ERNÆRINGSBEHOV HOS KVEITE

Øystein Sæle, Havforskningsinstituttet
Ivar Rønnestad, Universitetet i Bergen
Katerina Kousolaki, Nofima

Tittel:

Ernæringsbehov hos kveite

Nutritional requirements in Atlantic halibut

Interne forfattere:
Øystein Sæle

Eksterne forfattere:
Ivar Rønnestad og Katerina Kousolaki

Dato:
18.06.2025

Distribusjon: Åpen

Prosjektnr.:
15702

Oppdragsgiver:
FHF

Oppdragsgivers referanse:
901657

Program:
Fremtidens Havbruk

Forskningsgruppe:
Fôr og Ernæring

Antall sider totalt:
48

Sammendrag (norsk):
Dette prosjektet hadde som hovedmål å fremskaffe kunnskap om ernæringskrav til kveite for å adressere utfordringen med langsom vekst og høye fôrkostnader i kveiteoppdrett. Prosjektet, som gikk fra november 2020 til juni 2025, inkluderte studier på makronæringsstoffer, mikronæringsstoffer og alternative råvarer i fôr til kveite. For beste makronæringsstoffsammensetning produserte vi tolv ulike fôr med varierende nivåer av protein, lipid og stivelse ble testet på kveite fra en startvekt på ca. 316 g. Resultatene viste at optimal sammensetning varierte med fiskens størrelse. For kveite mellom 300-700 g anbefales 50-60% protein, 16-20% fett og 5-15% stivelse. For kveite større enn 700 g anbefales 45-57% protein, 10-20% fett og opptil 25% stivelse. Fôr med 26% lipid ga dårlig vekst og redusert velferd. Høyere stivelsesnivåer (22-25%) viste positiv effekt på vekst i siste fase for større fisk. Uttrykk av appetittregulerende gener korrelerte med vekst og var høyest i grupper med høyt stivelsesinnhold. Det ble ikke funnet histologisk inflammasjon i tarmen knyttet til fôrsammensetning, men genuttrykk for noen interleukiner var høyere med økt stivelse. For å finne anbefalinger for beste mikronæringsstoffsammensetning, produserte vi syv fôr med økende nivåer av vitaminer og mineraler for å estimere behov gjennom metningspunkter i vev. Fisken vokste fra ca. 375 g til 618 g. Anbefalingene våre er Tiamin (B1): 12 mg/kg, Pyridoksin (B6): 6,2 mg/kg, Folsyre (B9): 8,6 mg/kg, Pantotensyre (B5): 20 mg/kg, og Biotin (B7): 0,37 mg/kg. Mengden biotin er usikker da det er indikasjoner på at høye nivåer av pantotensyre hemmer biotinopptak. Om metningspunktene for Kobalamin (B12) på 0,24 mg/kg og Vitamin C på 590 mg/kg viser til behov er usikkert, da disse nivåene er høye sammenlignet med andre arter. Det ble ikke funnet klare metningspunkter for riboflavin (B2), kobber (Cu) og selen (Se) innenfor de testede nivåene, eller dataene var usikre for sink (Zn) og mangan (Mn). Rapporten gir en tabell med anbefalte nivåer sammenlignet med andre fiskearter. Videre undersøkte vi om et fôr hvor fiskemel var erstattet med lakseavskjær, insektmel og kyllingavskjær (et fôr uten bruk av vill fisk) ville bli akseptert av kveiten og konsumenter. En smakstest med 51 deltakere, hvor maten ble tilberedt av en Michelin-kokk, viste at 100% smakte forskjell. Hele 61% foretrakk kveiten fôret med de alternative råvarene, mens kun 12% foretrakk fisken med høyest protein (60%) og lavest fett (5%).

Summary (English):
This project aimed to provide knowledge about the nutritional requirements of halibut to address the challenges of slow growth and high feed costs in halibut farming. The project, which took place from November 2020 to June 2025, included studies on macronutrients, micronutrients, and alternative raw materials in halibut feed.To determine the best macronutrient composition, we produced twelve different feeds with varying levels of protein, lipid, and starch, which were tested on halibut starting at a weight of approximately 316 g. The results showed that the optimal composition varied with the size of the fish. For halibut weighing between 300-700 g, it is recommended to provide 50-60% protein, 16-20% fat, and 5-15% starch. For halibut larger than 700 g, the recommendations are 45-57% protein, 10-20% fat, and up to 25% starch. Feed with 26% lipid resulted in poor growth and reduced welfare. Higher starch levels (22-25%) positively affected growth in the final phase for larger fish. The expression of appetite-regulating genes correlated with growth and was highest in groups with a high starch content. No histological inflammation in the gut related to feed composition was found, but gene expression of some interleukins was higher with increased starch.To find recommendations for the best micronutrient composition, we produced seven feeds with increasing levels of vitamins and minerals to estimate requirements through saturation points in the tissue. The fish grew from approximately 375 g to 618 g. Our recommendations are Thiamine (B1): 12 mg/kg, Pyridoxine (B6): 6.2 mg/kg, Folic acid (B9): 8.6 mg/kg, Pantothenic acid (B5): 20 mg/kg, and Biotin (B7): 0.37 mg/kg. The amount of biotin is uncertain as there are indications that high levels of pantothenic acid inhibit biotin absorption. Whether the saturation points for Cobalamin (B12) at 0.24 mg/kg and Vitamin C at 590 mg/kg refer to actual needs is uncertain, as these levels are high compared to other species. No clear saturation points for Riboflavin (B2), Copper (Cu), and Selenium (Se) were found within the tested levels, and the data were uncertain for Zinc (Zn) and Manganese (Mn). The report provides a table of recommended levels compared to other fish species.Furthermore, we investigated whether a feed in which fish meal was replaced with salmon by-products, insect meal, and chicken by-products (a feed without the use of wild fish) would be accepted by the halibut and consumers. A taste test with 51 participants, where the food was prepared by a Michelin chef, showed that 100% could taste a difference. A full 61% preferred the halibut fed with the alternative raw materials, while only 12% preferred the fish with the highest protein (60%) and lowest fat (5%).

Innhold

1 Innledning 6
1.1 Kunnskapsstatus og tidligere utført arbeid 6
1.2 Fôr for kveiteproduksjon 7
1.2.1 Makronæringssammensetning 7
1.3 Appetittkontroll 8
1.4 Fôringsatferd 8
1.5 Veksteffektivitet 8

2 Problemstilling og formål 9

3 Prosjektets hovedfunn 10

4 Prosjektets omfang 11

5 Prosjektorganisering 12

6 Prosjektets resultatmål 14

7 Prosjektgjennomføring og resultater 15
7.1 Makronæringsstoffsammensetning 15
7.1.1 Beskrivelse av metodikk 15
7.1.2 Resultater 20
7.1.3 Anbefalt behov for makronæringsstoffer: 28
7.2 Mikronæringsstoffer 29
7.2.1 Beskrivelse av metodikk 29
7.2.2 Resultater 30
7.2.3 Anbefalt behov for mikronæringsstoffer: 39
7.3 Alternative råvarer 40
7.3.1 Beskrivelse av metodikk 40
7.3.2 Anbefaling 42

Referanser 43

Leveranser: 45

I Innledning

Faglig bakgrunn for at prosjektet ble igangsatt

Oppdrett av kveite startet med forskning på 1980-tallet som resulterte i en rekke bedrifter som startet opp på 80- og 90-tallet. En rekke flaskehalser ble vanskelige å løse og mange måtte gi opp. I dag finnes 4-5 aktive bedrifter og flere av flaskehalsene oppleves ikke lengre så trange. Tilgang på yngel er stabil og god, og sykdomsbildet er noenlunde oversiktlig. Det største hinderet for bedre inntjening for dagens matfiskprodusenter er veksthastighet i påvekstfasen med dertil høye fôrkostnader. Det er gjort en rekke studier på ernæring hos kveite i tidlig utvikling, men kun et fåtall har sett på behov i større fisk, og da for det meste med fokus på makronæringsstoffer.

1.1 Kunnskapsstatus og tidligere utført arbeid

Ikke ulikt det vi vet fra andre arter, kan det se ut til at proteinbehovet synker noe etter hvert som fisken vokser. Generelt er proteinbehovet hos fisk fra 1 til 500 g rapportert til å ligge mellom 51 og 61 % av fôr. Fisk over 500 g har muligens et behov et sted mellom 35 og 41 % (se Tabell 1). Arnarson et al., 2009 fant ingen effekt av proteinnivå i fôret hverken i forsøk med fisk på 559 til 877 g heller fisk på 980 til 1493 g og foreslo dermed at fiskens behov ligger på det laveste nivå testet: 41 % for den minste fisken og 35 % for den største. Det er også klart at de varierende lipidnivåene og karbohydratnivåene ikke gjorde store utslag. Ser man imidlertid på tallene i forsøket med den største fisken har fôrsammensetning en signifikant effekt på sluttvekt med 94 % konfidensintervall, og det er fôret med 43 % protein som kommer best ut, ikke 35 %. Behov for lipid er også usikkert. De fleste rapporterer om toleranse for lipid opp til 25 %, men ingen positiv effekt over 14% (Hamre et al., 2005, 2003). Liten fisk ikke tåler mer enn 5 % karbohydrater i fôret (Hamre et al., 2003). (Aksnes et al., 1996), fant at den lave karbohydrattoleransen også gjaldt fisk på 500 g. Det er kun Hamre et al., 2005 som har sett på interaksjoner mellom de tre makronæringsstoffene, og da på fisk som vokste fra 0,5 til 6,2 g. Vi vet derfor lite om samspillet mellom protein, fett og karbohydrater i fôr til større fisk.

Det finnes ingen kunnskap om behov for vitaminer og mineraler hos større kveite. Juvenil fisk har et behov på 2,5 mg/Kg retinol (Moren et al., 2004). I en studie på fisk på 1 Kg viste (Ruff et al., 2004) avsetningen av vitamin E i filet var lineær i området 189 til 875 mg/Kg fôr. Dette er nok til liten hjelp ettersom 189 mg/Kg sannsynligvis er allerede over vitamin E behovet. Eneste data på vitamin B behov hos kveite er en studie på plommesekklarver, som estimerer forbruk av vitamin B6 fra plommesekk (Rønnestad et al., 1997). Konkusjonen er at behovet ser ut til å ligge nært opp til (Woodward, 1994) sin anbefaling på 15 nmol vitamin B6 per gram vektøkning. Det er ingen tvil om at det er store kunnskapshull på behov for vitaminer og mineraler hos større kveite.

Tabell 1: Oppsummering av studier på næringsbehov hos kveite. Kolonne «Protein», «Lipid» og «Karbohydrat» viser % av næringsstoffet i fôr i det aktuelle studiet. Kolonnen «fisk» angir størrelse på fisk i g., Anbefalingene er prosentandel anbefalt i fôr.

Protein		Lipid		Karbohydrat		Fisk		Anbefalinger			
Fra	Til	Fra	Til	Fra	Til	Fra	Til	Protein	Lipid	Karbohydrat	Studie
53	83	5	30	0	15	0,5	6,2	63	<25	<5	Hamre et al., 2003
62	86	5	30	12	12	0,4	6,7	58	<30	<5	Hamre et al., 2005
56	56	14	25	14	23,5	33	100		14 > <		Martins et al., 2006
41	56	25,9	27	5,7	19,6	58	126	56			Hatlen et al., 2005
51	60	20	27	7	10	140	266	51			Helland & Grisdale-Helland, 1998
38	58					34	324	58			Hjertnes et al., 1990
41	72	12,6	33	1,4	26,9	6	556	61,8		<3	Aksnes et al., 1996
40	53	23	25			559	877	41			Arnason et al., 2009
41	55	25,3	27	5,6	22,2	794	947	41			Hatlen et al., 2005
19	21	8	20	10	10	600	1500		ukjent		Berge & Storbakken, 1991
35	47	28	32	14	26,5	980	1493	35 (43)			Arnason et al., 2009

1.2 Fôr for kveiteproduksjon

For å oppnå best mulig vekst og helse i oppdrettsfasen er en korrekt fôrsammensetning essensiell. Som i all annen industriell fiskeoppdrett er fôr den største kostnaden i produksjonen, og et kostnadseffektivt fôr med opprettholdt og optimalisert vekstrate er derfor et viktig mål for industrien. I moderne oppdrett har appetittresponsen til atlantisk kveite på kommersielt fiskefôr vært bemerkelsesverdig lav sammenlignet med andre oppdrettsarter som atlantisk laks (Salmo salar) eller regnbueørret (Oncorhynchus mykiss). Dette fører til en betydelig mengde fôrspill. Fôrspill representerer en stor kostnad, både økonomisk og miljømessig, og reduksjon av dette vil ha en positiv innvirkning på den totale effektiviteten, lønnsomheten og den offentlige oppfatningen av kveiteindustrien.

