. *Aquaculture* 250, 830-840

- Rørvik, K. A., Rørvik, S., Salberg, T. & Larsson, T. 2014. B Hvor rød er en laks? Norsk Fiskeoppdrett Nr 11, 43–47.
- Rørvik, K-A., Ytrestøyl, T., Lundberg, E., Jakobsen, F.A., Jakobsen, A.A., Bjerkeng, B. 2010. The apparent digestibility coefficients of carotenoids, macronutrients and minerals are affected by ration level in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Journal of applied aquaculture* 22, 123-139.
- Rørå, A.M.B., S. Birkeland, L. Hultmann, T. Rustad, T. Skåra and B. Bjerkeng, 2005. Quality characteristics of farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets high in soybean or fish oil as affected by cold-smoking temperature. *Lebensmittelwissenschaft und Technologie – Food Science and Technology* 38, 201-211.
- Sigholt, T., Erikson, U., Rustad, T., Johansen, S., Nordtvedt, T.S. and Seland, A. 1997. Handling stress and storage temperature affect meat quality of farm-raised Atlantic salmon (*Salmo salar*). *J. Food Sci.* 62, 898-905.
- Sigholt, T., Berge, G.M., Ruyter, B., Åsgård, T. 2008. Graded levels of palm oil in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*), at three different temperatures. XII Int. Symp. Fish Nutr. & Feeding. June 1-5, Florianópolis, Brasil
- Storebakken, T., No, H. K., 1992. Pigmentation of rainbow trout. *Aquaculture* 100, 209-229
- Torrissen, O.J., Hardy, R.W., Shearer, K.D. 1989. Pigmentation of salmonids-carotenoid deposition and metabolism. *CRC Crit. Rev. Aquat. Sci.* 1, 209-225.
- Torrissen, O.J., Christiansen, R., Struksnæs, G., Estermann, R., 1995. Astaxanthin deposition in the flesh of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in relation to dietary astaxanthin concentration and feeding period. *Aquacult. Nutr.* 1, 77-84.
- Waagbø, R., Berntssen, M.H.G., Danielsen, T., Helberg, H., Kleppa, A.L., Berg Lea, T., Rosenlund, G., Tvenning, L., Susort, S., Vikeså, V., 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. *Aquacult. Nutr.* 19, 598-618.
- Ytrestøyl, T., G.N. Coral-Hinostroza, B. Hatlen, D.H.F. Robb and B. Bjerkeng, B., 2004. Carotenoid and lipid contents in muscle of Atlantic salmon, *Salmo salar*, transferred to seawater as 0+ or 1+ smolts. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology* 138B, 29-40
- Ytrestøyl, T., Struksnæs, G., Koppe, W., Bjerkeng, B., 2005. Effects of temperature and feed intake on astaxanthin digestibility and metabolism in Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Comp. Biochem. Physiol.* 142B, 445-455.
- 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, 215-224.
- Ytrestøyl, T., Struksnæs, G., Rørvik, K-A., Bjerkeng, B. 2008. Utilisation of astaxanthin in Atlantic salmon from sweater transfer to slaughter. XII Int. Symp. Fish Nutr. & Feeding. June 1-5, Florianópolis, Brasil
- Ytrestøyl, T., Aas, T.S and Åsgård, T. 2015. Utilisation of feed resources in production of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in Norway. *Aquaculture*. 448:365-374.
- Ytrestøyl, T., Bæverfjord, G., Kolarevic, J., Solheim, M., Hjelle, E., Mørkøre, T., Brunsvik, P. Hva betyr fremtidens produksjonsstrategier for ytelse, helse og velferd i sjøfasen, Faglig sluttrapport FHF 901293. Nofima rapport 38/2018
- Ytrestøyl, T., Dikiy, A., Shumilina, E., Bæverfjord, G., Krasnov, A., Ciampa, A., Hatlen, B., Østby, T-K., Mira, M.B., Jens-Erik Dessen, J-E., Rørvik, K-A., og Ruyter, B. 2019. Effekt av fôr, temperatur og stress på pigmentering i laks. Faglig sluttrapport FHF 901271, Nofima rapport 24/2019.
- Ytrestøyl T, Bou M, Dimitriou C, Berge GM, Østbye TK, Ruyter B. Dietary Level of the Omega-3 Fatty Acids EPA and DHA Influence the Flesh Pigmentation in Atlantic Salmon. *Aquaculture Nutrition*. 2023;2023(1):5528942.