1.2.1 Makronæringssammensetning

Det meste av arbeidet med formulering av kommersielt fiskefôr for norsk akvakultur har vært rettet mot behovene til de viktigste oppdrettsartene, atlantisk laks og regnbueørret. Imidlertid er det artsforskjeller når det gjelder ernæringssammensetningen av fôr i akvakultur (Teles et al., 2019). Å finne den optimale makronæringssammensetningen, med riktige forhold mellom protein, fett og karbohydrater, er derfor avgjørende. I tillegg til å stimulere appetitten er fordøyeligheten av fôret en av de viktigste aspektene ved fôrformulering. Siden vekst, fôrutnyttelse og fiskehelse er de viktigste suksessmålene, bør fordøyeligheten være høy, med minimalt næringstap gjennom avføring.

1.2.1.1 Protein

Kommersielt fiskefôr inneholder ofte høyere nivåer av protein sammenlignet med fôr til landdyr. En hovedårsak til dette er fiskenes lavere energibehov grunnet deres ektoterme natur, noe som gjør at energibehovet i fôret er betydelig lavere sammenlignet med varmblodige dyr. Med redusert behov for energirike fôrkomponenter som fett og karbohydrater øker den relative proteinandelen naturlig (Teles et al., 2019). På grunn av kostnaden for proteiningredienser fokuserer oppdrett på å finne en balanse mellom tilstrekkelig proteininntak for god vekst og økonomisk bærekraft. For kveite ser det ut til at den ideelle

proteinandelen i fôret varierer gjennom livsfasene og i forhold til fiskens størrelse (Árnason et al., 2009; Hatlen et al., 2005). Studier har gitt fragmenterte resultater og ikke-validerte antakelser om den optimale proteinandelen. Proteinfordøyeligheten for atlantisk kveite er vanligvis høy. (Berge and Storebakken, 1991) rapporterte en tilsynelatende proteinfordøyelighetskoeffisient (ADC) på 82–86 % for fiskemelbaserte dietter med varierende protein- og fettinnhold.

1.2.1.2 Fett

Tidligere studier viser at kveite tåler et bredt spekter av fettinnhold i dietten. Studier på mindre fisk og larvestadier har vist at en lipidandel på mellom 12 og 21 % (Berge og Storebakken, 1991) og 5 til 25 % (Hamre et al., 2003) ikke gir signifikante forskjeller i vekst. En lipidandel på 30 % førte imidlertid til betydelig vekstreduksjon (Hamre et al., 2003).

1.2.1.3 Karbohydrater

Kjøttetende fisk som atlantisk kveite har lav toleranse for karbohydrater i dietten, noe som betyr at karbohydratnivået i fôret bør være lavt. Studier har vist at for høye nivåer av karbohydrater kan ha negative effekter på vekst og fôrutnyttelse (Aksnes et al., 1996).

1.3 Appetittkontroll

Appetittkontroll hos fisk er en kompleks prosess som styres av flere fysiologiske systemer. Sult og metthetsregulering skjer primært i hjernen, spesielt i hypothalamus, som mottar en rekke signaler om fyllingsgrad av mage-tarm, og energistatus og næringsstoffer i blodet. Signalmekanismer inkluderer vagusnerven, hormoner fra mage-tarmkanalen og sentrale næringssensorsystemer (Rønnestad et al., 2017). Hormonene ghrelin, cholecystokinin (Cck) og peptide YY (Pyy) er viktige regulatorer av appetitt hos fisk, inkludert atlantisk kveite (Rønnestad et al., 2017; Gomes et al., 2015). Ghrelin stimulerer matinntak, mens Cck og Pyy har motsatt effekt. Studier har vist at kveitelarver har et aktivt appetittkontrollsystem, men mekanismene hos voksne kveiter er uklare (Lygre et al., 2025; Rønnestad et al., 2017).

1.4 Fôringsatferd

Kveite er en bunnlevende rovfisk som i naturen benytter en "sitt-og-vent" strategi for å jakte. I oppdrett endres dette miljøet drastisk med høy tetthet av fisk og kontinuerlig fôrtilgang, noe som påvirker fôringsatferden (Kristiansen et al., 2004). Sosiale interaksjoner og hierarki i oppdrettsanlegg kan også påvirke fôropptaket (Beitinger, 1990).

1.5 Veksteffektivitet

Effektiviteten av fôret måles ofte ved hjelp av fôrkonverteringsforhold (FCR) eller fôrkonverteringseffektivitet (FCSE). Lav appetitt hos kveite fører til økt fôrspill, noe som reduserer veksteffektiviteten og lønnsomheten i næringen. Derfor er det avgjørende å utvikle fôrtyper som stimulerer appetitten og optimaliserer fordøyeligheten for å forbedre fôrutnyttelsen.

2 Problemstilling og formål

I dag er kanskje den største flaksehalsen i lønnsomt oppdrett av kveite den langsomme veksten fra juvenil fisk til slaktevekt. En del av dette skyldes manglende kunnskap rundt kveitens behov for makro- og mikronæringsstoffer. I tillegg er det også fokus på bruk av såkalte alternative ingredienser i fiskefôr. Her valgte vi å fokusere på et fôr av høy ernæringsverdi, som var helt fritt for bruk av vill fisk.

Resultatene fra dette prosjektet kan benyttes direkte av fôrindustrien.

3 Prosjektets hovedfunn

- Kveite mellom 300 og 700 g bør ha fôr med 50 til 60 % protein, 16 til 20 % fett og mellom 5 % og 15 % stivelse.
- Kveite større enn 700 g trenger mellom 45 og 57 % protein, mellom 10 og 20 % fett og stivelse opp til 25 %.
- 25 % stivelse er oppsiktsvekkende høyt for en rovfisk som kveite. Vi hadde dessverre ikke mulighet til å analysere fordøyelighet av stivelse i dette forsøket, noe som bør evalueres i fremtiden. Ett år med høy stivelse i fôret gav ikke fisken redusert velferd som f. eks inflammasjon i tarm men fett og stivelse påvirket blodsukker. Om dette representerer en fare for fiskens helse ved vedvarende eksponering er usikkert, men vi anser fôringsforsøk over et år som solid.

Anbefalte nivå av vannløselige vitaminer sammenstilt med generelle anbefalinger fra NRC for fisk generelt sett, samt anbefalinger fra FAO for karnivor fisk i påvekst-fase.

Vitamin	Kveite	NRC (2011) Fisk Generelt	FAO Karnivor Fisk (Grower)
Tiamin (B1)	**12**	0.5-10	12-24 (12)
Riboflavin (B2)	**~12**	5-15	15-30 (15)
Pyridoksin (B6)	**6.2**	3-6	12-24 (12)
Pantotensyre (B5)	**20**	10-20	30-60 (30)
Biotin (B7)	**0.37**	0.05-1.0	0.2-0.3 (0.2)
Folsyre (B9)	**8.6**	1.6-10	3-6 (3)
Kobalamin (B1)	**0.24**	0.015-0.02	0.015-0.03 (0.015)
Vitamin C	**590**	25-50	200-400 (200)

Kveite trives veldig godt med animalske proteiner. Disse trenger ikke nødvendigvis komme fra fisk og absolutt ikke fra konvensjonelt fiskemel. Her er mulighetene for bruk av animalske sidestrømmer og insektmel store.

4 Prosjektets omfang

Prosjektet startet i november 2020 og avsluttes i juni 2025. Av to planlagte forsøk ble det første startet opp våren 2021. Sammensetningen av enkelte av de 12 fôrene var svært krevende, men takket være iherdig innsats var alle diettene klar til forsøksstart. Dessverre måtte dette forsøket termineres sommeren 2021 da det ble oppdaget sykdom på fisken. Vi klarte å få på plass en ny avtale om fisk med en av bedriftene som satt i referansegruppen og forsøket kunne starte opp på nytt oktober 2021. Med bakgrunn i dette fikk vi en utsettelse for rapportering fra oktober 2024 til juni 2025.

Prosjektet har hatt tre arbeidspakker:

AP1 Produksjon av fiskefôr til AP2 og 3

AP2 Behovsstudie makronæringsstoffer

AP3 Behovsstudie mikronæringsstoffer

I tillegg har vi gjennomført et lite forsøk der vi prøvde ut mer bærekraftige ingredienser.

Dette forsøket ble kjørt parallelt med AP2, der vi prøvde ut et bærekraftig fôr laget uten bruk av vill fisk.

5 Prosjektorganisering

Ansvarlig organisasjon er HI (tilsagnsmottaker), samarbeidende miljø er Nofima og Institutt for Biovitenskap ved UiB.

Dr. Øystein Sæle (HI) *Prosjektledelse, ansvar for AP 2 og 3. Ansvar for næringsstoffanalyser (utenom vit B og mineral), MRI, fordøyelighetsanalyser, plasmaanalyser.*
Har jobbet med ernæring og utvikling av marine arter siden 2000. Han har vært involvert i FHF prosjektet LeppeProd og senere ledet det FHF finansierte arbeidet med å sekvensere berggyltens genom (901135). Han har ledet NFR prosjektet 'Tarmfunksjon og helse i berggylt' (244170). I dag er han ansvarlig for HI sin aktivitet i FHF prosjektet «CleanFeed» (901331) Han har veiledet 8 master studenter og en PhD student som alle har jobbet med berggylt.

Prosjektgruppe:
Dr. Kristin Hamre (HI) *Diskusjonspartner ernæring.*
Har ernæring i forbindelse med reproduksjon, embryo- og larveutvikling hos marine arter som sitt viktigste forskningsområde, men arbeider også med ernæring hos laks og på flere livsstadier. Hun har vært sentral i det som er gjort av forskning på ernæring hos berggylt og rognkjeks. Hamre er også seniorforsker ved HI.

Prof. Ivar Rønnestad (UiB) *Ansvarlig for appetitt studiene, analyser av adferd og molekylære markører.*
Har arbeidet med ernæringsrelatert fysiologi på fisk siden 1988. Han har arbeidet med alle livsstadier, og studert både laksefisk og marine fisk inkludert kveite Han har ledet >30 prosjekter nasjonalt og internasjonalt, og var leder av CODE; en nasjonal kunnskapsplattform for tidlige stadier torsk. Han har veiledet 26 master, 21 PhD og 6 postdoc kandidater i Norge, Europa, USA og Asia. Han fikk Olav Thons nasjonale pris for fremragende undervisning i 2019. Hans ISI publikasjonsindeks er 210 og h-indeks 46.

Dr. Katerina Kousoulaki (Nofima) *Leder AP1 ansvarlig fôrproduksjon.*
har lang erfaring innen fôrteknologi, ernæring og produksjonsbiologi hos laks og marin fisk (torsk, sea bass, sea bream, common pandora, sharpsnout bream). Kousoulaki har vært med i utviklingen av et weaningfôr til berggyltyngel, bla. Gjennom NFR prosjektet «Optimized production,

nutrition and use of the cleaner fish ballan wrasse», FHF-prosjektet Leppeprod, og en gjennom en rekke weaningforsøk med berggylt i samarbeid med Marine Harvest Labrus.

Referansegruppe:

- Børre Erstad i leder Forskning & utvikling, Senior Biolog hos Sterling White Halibut AS.
- Ann Kristin Fladset COO Nordic Halibut AS
- Endre Fantoft Lygre Sogn Aqva AS nå Tubilah AS
- Jan Ove Morlandstø Daglig Leder, Tubilah AS

6 Prosjektets resultatmål

Hovedmål:

Fremskaffe kunnskap om ernæringskrav til kveite.

Delmål

- Finne balanse mellom fôrets sammensetning av protein, lipid og karbohydrat som er optimal for god appetitt, fordøyelse og vekst.
- Finne behov for vannløselige vitaminer og mineraler hos kveite.

7 Prosjektgjennomføring og resultater

Studien presenteres i tre deler:

makronæringsstoffsammensetning

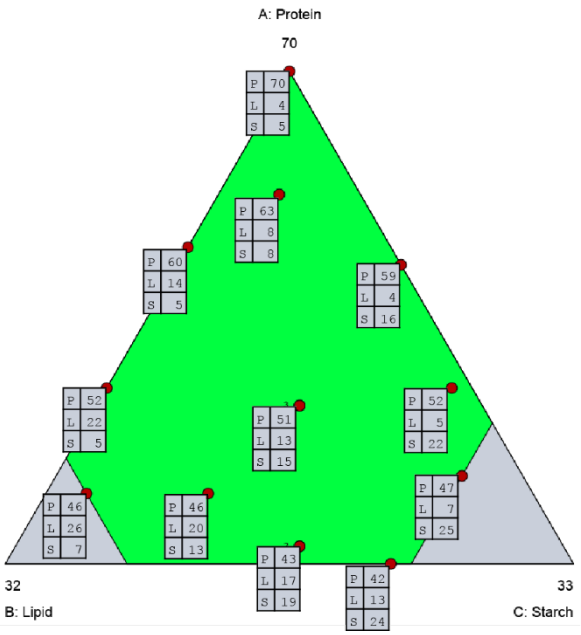
vitamin- og mineral-nivå i fôr

alternative råvarer

7.1 Makronæringsstoffsammensetning

7.1.1 Beskrivelse av metodikk

Det ble produsert 12 fôr som varierte i sammensetning av makronæringsstoffene, protein, lipid og stivelse. Fôrene var balansert, til den graden det var mulig og ble til, for essensielle aminosyrer, makromineraler og fosfolipider. Det ble brukt kun marine kilder for fett og et minimum nivå fiskemel på ca. 40%. Ellers ble protein, fett og karbohydratnivå i fôrene balansert mot målverdiene ved å variere henholdsvis innblandingsnivåene for fiskemel/hvetegluten, fiskeolje, og hvete/tapioka stivelse (Tabell 2). Mengden av makronæringsstoffene utgjorde 79 % av pelleten. Forsøksdesignen er dermed en tre-komponent blandingsdesign (three-component mixture design, Cornell, 1990) og kan best illustreres som en trekant (Figur 1).

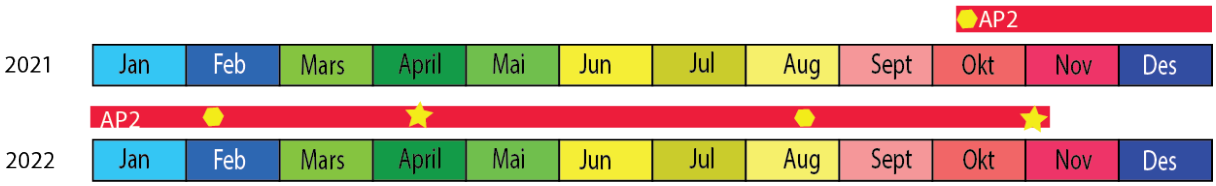


Figur 1-1: Prosentandelen analysert protein (P), lipid (L) og stivelse (S) i de 12 forsøksfôrene, plassert relativt til hverandre basert på sammensetningen

Tabell 1-1: Formuleringer og analyseverdier for protein, fett og sukker til de eksperimentelle diettene for makronæringsstoff-forsøket.

Diett	9	1	3	8	6	2	12	7	4	11	5	10
Protein	70	60	63	59	52	51	52	46	46	47	43	42
Lipid	4	14	8	4	22	13	5	26	20	7	17	13
Stivelse	5	5	8	16	5	15	22	7	13	25	19	24
Fiskemel	71,6	59,1	63,3	60,9	52,9	50,5	55,5	45,7	46,0	48,7	40,2	41,7
Hvetegluten	18,2	15,0	16,1	15,5	13,4	12,8	14,1	11,6	11,7	12,4	10,2	10,6
Hvete	2,8	9,5	9,3	3,8	9,3	14,1	1,4	13,2	15,1	4,4	15,6	9,0
Tapioca stivelse	4,0		3,3	16,3		8,4	24,9		5,4	26,5	12,1	23,4
Fiskeolje		8,0	3,0	0,2	12,8	7,2	0,5	15,6	11,5	3,1	11,7	7,5
Marin lecithin		4,60	1,80	0,20	6,90	3,95	0,35	9,30	6,50	1,75	6,60	4,20
NaH_2PO_4	1,30	1,40	1,20	1,30	1,91	1,28	1,45	1,70	1,50	1,50	1,40	1,50
$CaCO_3$		0,45			0,90			1,00	0,50		0,50	0,40
Stay-C	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Vitamin mix	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Mineral mix	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Lys	0,60	0,50	0,55	0,50	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,40	0,35	0,35
Thr	0,25	0,25	0,25	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,16	0,18	0,17
Met	0,05	0,05	0,05		0,05			0,05	0,05			
His	0,15	0,10	0,15	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Yttrium oxide	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
sum	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**

Ett av fôrene (diett 2) ble gitt 3 kar og ett fôr til to kar, dette for å ha kontroll på effekten av kar på variasjon av måleparameterne. For de øvrige fôrene, var det et fôr per kar. Siden forsøket gikk fra 20. oktober 2021 til 9. november 2022. I tillegg til ved oppstart og avslutning ble all fisk målt, veid og visuelt evaluert for velferdskriterier den 2. februar, 22. april 2022 og 30. august 2022.



Figur 1-2 Forsøksvarighet (rød bånd) og uttakstidspunkt (stjerner)

Kveiten benyttet i studien ble donert av Sterling White Halibut AS og Nordic Halibut AS og transportert til IMR Austevoll forskningsstasjon på bil. Fisken som hadde en gjennomsnitts vekt på ca 300 g, ble fordelt på 15 tanker (2,5 m) á 120 individ. Hver tank var utstyrt med belte-fôringsautomat. Vannstrømmen ble opprettholdt på 4000 liter i timen gjennom prosjektets varighet. Tankene fikk tilført råvann med en konstant temperatur på 8 °C. Lysregimet over tankene ble synkronisert med den naturlige lys-syklusen ved hjelp av en Astor-klokke. Fôringen var mellom 08:00 og 18:00 daglig, og ga like mengder fôr til alle fiskene i tankene. Tankene ble renset daglig og sifonert etter behov for å opprettholde optimale forhold. Prøvetaking av fisken ble utført i forbindelse med vask av tankene.

Kroppsvekt, lengde og velferd

Under hver prøvetaking ble vekt og lengde registrert for hver fisk. Alle fiskene ble overført fra en ren sjøvannskilde til en anestetiseringsløsning som inneholdt 20 g/L av FINQUEL. Varigheten av anestesien varierte, men var typisk 3-5 minutter inntil fisken viste tilstrekkelig rolig oppførsel for videre håndtering. Fisken fikk PIT-merket lest og ble identifisert. I tillegg ble kroppsvekt (g) og kroppslengde (cm) for hver fisk kvantifisert. En ekstern helseundersøkelse ble også utført, som inkluderte undersøkelse av ventrale og dorsale sår, underernæring samt skader på finner. Hver tilstand fikk tildelt en helsetilstandsindeks i intervallet 0 - 3, der 0 representerte minimal påvirkning og 3 indikerte alvorlig påvirkning. Til slutt ble fisken returnert til oppdrettstanken der oksygennivåene ble opprettholdt mellom 80-100%. En Excel-arbeidsbok ble benyttet til å registrere all data, som deretter ble brukt til å beregne tilstandsindeks (Fultons indeks) og spesifikk vekstrate (SGR) for hver tank i måleperiodene.

Disseksjoner

Det ble tatt ut prøver av vev og tarminnhold ved prøvetakningene i april og november (stjerne Figur 1-2).

Åtte fisk fra hvert kar ble dissekert til analysene:

1 Blodprøver ble tatt fra den bakre dorsale aorta.
2 Innholdet i hver tarmseksjon ble fryst på N_2
3 Muskelvevprøver fra dorsalsiden bak gjellelokket ble fryst på N_2.
4 Lever ble veid individuelt før de ble fryst på N_2 i en samleprøve per kar.
5 Hjernene ble preservert på RNAlater

Analyser og statistikk

Vanninnhold, protein, fett og aske, fettsyresammensetning av totale fettsyrer med GC, yttrium ble målt ved hjelp av rutinemetoder på Havforskningsinstituttet. Karbohydrat ble estimert ved subtraksjon.

Yttrium

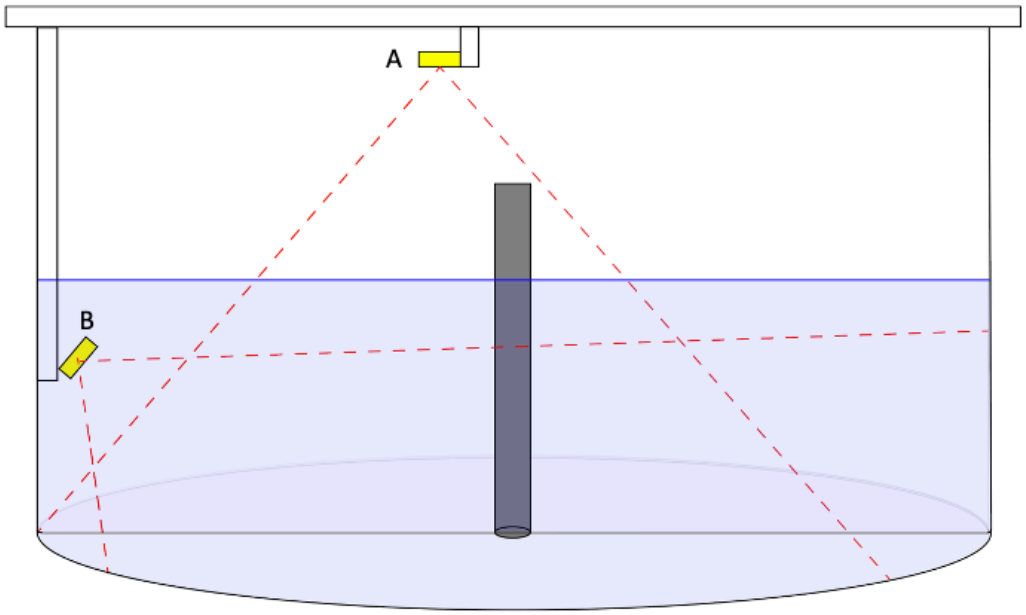
Metoden har blitt akkreditert av Havforskningsinstituttet med referanse-ID: MET.UORG.01-06, metode 197.

Data fra velferdsskåring ble analysert ved å beregne gjennomsnittlig poengsum for hver egenskap for alle fisk i hvert kar, og deretter summere gjennomsnittsverdiene til en sumindeks pr kar. Sumindeks ble deretter analysert statistisk på samme måte som andre registreringer per kar.

Modeller som beskriver respons på trekantdesignet, ble beregnet ved hjelp av programmet Design Expert version 8.04. Modeller ble tilpasset hvert datasett og den modellen som ga best og signifikant samsvar mellom data og funksjon ble valgt.

For registering av fôropptak monterte vi en kamerarigg

En rigg med to GoPro-kameraer ga oversikt fra henholdsvis toppen av karet (Hero 10) og skrått mot bunnen (Hero 8). Riggen var plassert litt til venstre for den automatiske fôringsautomaten for å dekke området der flest pellets landet.



Figur 1-3: Visualisering av kamerakonfigurasjonen som ble brukt til videoopptaket; en rød stiplet linje indikerer synsfeltet til de to kameraene.

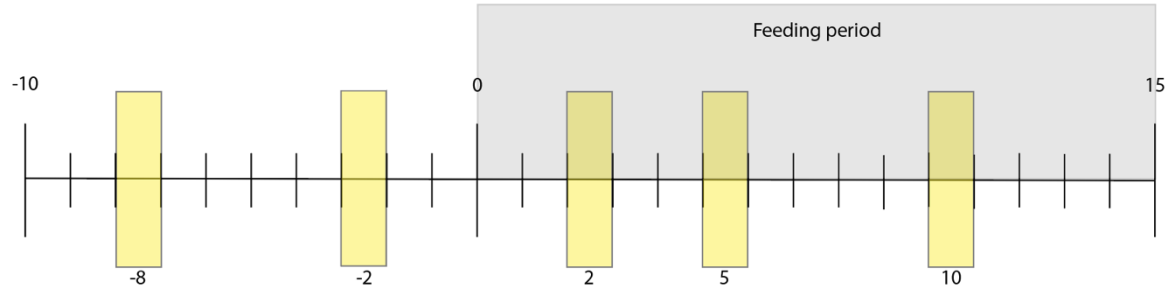
Redigering og analyse

Opptakene ble redigert i ShotCut (v 22.03.30); de to kameravinklene ble synkronisert og kombinert til én videofil (mp4). Karet ble delt inn i fire kvadranter for å forenkle kvantifisering av aktivitet. Selve fôropptaket ble analysert i QuickTime (v 10.5): hvert pelletinntak ble fulgt, tiden registrert med

nærmeste 10 sekunder, og fiskens bevegelse kategorisert som (IB1) minimal forflytning, (IB2) <1 kroppslengde eller (IB3) >1 kroppslengde.