Vedlegg 1

Spørsmål inkludert i spørreundersøkelse

Innrykk indikerer forgreninger: kun de som svarte ja på spørsmål 5 fikk spørsmålene 6 til og med 30, kun de som svarte ja på spørsmål 20 fikk spørsmålene 21 til og med 23, kun de som svarte ja på spørsmål 24 fikk spørsmålene 25 til og med 27, og kun de som svarte ja på spørsmål 28 fikk spørsmålene 29 og 30.

- a. Hvilket selskap representerer du?
 - b. Hva er din rolle i bedriften/selskapet?
-
1. Hvor mange matfiskanlegg svarer du på vegne av?
 2. I hvilke regioner oppdrettes fisken dere slakter? (Flere svaralternativer er mulig)
 3. Hvordan evaluerer dere farge og pigmentinnhold i fisken? (Flere svaralternativer er mulig)
 4. Hva regner dere som dårlig pigmentering? Angi, for eksempel, pigmentkonsentrasjoner eller SalmoFan-verdier dere regner som utilstrekkelige.
 5. Har dere opplevd problemer med pigmentering i filet?
 6. Når i produksjonen oppdages/rapporteres kvalitetsavviket (reduert pigmentering)? (Flere svaralternativer er mulig)
 7. I hvilket omfang forekommer problemet? Angi, for eksempel, omtrentlig prosentandel av slaktet fisk.
 8. Hvordan fortøner problemet seg? Er det, for eksempel, som ujevn fordeling av farge i fileten eller at hele fileten har jevn men dårligere innfarging? Beskriv gjerne.
 9. Er problemet knyttet til enkeltanlegg, enkelte regioner, eller forekommer det overalt hvor dere har virksomhet?
 10. I hvilke regioner har dere opplevd problemer med redusert pigmentering? (Flere svaralternativer er mulig)
 11. Har disse regionene/anleggene spesifikke og gjentatte sykdomsutfordringer? Vennligst beskriv disse.
 12. Når opplevde dere først at redusert pigmentering i filet ble et problem? Angi, for eksempel, et årstall.
 13. Har problemet med redusert pigmentering minket i omfang, vært stabilt over lengre tid, eller økt i omfang? Skriv gjerne i annet-boksen hvis, for eksempel, enkelte år har skilt seg ut.
 14. I hvilken type produksjonssystem produseres fisken før den settes ut i sjø?
 15. Forekommer problemer med redusert pigmentering oftere på fisk som ble satt ut som nullårig (0+) eller ettårig (1+) smolt, eventuelt storsmolt (settefisk over 250 gram)? (Flere svaralternativer er mulig)
 16. Forekommer problemer med redusert pigmentering oftere ved bruk av bestemte lusebehandlingsmetoder eller ved et bestemt antall behandlinger?
 17. Når på året observeres problematiske forekomster av redusert pigmentering i slaktet fisk? (Flere svaralternativer er mulig)
 18. Ser dere variasjon i innfarging som kan knyttes til fiskens størrelse ved slakt?
 19. Ser dere en nedgang i innfarging som kan knyttes til hurtig vekst?
 20. Ser dere en reduksjon i pigmentering i grupper som har gjennomgått mange avlusninger?
 21. Bruker dere rognprodukt/genetisk materiale selektert for bedre pigmentering?

22. Hvilket rognprodukt/genetisk materiale selektert for bedre pigmentering bruker dere?
23. Ser dere en bedring i pigmentering ved bruk av dette rognproduktet/genetiske materialet?
24. Har dere begynt å bruke andre fôrsammensetninger, for eksempel med høyere innhold av pigment eller omega-3 fettsyrer, som følge av problemer med redusert pigment i filet?
 25. Hvilke endringer i fôrsammensetning har dere gjort?
 26. Når ble disse endringene i fôrsammensetning gjort?
 27. Hadde disse endringene i fôrsammensetning en målbar effekt?
28. Har dere gjort andre tiltak for å motvirke problemet med redusert pigment i filet?
 29. Hvilke tiltak har dere gjort?
 30. Hadde tiltaket en målbar effekt?
31. Ved hvilken fiskevekt begynner dere med pigmenttilsetning (f.eks. astaxanthin) i fôret?
32. Hvilken strategi følger dere for administrering av pigment gjennom fôr: med hvilke konsentrasjoner og hvor lenge gis fôr inneholdende pigment?
33. Hva tror dere kan være årsakene til at redusert pigmentering av filet forekommer?