Aktivitetsrespons

For å beskrive atferdsendringer rundt morgenfôringen ble bevegelser >1 kroppslengde kvantifisert i fem éttminuttsintervaller: 8–7 min og 2–1 min før fôring, samt 0–1 min, 5–6 min og 10–11 min etter oppstart (figur 1-3).



Figur 1-4: Tidslinje for videoen som viser tidsintervallene der aktivitetsanalysen foregår. Tidsenheten er minutter før/etter fôringsstart.

Appetittscore

Fra uke 22 (februar 2022) vurderte den faste teknikeren daglig appetitten i hvert kar under håndfôring til metning. Skalaen gikk fra 0 (ingen appetitt) til 5 (ekstrem, glupsk respons). Poengene ble registrert daglig og sammenslått til et datasett som beskriver appetittutviklingen gjennom hele forsøket.

Hjerne-RNA-prøver fra de 15 karene ble ekstrahert, sekvensert og behandlet for en sammenlignende analyse. Etter kvalitetskontroll, adaptertrimming og filtrering, ble omtrent 19 millioner avlesninger per prøve (ca. 74 % av den opprinnelige prøvestørrelsen) kartlagt mot et referansetranskriptom for kvantifisering på gennivå. Deretter ble alle fôrgruppene sammenlignet gjennom en differensiell genuttrykksanalyse, noe som identifiserte 4 886 differensielt uttrykte gener. Disse ble så undersøkt mot en liste over kjente anoreksigene eller oreksigene regulatorer, og 38 gener av spesiell interesse ble funnet. Til slutt ble disse utvalgte genene normalisert, og uttrykksnivåene deres omgjort til z-scores for videre analyser.

7.1.2 Resultater

Vekst:

Fôringsforsøket ble startet med fisk på 316,4 ± 6,9 g og en lengde på 31,0 ± 0,2 cm. Det var forholdsvis stor variasjon i vekst gjennom forsøket, og ingen fôrgrupper hadde større lengde enn de andre. Det var en trend mot slutten, i august og november at fisken gitt ca 52 % protein, 22 % lipid og 15 % eller mindre stivelse var lengst (Fig. 1-5, p=mellom 0,11og 0,13). Ved forsøksslutt i november viste modellen også en tendens mot lengre fisk i gruppene som fikk 24 % eller mer stivelse (Fig. 1-5, p=0,13).

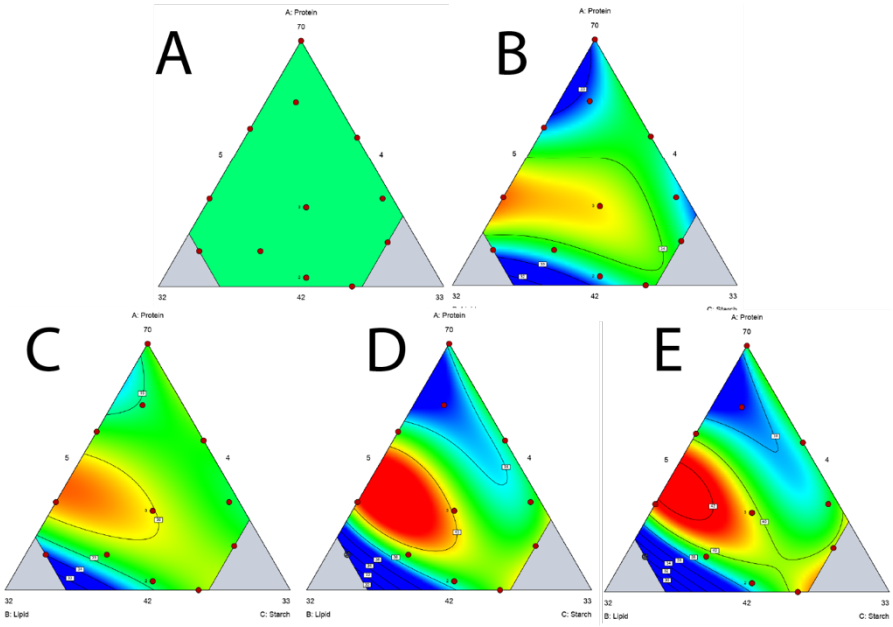


Fig. 1-5: Gjennomsnittlig standardlengde for kveiten per kar. A: oktober p=0,27, B: februar p=0,34, C: april p=0,33. D: august p=0,11 og E: p=0,13.

Modellering av vekten mellom fisken gitt de ulike fôrene var forholdsvis lik modellene for lengde. I august viste fôrgruppene på 52-51 % protein, 13-22 % lipid og 5-15 % stivelse en tendens til høyest vekst (Fig. 1-6, p=0,072). I november var trenden at de samme gruppene var størst, men også at fôrgruppen gitt 42%protein, 13% lipid og 24 % stivelse var like stor (Fig. 1-6, p=0,12). Kondisjonsfaktoren mellom fôrgruppene viste få forskjeller gjennom forsøket. I august var eneste tidspunkt hvor man ser en klar effekt av høyt lipid i fôret der fisken gitt ca 20 % lipid hadde høyest kondisjon.

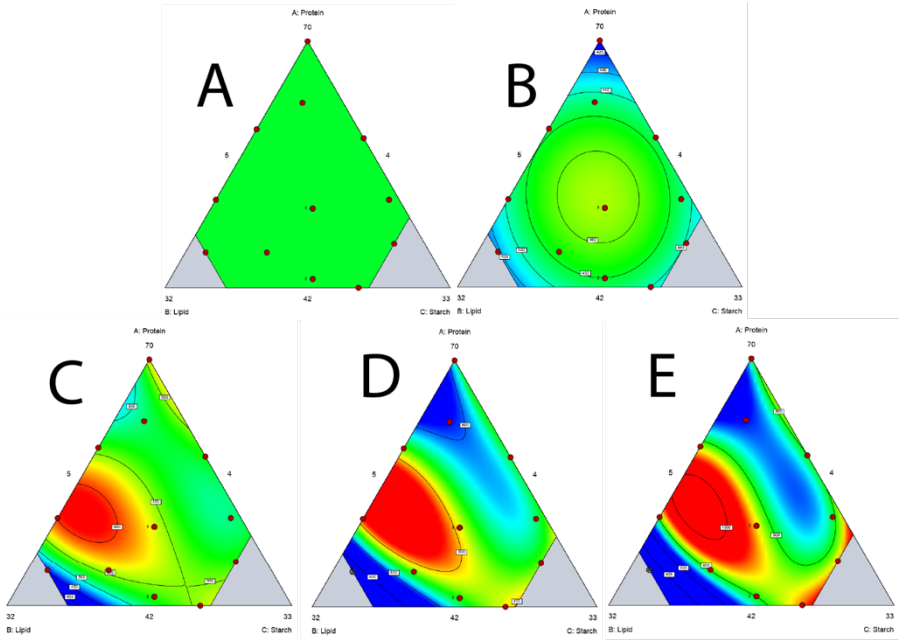


Fig. 1-6: Vekt for kveiten per kar i A: oktober p=0,41, B: februar p=0,22, C: april p=0,22. D: august p=0,072 og E: p=0,12.

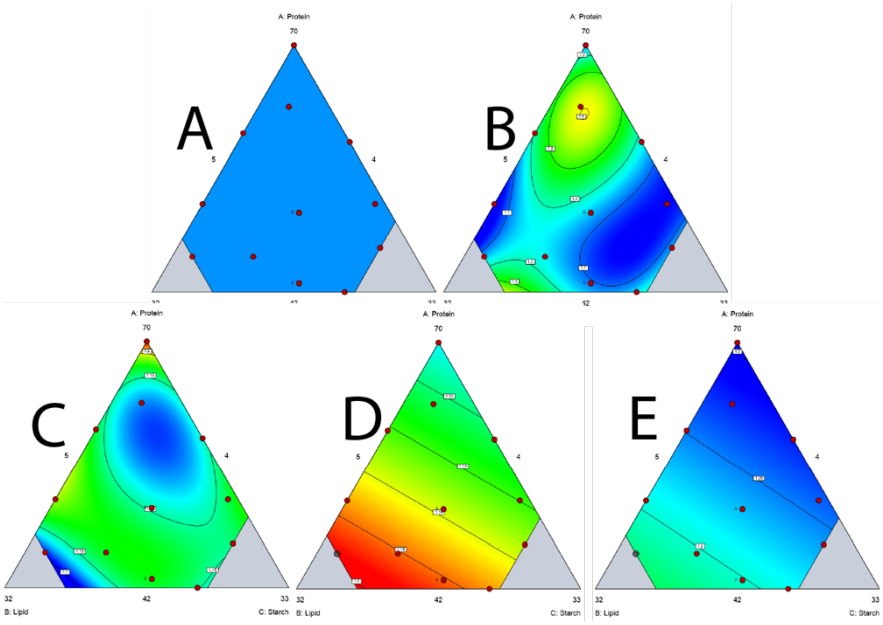


Fig. 1-7: Kondisjonsfaktor for kveiten per kar i A: oktober p=0,91, B: februar p=0,38, C: april p=0,16. D: august p=0,02 og E: p=0,25.

Den spesifikke vekstraten varierte mellom fôrgruppene gjennom forsøksperioden. Mellom oktober og februar viste fisken som fikk 50 % protein, 14 – 20 % lipid og 5 – 15 % stivelse hurtigst vekst, men også gruppen som fikk 59 % protein, 4 % lipid og 16 % stivelse vokste godt (Fig. 1-8, p=0.023). Fra februar til april var det derimot ingen forskjell mellom fôrgruppene (Fig. 1-8, p=0.860). Fra april til

august var det igjen fôrgruppene som fikk mellom 50 og 60 % protein og mellom 14 og 20 % lipid som vokste raskest. Men i denne perioden observerte vi også god vekst hos fôrgruppene som fikk mellom 40 og 50 % protein og over 20 % stivelse (Fig. 1-8, p=0.0003). I denne perioden ble det også tydelig at fôrgruppen som fikk 26 % lipid vokste svært dårlig og fisken var avmagret. Denne gruppen ble derfor avlivet på grunn av redusert velferd. Fra august til november var SGR lineær, der lipid nivå over 13 % har en negativ effekt på veksthastigheten (Fig. 1-8, p=0.006). Fôrgruppene som fikk stivelse nivå på 22 til 25 % vokste raskest.

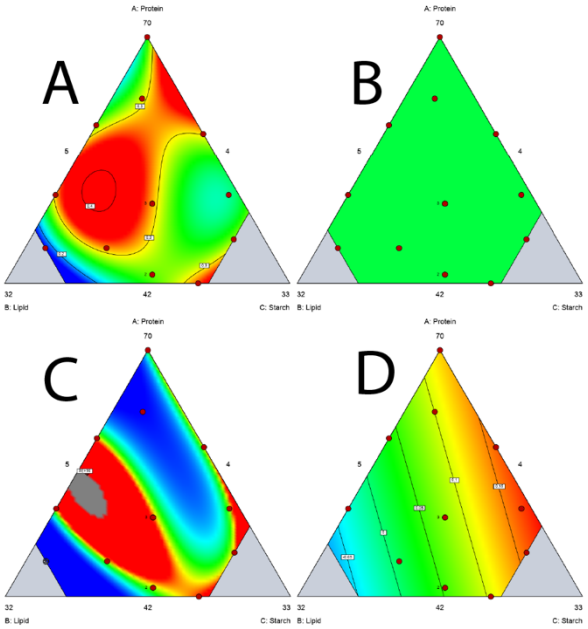


Fig. 1-8: Spesifikk vekstrate (SGR) for kveiten per kar i A: mellom oktober og februar p=0,023, C: mellom februar og april p=0,86. D: mellom april og august p=0,0003 og E: mellom august og november p=0,006.

Velferd:

I april var det tydelig at gruppen fik som fikk fôr med 26 % lipid var avmagret og mistrivdes. Denne gruppen ble derfor avlivet pga redusert dyrevelferd. Ved avslutningen av forsøket i november ble all fisken evaluert for ytre skader. Hver fisk ble gitt en poengsum mellom 0 og 3, der 0 er helt lytefri fisk og 3 er gitt fisk med alvorlige skader. Der var ingen sammenheng mellom ytre skader og fôrsammensetning. Sår på øyesiden av fisken hadde en gjennomsnittlig poengsum på 1,27 ± 0,16 (p=0,283), sår på blindsiden 1,26 ± 0,09 (p=0,859) og skader på finnene 1,07 ± 0,05 (p=0,486).

Da det var usikkerhet rundt tarmens evne til å håndtere høye nivåer av stivelse eller lipid undersøkte vi baktarmen for inflammasjon. Histologisk kunne ikke inflammasjon i baktarm påvises hos noen av behandlingsgruppene. Lengden av tarmfolder ble også sammenlignet mellom gruppene, da irritasjon i baktarm fører til forkortning av disse, men her var det heller ingen effekt av fôr (p=0,2732). Det ble

også analysert en rekke gener som er assosiert med inflammasjon. Her viste interleukinene 1b, 6 og 12b et høyere uttrykk i fôrgruppen som fikk mest stivelse. Il1b er produsert av aktiverte makrofager, Il6 har en rolle i inflammasjon (betennelse) og modning av b-celler (Fig. 1-9). Il12b aktiverer t-celler og naturlige drapsceller (Øvergård et al., 2012).

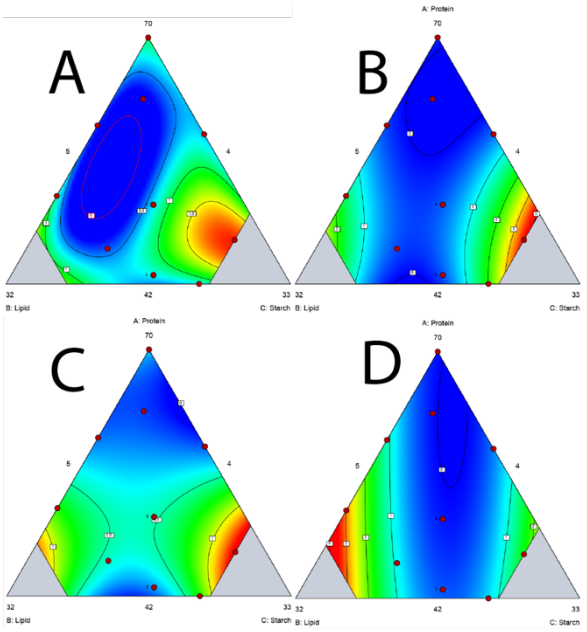


Fig. 1-9: Gjennomsnitt av genuttrykk assosiert med inflammasjon. A: interleukin1b (p=0,0095), B: interleukin 6 (p=0,0008), C: interleukin 12b (p=0,0676), D: mucin 2 (0,0107).

Fordøyelighet og kjemisk sammensetning:

I april og november hentet vi ut avføring fra baktarm for analyse av fordøyelighet av næringsstoffene, uttrykt som «tilsynelatende fordøyelighetskoeffisient» (ADC). Dessverre fikk vi bare materiale nok til analyse av protein og fettsyre fordøyelighet. Derimot var denne like god hos alle gruppene, der ADC for protein var 99,01 ± 0,06 i april og 99,82 ± 0,06 i november, mens ADC for fettsyrer var henholdsvis 98,07 ± 0,75 og 99,85 ± 0,15 i april og november. Det er derfor rimelig å konkludere at forskjeller i veksthastighet og kroppssammensetning skyldes sammensetningen av makronæringsstoffene i fôrene og ikke tilgjengeligheten av disse i fôrene.

Den kjemiske sammensetningen av hel fisk var den samme i alle fôrgruppene. Hel kveite i november besto av 77 ± 6 % vann (p=0,193), 15,91 ± 0,42 protein (p=0,163), 6 ± 2 % fett (p=0,246) og 2,1 ± 0,4 aske (p=0,961).

Blodsukker hos fisk fra fôrgruppene i april viste en lineær sammenheng der stivelse og lipid påvirket glukosenivået like mye (Fig. 1-10, p=0,0056). Dessverre gikk plasmaprøvene fra november tapt p.g.a.

ødelagt fryseboks. Utenom blodsukker, analyserte vi også kjemisk sammensetning av lever og muskel i april og november. I april fant vi at sammensetningen av lever var modellert av fôrsammensetningen, bortsett fra lipidinnhold (Fig. 1-11, p=0,165). Mengden vann, protein og mineraler var påvirket av fettinnhold i fôrene, der fôrgruppene med under 10 % lipid hadde de høyeste verdiene (Fig. 1-11).

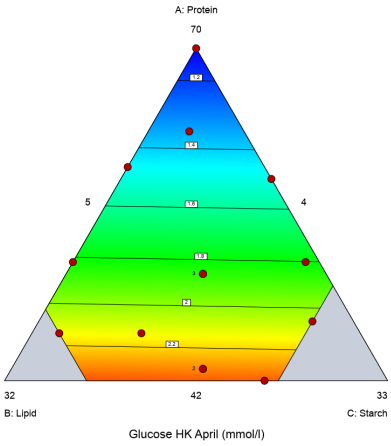


Fig. 1-10: Blodsukker i april, p=0,0056.

I november fant vi at det kun var lipid og glukose i lever som var modellert av fôrsammensetningen (Fig. 1-11). Mengden lipid hadde trend med en linjer sammenheng med lipid i fôrene (Fig. 1-11, p=0,061). Den samme sammenhengen fantes mellom stivelse i fôrene og glykogen i lever (Fig. 1-11, p=0,03).

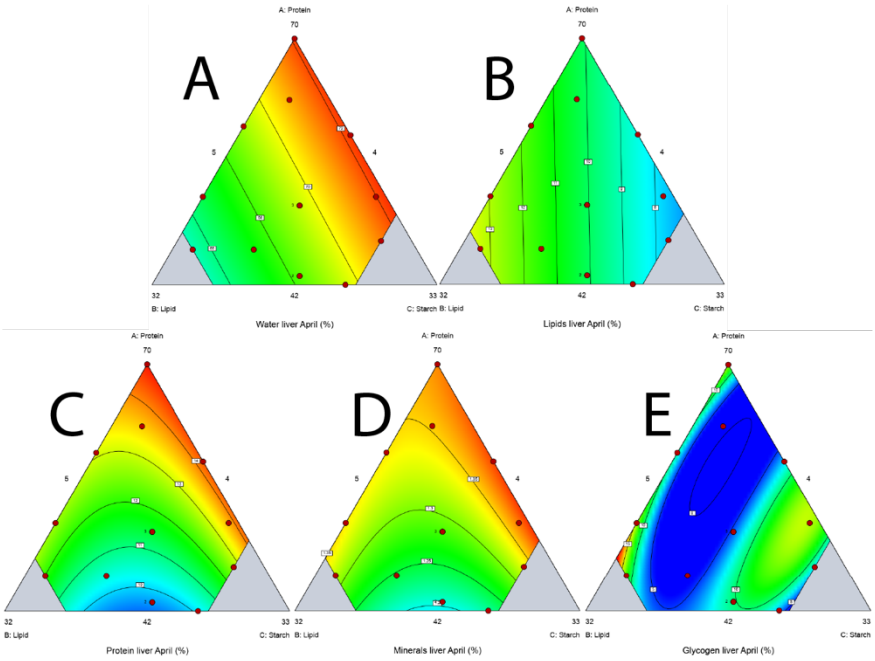


Fig. 1-11: Kjemisk sammensetning av lever i april. A: vann (p=0,037), B: lipid (p=0,165), C: protein (p=0,0007), D: mineraler (p=0,022) og E: glykogen (p=0,001).

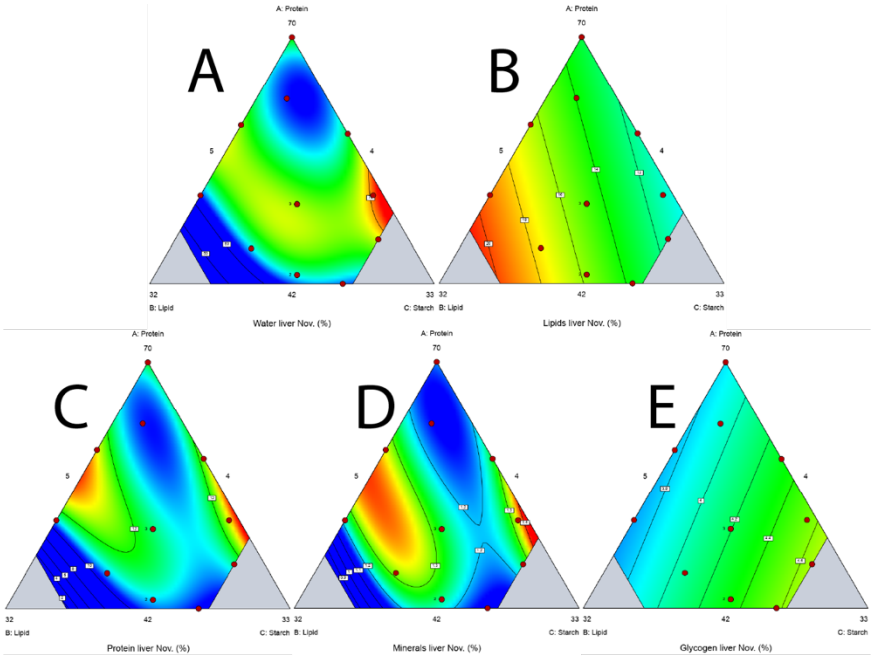


Fig. 1-12: Kjemisk sammensetning av lever i november. A: vann (p=0,253), B: lipid (p=0,061), C: protein (p=0,462), D: mineraler (p=0,328) og E: glykogen (p=0,030).

Appetitt og fôringsatferd

Fôringsatferd – videoanalyse

På fire tidspunkter i løpet av den 60 måneder lange forsøksperioden ble fôringsatferd og appetitt registrert ved videoanalyse. Opptakene ble alltid gjennomført uken før veie- og prøveuttak for å unngå påvirkning fra håndtering. Hver gang ble det gjort to 25-minutters opptak: de første ti minuttene dokumenterte baselinen, deretter ble fôringen manuelt igangsatt, og de påfølgende 15 minuttene dekket selve fôropptaket. Filmingen foregikk i tilfeldig rekkefølge over tre til fire dager, med inntil seks videoer per dag; avviket fra den ordinære fôringsplanen var da under 30 minutter.

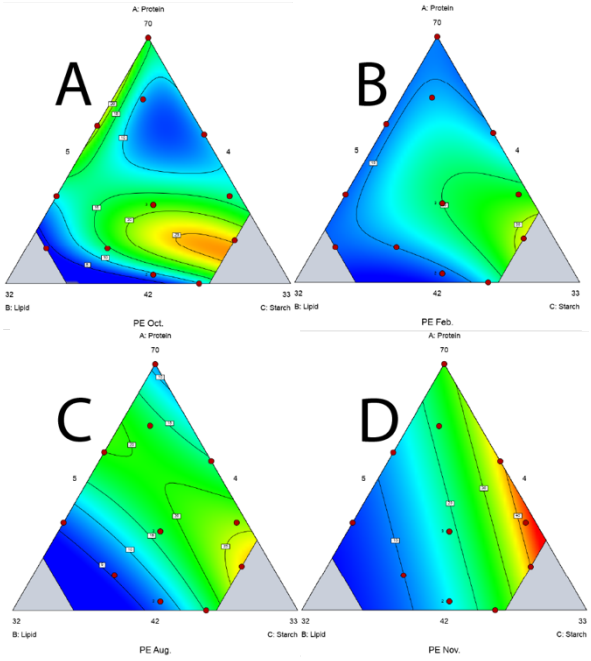


Fig. 1-13: Pellets spist A: oktober (p=0,3021), B: februar (p=0,1256), C: august (p=0,0441) og D: november (p=0,0069).

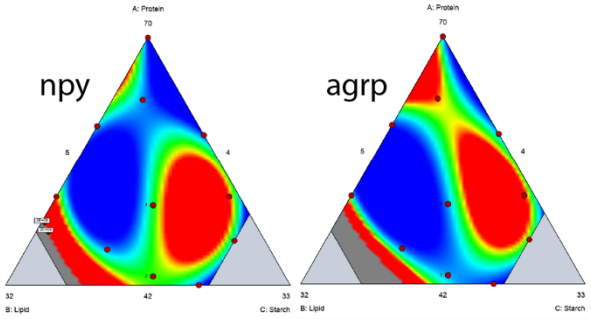
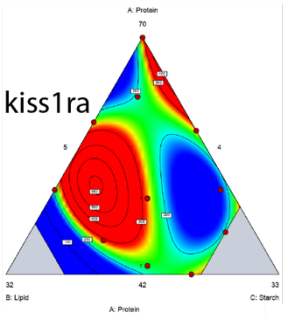
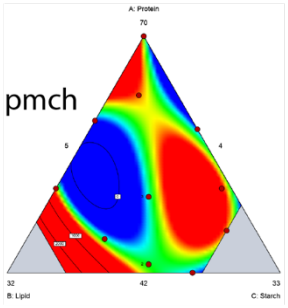
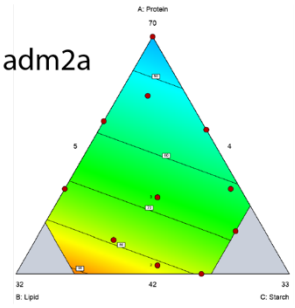


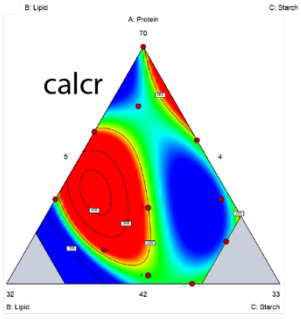
Fig. 1-14: Uttrykk av orexigene gener, npy (p=0,0635), agrp (p=0,0416).

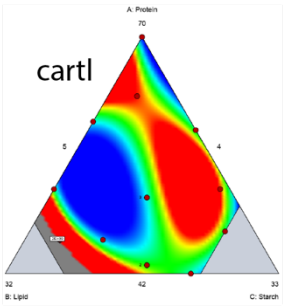
Både npy og agrp hadde et genuttrykk som korrelerte med veksten hos kveite. Npy og agrp antas å ha en oreksigen effekt hos fisk, som hos mennesker – det vil si at de stimulerer sult og dermed øker fôrinntaket. Hos kveite var uttrykket av disse genene høyest i gruppene som fikk fôr med høyest stivelsesinnhold, hvor også veksten var størst. Dette indikerer at disse genene kan være mulige biomarkører for god vekst hos kveite.

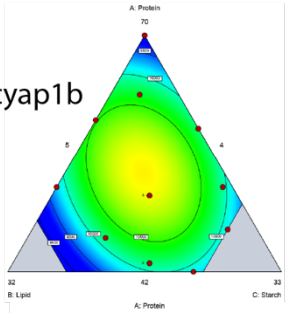

kiss1ra

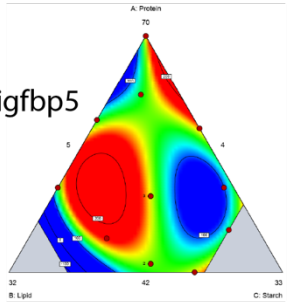

pmch

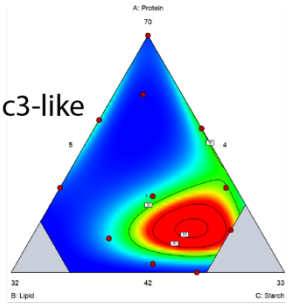

adm2a

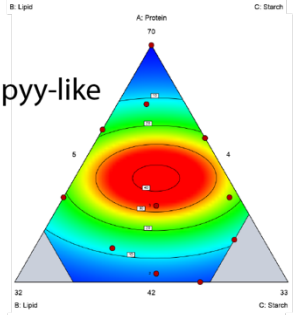

calcr

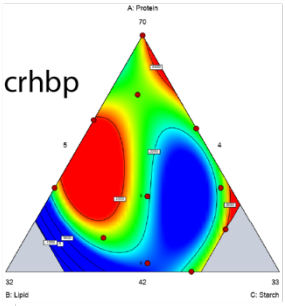

cartl

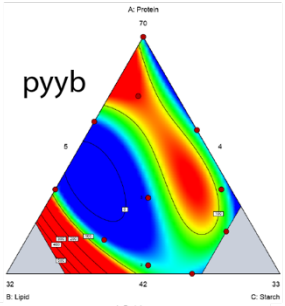

adcyap1b

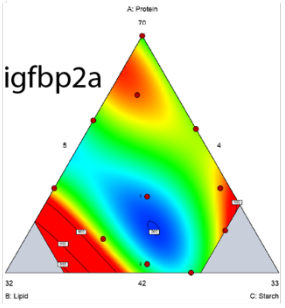

igfbp5

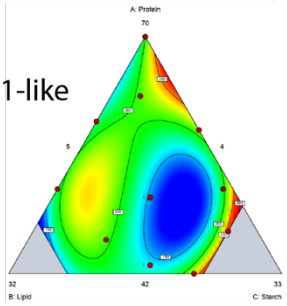

unc3-like

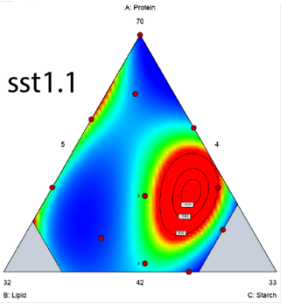

pyy-like

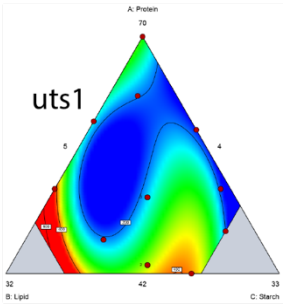

crhbp


pyyb


igfbp2a


ramp1-like


sst1.1


uts1

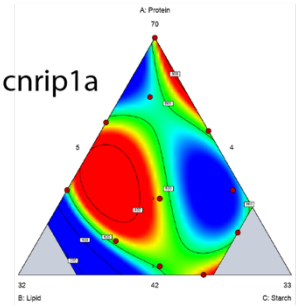

cnrip1a

Fig. 1-15: Uttrykk av gener i hjernen hos kveite ved avslutning av forsøket. kiss1ra (p=0,1109), pmch (p=0,1101), adm2a (p=0,1029), calcr (p=0,0852), cartl (p=0,0454), adcyap1b (p=0,0620), igfbp5 (p=0,0730), unc3-like (p=0,0089), pyy-like (p=0,0769), crhbp (p=0,0404), pyyb (p=0,0473), igfbp2a (p=0,0764), ramp1-like (p=0,0301), sst1,1 (p=0,1174), uts1 (p=0,0220) and cnrip1a (p=0,1150)

Uttrykket av de øvrige genene i hjernen ga ikke et entydig bilde. Alle genene i figur 1-15 er vist å være korrelert med appetitt, men kausaliteten og de underliggende mekanismene er ikke alltid godt forstått – heller ikke hos pattedyr, hvor appetittregulering er best beskrevet. Det er derfor ikke mulig å trekke sikre konklusjoner om hvordan disse genene bidrar til regulering av appetitt og fôrinntak hos kveite basert på de foreliggende resultatene.

7.1.3 Anbefalt behov for makronæringsstoffer:

- Kveite mellom 300 og 700 g bør ha fôr med 50 til 60 % protein, 16 til 20 % fett og mellom 5 % og 15 % stivelse.
- Kveite større enn 700 g trenger mellom 45 og 57 % protein, mellom 10 og 20 % fett og stivelse opp til 25 %.
- 25 % stivelse er oppsiktsvekkende høyt for en rovfisk som kveite. Vi hadde dessverre ikke mulighet til å analysere fordøyelighet av stivelse i dette forsøket, noe som bør evalueres i fremtiden. Ett år med høy stivelse i fôret gav ikke fisken redusert velferd som f. eks inflammasjon i tarm men fett og stivelse påvirket blodsukker. Om dette representerer en fare for fiskens helse ved vedvarende eksponering er usikkert, men vi anser fôringsforsøk over et år som solid.

7.2 Mikronæringsstoffer

7.2.1 Beskrivelse av metodikk

For å kunne få et innblikk i behov av mikronæringsstoffer adopterte vi regresjonsdesignet brukt på en rekke arter som laks (Hemre et al., 2016), rognkjeks og berggylt (Sæle et al., in prep, CleanFeed, FHF #901331). Forsøket ble utført med syv fôr med økende mengde av en næringsstoffpakke.

Vannløselige vitaminer vil øke i fiskens vev med økende mengder i fôret. Når fôrene øker i vitamin utover behov, vil ikke fisken akkumulere ytterligere mengder. Dette brekkpunktet i sammenheng mellom vitamin i fôr og vev vil derfor kunne brukes til å angi behov. Evaluering av mineraler baseres på analyser av hel homogenisert fisk.

Tabell 2-1: Ingredienssammensetning i fôrene brukt i mikronæringsstofforsøket

Fôrsammensetning	**%**
Protein	**41,6**
Lipid	**14,5**
Carbohydrate	**27,3**
Ash	**6,9**
Water	**9,7**
Krill hydrolysat	5
FM	18,1
Hvetegluten	11
SPC	18
Hestebønner	17
Hvete	17
Fish oil	5
Rapeseedoil	3
Raps lecithin	3
Cholesterol	0,2
Choline chloride	0,02
MgHPO4+3H2O (+0,3125%) + K2CO3 (+0,1413%)	0,45
NaH2PO4	1,2
Yttrium oxide	0,01
Lys (99 %, 19.41 % Cl)	0,5
Methionine 99% T5/14	0,3
Threonine 98.5% 163/11/07	0,17
vitamin mix	0
Vitamin D3	0,025
Vitamin E	0,03
sum	100

Fettløselighet vitaminer vil i hovedsak akkumuleres lineært i vev når fôrnivå overgår behov. For å evaluere behov for fettløselighet vitaminer må en derfor kunne lage fôr som har vitaminnivå godt

under fiskens behov. Det er derfor en forutsetning at nivå av fettløselige vitaminer i fôringredienser er svært lave. Dette lot seg dessverre ikke gjøre da vi var avhengig av en viss andel marine ingredienser for at kveiten skal spise fôret.

Tabell 2-2: Analyserte nivå av vitaminer og mineraler i fôr 1 til 7. Kolonne til høyre angir anbefalingsspenn i NRC (2011)

mg/kg or IU	Fôr 1	Fôr 2	Fôr 3	Fôr 4	Fôr 5	Fôr 6	Fôr 7	NRC 2011
VitB1 thiamin	2,4	5,3	8,3	11,2	14,1	17,1	20	1.0-10.0
VitB2 riboflavin	3,1	7,5	12	16,5	21	25,5	30	5.0-15.0
VitB6 Pyridoxin	2,2	4,3	6,5	8,6	10,7	12,9	15	5
VitB12 cobalamin	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0.015-0.02
Folinsyre	1	4,2	7,3	10,5	13,7	16,8	20	1, 6-10
Ca-D- pantotensyre	6,2	11,9	17,5	23,1	28,7	34,4	40	10.0-20.0
Biotin B7 /Vit H	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0.05 -0.25
VitC	3	169	335	502	668	834	1000	
Cu	6,5	13,8	21	28,3	35,5	42,8	50	5.0-10.0
Fe	159	232	306	379	453	526	600	30.0-200.0
Zn	45	105	164	223	282	341	400	20.0-40.0
Mn	26	33	39	46	52	59	100	12.0-13.0
Se	0,88	1,07	1,25	1,44	1,63	1,81	2	0.15-0.38
I	0,27	0,89	1,51	2,13	2,76	3,38	4	0.6-1.1

Vitamin- og mineralblanding ble komponert basert på ”beste gjetning” og generelle råd fra (NRC, 2011). Vitamin og mineralnivå i fôrene er gitt i Tabell 2-2. Alle fôr ble gitt til fisk i to parallelle kar,

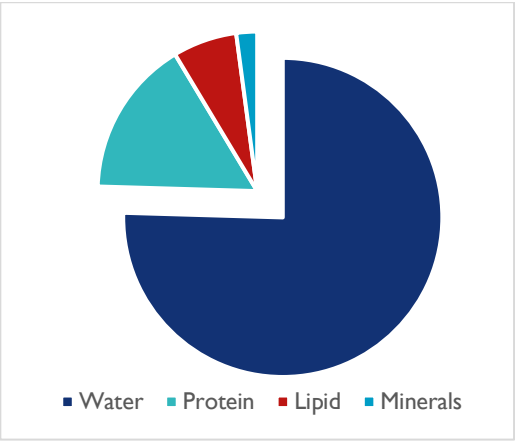
bortsett fra fôr 4, som ble gitt til fisk i tre kar. Fisken ble donert av Stirling White Halibut AS, og forsøket ble kjørt i samme kar og under samme forhold som det tidligere beskrevne forsøket der behovet for makronæringsstoffer ble beskrevet.

7.2.2 Resultater

Over fôringsperioden ble det observert en vekst hos fisken fra omtrent 375 gram til 618 gram. Ingen signifikante forskjeller i vekst, kondisjonsfaktor eller lengde ble funnet mellom fiskegruppene som mottok ulike dietter, noe som tilskrives en betydelig variasjon mellom tankene (Tabell 2.-3). Tilsvarende ble det ikke observert forskjeller i råsammensetningen hos kveite fôret med de ulike diettene (Figur 2-1). Gjennomsnittlig proteininnhold var 15,9 ± 0,4 g/100g, tørrstoff 24,6 ± 0,8 g/100g, lipid 6,5 ± 0,5 g/100g og totalmineraler 2,1 ± 0,3 g/100g.

Tabell 2-3: Oversikt over vekst under forsøket. Ved oppstart i juni, ca midtveis i oktober og ved avslutning i desember.

Diet	Weight (g ± SD)			Length (cm ± SD)			Condition factor		
	June	Oct	Dec	June	Oct	Dec	June	Oct	Dec
1	376.8 ± 91.4	550.6 ± 168.7	642.7 ± 223.4	31.5 ± 2.5	36.0 ± 3.4	37.6 ± 4.0	1.183 ± 0.088	1.145 ± 0.078	1.157 ± 0.085
2	367.2 ± 94.6	495.2 ± 162.7	610.1 ± 238.0	31.3 ± 2.6	34.7 ± 3.5*	36.4 ± 4.4	1.174 ± 0.095	1.147 ± 0.101	1.198 ± 0.090
3	375.6 ± 101.7	499.3 ± 167.4	603.8 ± 236.7	31.3 ± 2.7	34.8 ± 3.7	36.4 ± 4.4	1.191 ± 0.097	1.143 ± 0.095	1.183 ± 0.101
4	373.7 ± 91.6	493.2 ± 152.9*	591.4 ± 211.2	31.3 ± 2.5	34.7 ± 3.2*	36.5 ± 3.8	1.199 ± 0.084	1.143 ± 0.092	1.163 ± 0.095
5	381.8 ± 93.6	542.3 ± 156.3	653.7 ± 226.8	31.5 ± 2.4	35.7 ± 3.5	37.5 ± 4.0	1.194 ± 0.086	1.162 ± 0.079	1.193 ± 0.089
6	374.5 ± 104.5	530.7 ± 190.7	610.1 ± 256.3	31.5 ± 2.8	35.3 ± 3.8	36.7 ± 4.5	1.171 ± 0.088	1.155 ± 0.095	1.163 ± 0.107
7	374.0 ± 94.7	539.5 ± 184.5	643.8 ± 251.9	31.4 ± 2.5	35.5 ± 3.8	37.3 ± 4.6	1.183 ± 0.094	1.162 ± 0.098	1.178 ± 0.086

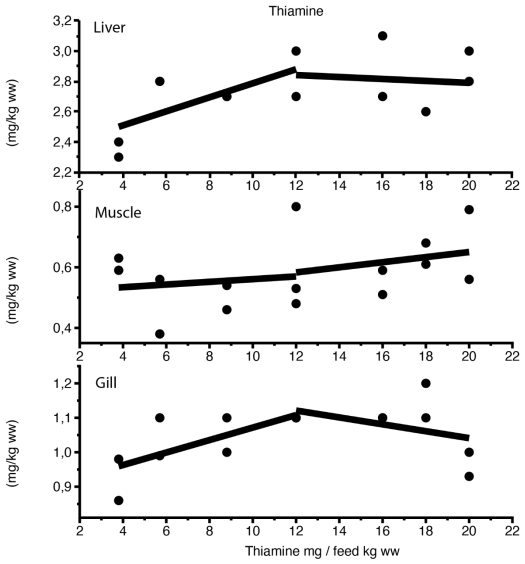


Figur 2-1: tørrstoff: 24.6 ± 0.8, protein: 15.9 ± 0.4, lipid: 6.5 ± 0.5, mineraler: 2.1 ± 0.3 Det var ingen forskjell mellom diettene.

Resultatene gir primært informasjon om metningspunkter, eller "line break"-verdier, for enkelte vannløselige vitaminer og mineraler i ulike vev hos kveite. De observerte "line break"-verdiene representerer sannsynligvis det diettnivået av et vitamin eller mineral hvor ytterligere økning i tilførsel ikke fører til en proporsjonal eller signifikant økning i konsentrasjonen av mineralet i det analyserte vevet, eller en relatert fysiologisk respons. Dette konseptet er sentralt i ernæringsforskning for å estimere minimumsbehov eller optimale nivåer.

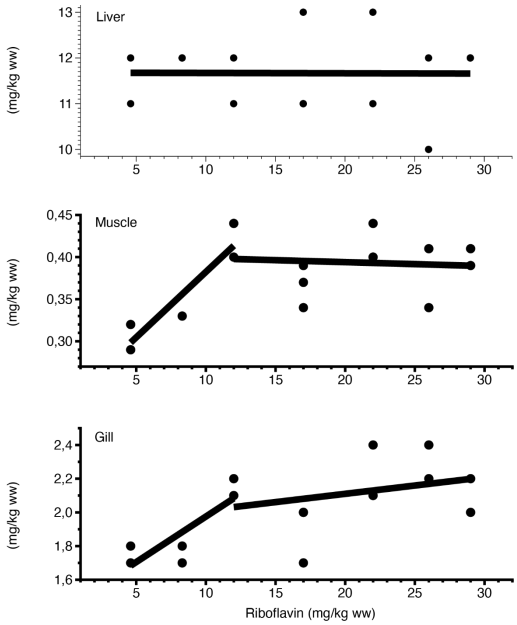
For tiamin (Vitamin B1) ble det identifisert et statistisk signifikant metningspunkt i lever (p=0,03) og gjeller (p=0,008) ved 12 mg/kg diett. Dette tyder på at en diettkonsentrasjon på 12 mg/kg er tilstrekkelig for å mette disse vevene med tiamin. Muskelvev viste imidlertid ingen signifikant metning (p=0,69) ved dette nivået, noe som kan indikere enten et høyere behov, lavere prioritet for lagring, eller raskere omsetning i muskulatur.

12 mg/kg er på linje med eller noe over de fleste anbefalinger for laks og ørret på 10-15 mg/kg og FAO-anbefalingen for karnivor fisk i vekstfasen på 12 mg/kg. Dette nivået er imidlertid betydelig høyere enn NRCs (2011) generelle anbefaling for fisk som er 0.5-1.0 mg/kg. Den manglende muskelmetningen hos kveite ved 12 mg/kg er interessant. Tiamin, som tiaminpyrofosfat (TPP), er en kritisk kofaktor i karbohydratmetabolismen og for nervefunksjonen. Muskelvev har høy metabolsk aktivitet, og en raskere omsetning av tiamin i muskel eller et genuint høyere lokalt behov kan forklare den manglende metningen. Gitt fiskemuskelens betydning som matkilde, er tiaminstatus i dette vevet av interesse.



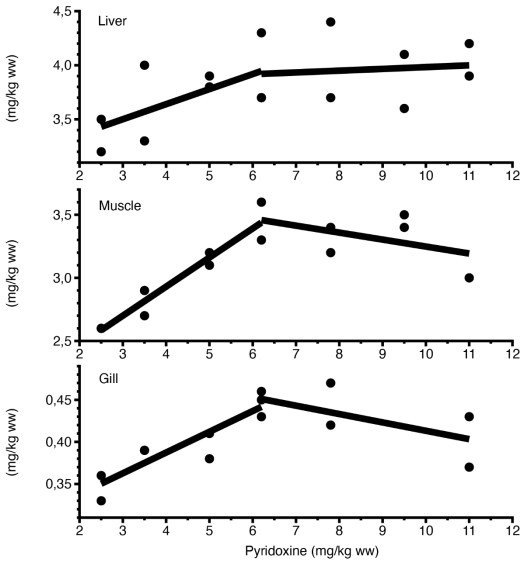
Figur 2-2: Metningspunkt for tiamin i lever-, muskel- og gjellevev hos kveite. Data indikerer et metningspunkt ved 12 mg/kg. Dette metningspunktet er statistisk signifikant i levervev (p=0,030) og gjellevev (p=0,008). Det ble ikke observert et signifikant metningspunkt i muskelvev (p=0,690).

For riboflavin (Vitamin B2) ble det ikke funnet et statistisk signifikant metningspunkt i noen av de undersøkte vevene, selv om data for muskel (p=0,147) og gjeller (p=0,136) indikerte et potensielt metningspunkt rundt 12 mg/kg. Mangelen på statistisk signifikans gjør det vanskelig å fastslå et sikkert behovsnivå basert på disse dataene alene. Anbefalinger for salmonider varierer betydelig (5-30 mg/kg), mens FAOs anbefaling for karnivor fisk i påvektsstadiet er 15 mg/kg, og NRC (2011) generelt anbefaler 4-9 mg/kg. Riboflavin, som FAD og FMN, er sentral i redoksreaksjoner og energiomsetning. Leveren er vanligvis et viktig vev for riboflavinmetabolisme og -lagring, så den manglende observerte metningen i lever hos kveite er bemerkelsesverdig og krever ytterligere undersøkelser.



Figur 2-3: Vevskonsentrasjon av riboflavin i lever-, muskel- og gjellevev hos kveite ved ulike diettnivåer. Data indikerte et potensielt, men ikke statistisk signifikant, metningspunkt ved 12 mg/kg i muskelvev (p=0,147) og gjellevev (p=0,136). Det ble ikke observert et metningspunkt i levervev (p=1).

For pyridoksin (Vitamin B6) ble et signifikant metningspunkt ble observert i gjellevev (p=0,0425) ved 6,2 mg/kg. Selv om lever (p=0,397) og muskel (p=0,0946) også indikerte en mulig metning ved dette nivået, var dette ikke statistisk signifikant. 6,2 mg/kg er noe lavere enn typiske anbefalinger for laks og ørret på 10-15 mg/kg, men samsvarer godt med NRCs (2011) generelle anbefaling på 3-6 mg/kg. FAO for karnivor fisk anbefaler 12 mg/kg. Pyridoksin er essensielt for aminosyremetabolismen, og behovet kan øke med økende proteininnhold i dietten, noe som er karakteristisk for karnivore arter som kveite.

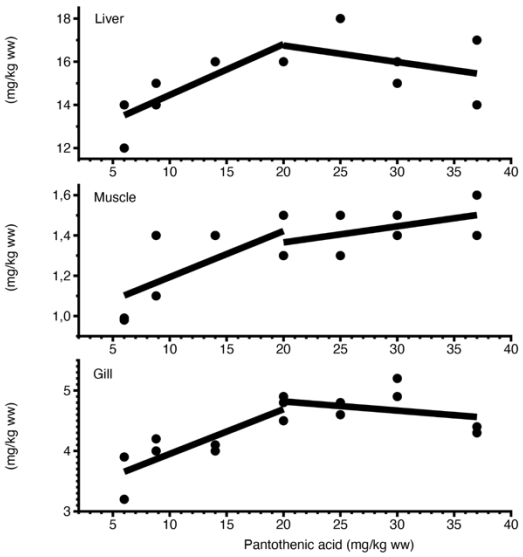


Figur 2-4: Metningspunkt for pyridoksin i lever-, muskel- og gjellevev hos kveite. Data viser et metningspunkt ved 6,2 mg/kg i gjellevev (p=0,043). Indikasjoner på metning ved samme nivå i levervev (p=0,397) og muskelvev (p=0,095) var ikke statistisk signifikante.

For pantotensyre (Vitamin B5) viste studien statistisk signifikant vevsmetning i muskel (p=0,033) og gjeller (p=0,0045) ved en diettkonsentrasjon på 20 mg/kg. Levervev viste lignende tendenser, men uten statistisk signifikans (p=0,128). Dette antyder at 20 mg/kg er et adekvat nivå for å dekke behovet i muskel og gjeller. Biotin (Vitamin B7) i levervev viste et signifikant metningspunkt ved 0,37 mg/kg (p=0,00667), mens muskelvev ikke viste signifikant metning (p=0,37213) ved dette nivået. Metningspunktet for biotin på 0,37 mg/kg er lavere enn for salmonider som er rapportert til 1-1,5 mg/kg, men innenfor NRC (2011) generelt på 0,15-1,0 mg/kg og på linje med FAO karnivor fisk på 0,2-0,3 mg/kg.

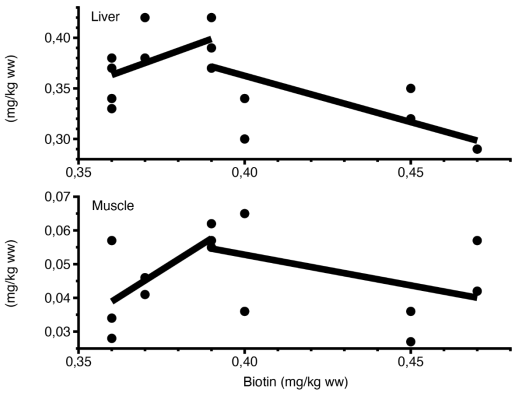
Det som var påfallende med biotin var at fisk som fikk høye nivå av vitaminene hadde lavere nivå i vev enn fisk som ble gitt fôrene med de tre laveste nivåene. 20 mg/kg er lavere enn behov hos salmonider som er 40-50 mg/kg, men innenfor eller i øvre sjikt av NRC (2011) på 10-30 mg/kg og FAO karnivor fisk på 30 mg/kg.

Ved lave konsentrasjoner av pantotensyre skjer opptaket via aktiv, natriumavhengig transport mediert av SMVT-transportøren (SLC5A6). Ved høye konsentrasjoner bidrar passiv diffusjon. SMVT transporterer også biotin og liponsyre, noe som kan føre til konkurranse. Så vidt vi vet er ikke denne typen konkurranse vist i fisk, men det er mye som tyder på at høye verdier av



Figur 2-5: Metningspunkt for pantotensyre i lever-, muskel- og gjellevev hos kveite. Et metningspunkt ble identifisert ved 20 mg/kg. Dette var statistisk signifikant i muskelvev (p=0,033) og gjellevev (p=0,005). Indikasjoner på metning i levervev ved samme konsentrasjon var ikke statistisk signifikante (p=0,28).

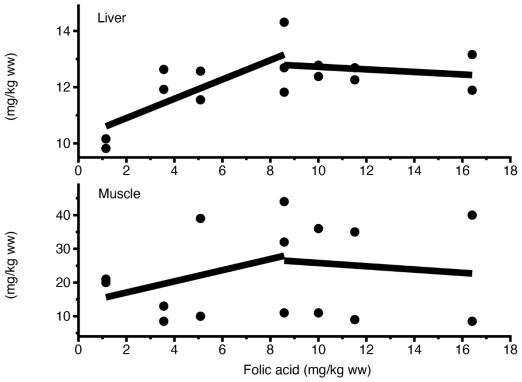
pantotensyre i kveitefôr kan være hemmende for opptak av biotin. Dette krever en balansert tilnærming til fôrformulering, hvor nivåene av begge vitaminer justeres i forhold til hverandre. Biotin er en kofaktor for flere karboksylaser involvert i glukose-, aminosyre- og fettsyremetabolisme, og leveren er et sentralt organ for disse prosessene.



Figur 2-6: Metningspunkt for biotin i lever- og muskelvev hos kveite. Et metningspunkt ble identifisert ved 0,37 mg/kg i levervev (p=0,007). Det ble ikke observert et signifikant metningspunkt i muskelvev (p=0,372) ved dette nivået.

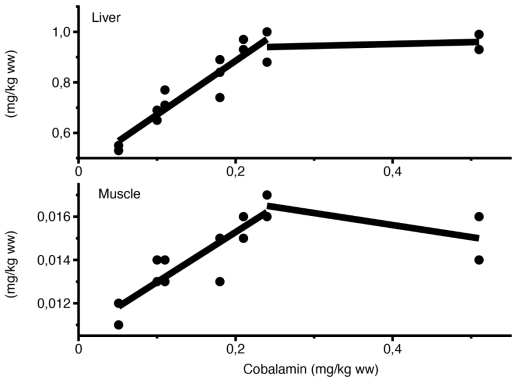
Levervev viste et signifikant metningspunkt ved 8,6 mg/kg (p=0,030573) for folsyre (Vitamin B9). Muskelvev indikerte en lignende trend, men uten statistisk signifikans (p=0,328323).

Levermetning for folsyre hos kveite ved 8,6 mg/kg er sammenlignbart med eller noe høyere enn for salmonider på 5-10 mg/kg, men betydelig høyere enn NRC (2011) generelt på 1-2 mg/kg og FAO karnivor fisk (3-6 mg/kg).



Figur 2-7: Metningspunkt for folsyre i lever- og muskelvev hos kveite. Data indikerer et metningspunkt i levervev ved 8,6 mg/kg (p=0,03). Indikasjoner på metning i muskelvev ved samme verdi var ikke statistisk signifikante (p=0,328).

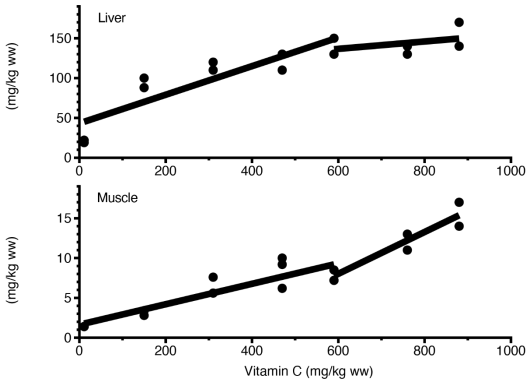
Kobalamin (Vitamin B12) nådde et signifikant metningspunkt ved 0,24 mg/kg (p=0,03505) i muskelvev. Levervev viste en tendens mot metning ved dette nivået, men resultatet var ikke statistisk signifikant (p=0,054482), selv om det var nær grensen for signifikans. Et eventuelt behov på 0,24 mg/kg er omtrent en ti ganger høyere enn de fleste anbefalinger for andre fiskearter, inkludert laks som ligger på 0,015-0,02 mg/kg. NRC (2011) anbefalingen er på 0,01 mg/kg og FAO for karnivor fisk på 0,015-0,03 mg/kg. Vitamin B12 er essensielt for metabolismen av visse aminosyrer og fettsyrer, samt for DNA-syntese. Karnivor fisk, med sine protein- og fettrike dietter, kan ha spesifikke krav til B12 og kveite er en utpreget karnivor. Den store forskjellen i metningsnivå kan reflektere et reelt høyere behov i kveitemuskulatur, en mer effektiv lagringsmekanisme, eller at tidligere studier på andre arter har undervurdert muskelens metningspotensial for B12. Gitt at fiskefilet er en B12-kilde for mennesker, kan dette funnet ha relevans utover fiskeernæring.



Figur 2-8: Metningspunkt for kobalamin i lever- og muskelvev hos kveite. Et metningspunkt ble identifisert i muskelvev ved 0,24 mg/kg (p=0,035). Indikasjoner på metning i levervev ved dette nivået var ikke statistisk signifikante (p=0,054).

Resultatene for vitamin C (Askorbinsyre) var entydige, med et høyst statistisk signifikant metningspunkt ved 590 mg/kg for både lever (p<0,001) og muskel (p<0,001). Hvis dette indikerer behovet for vitamin C er det eksepsjonelt høyt. Sammenlignende verdier for laks er typisk 50-100 mg/kg, NRC (2011) anbefaler generelt 25-50 mg/kg, og selv den relativt høy FAO-anbefalingen for

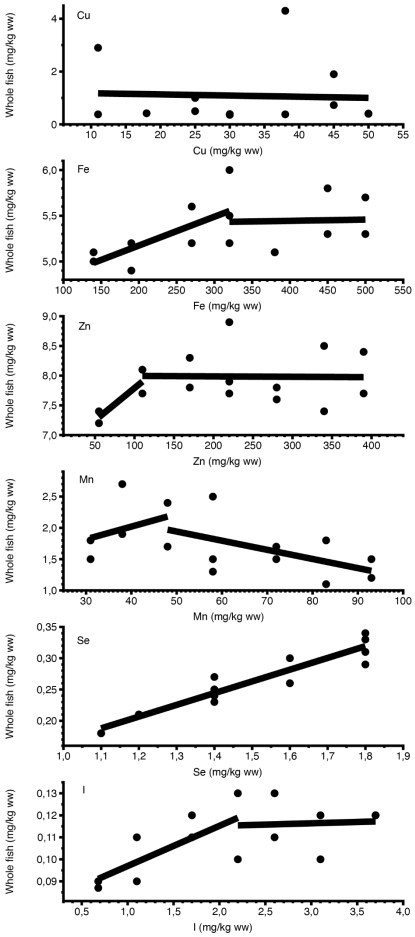
karnivor fisker er kun 200-400 mg/kg. Vitamin C er en kritisk antioksidant og kofaktor i immunrespons og kollagensyntese. Behovet kan øke under stress. Det høye observerte metningsnivået hos kveite kan indikere et artsspesifikt høyt basalt oksidativt stress, et spesielt viktig behov for immunforsvar eller vevsreparasjon, eller mest sannsynlig, mindre effektiv absorpsjons- eller resirkuleringsmekanisme. Å møte et så høyt behov vil ha betydelige kostnadsmessige konsekvenser, og det er viktig å validere om dette metningsnivået korrelerer med forbedret helse og vekst. Stabiliteten av vitamin C i fôr er også en kritisk faktor, da det er utsatt for degradering under prosessering og lagring.



Figur 2-9: Metningspunkt for vitamin C i lever- og muskelvev hos kveite. Et statistisk signifikant metningspunkt ble observert ved 590 mg/kg for både levervev ($p < 0,00$) og muskelvev ($p < 0,00$).

For jern (Fe) er metningspunktet for kveite rapportert til 320 mg/kg. Dette er betydelig høyere enn det estimerte kravet for atlantisk laks som er 60 mg/kg eller 150-166 mg/kg i plantebaserte dietter for parr, og regnbueørret ~270 mg/kg totalt i plantebaserte dietter. Forskjellen skyldes sannsynligvis metodologiske aspekter ved "line break"-analysen, og ikke reelle artsforskjeller i jernmetabolismen eller lagringskapasitet. Uten mer detaljerte studier på kveite er det vanskelig å trekke bastante konklusjoner.

For sink (Zn) er et foreslått, men statistisk usikkert ($p=0.1707$), metningspunkt for kveite 110 mg/kg. Dette ligger innenfor eller litt under området rapportert for atlantisk laks som er 101-132 mg/kg for parr, og 140-177 mg/kg for post-smolt i plantebaserte dietter. For regnbueørret anbefaler NRC 2011 minimum 15 mg/kg, praktisk 30 mg/kg, men opptil 63-123 mg/kg avhengig av kilde og diettype. Gitt usikkerheten i kveitedataene, er det vanskelig å fastslå om behovet er genuint lavere. Sink er viktig for en rekke enzymfunksjoner og skjelettintegritet.



Figur 2-10: Metningspunkter for mineralene jern (Fe), sink (Zn), mangan (Mn), selen (Se) og jod (I) i hel fisk. Jern viste et metningspunkt ved 320 mg/kg (p=0,019). For sink var et foreslått bruddpunkt ved 110 mg/kg ikke statistisk signifikant (p=0,17). For mangan var et indikert metningspunkt ved 48 mg/kg ikke statistisk signifikant (p=0,643). Selen viste en lineær økning i vevskonsentrasjon og nådde ikke et metningspunkt. Jod viste et metningspunkt ved 2,2 mg/kg (p=0,039). Kobber (Cu) ble ikke evaluert i denne studien.

For mangan (Mn) er det foreslåtte metningspunktet for kveite 48 mg/kg, også med stor statistisk usikkerhet (p=0.6434). Dette er i samme størrelsesorden som er rapportert for atlantisk laks parr på 47-63 mg/kg og post-smolt på 61-67 mg/kg i plantebaserte dietter. Igjen, datakvaliteten for kveite gjør sammenligningen usikker.

For jod (I) er metningspunktet for kveite 2.2 mg/kg (p=0.03874). Dette er høyere enn NRC (2011) anbefalingen for regnbueørret på 1.1 mg/kg og det foreslåtte behovet for laks parr på 0.7-1.6 mg/kg i plantebaserte dietter.

For kobber (Cu) og selen (Se) ble det ikke rapportert noe "line break" for kveite, noe som indikerer at enten ble ikke metning nådd innenfor de testede diettnivåene, eller så var dataene ikke egnet for slik analyse. Dette representerer et betydelig kunnskapshull. Laks og ørret har etablerte, om enn noe varierende, krav til både Cu og Se.

Variasjonene i mineralbehov, eller metningspunkter, kan skyldes flere faktorer. Kveite, som en stor, relativt saktevoksende, bunnlevende flatfisk, har en distinkt fysiologi sammenlignet med de mer aktive, pelagiske eller bentopelagiske rundfiskene som ofte er brukt til sammenligning. Den lavere generelle metabolske aktiviteten hos kveite sammenlignet med for eksempel laks, kan teoretisk sett

bety et lavere behov for visse mikronæringsstoffer som fungerer som kofaktorer i energimetabolismen (f.eks. B-vitaminer). Kveitens naturlige diett, som hovedsakelig består av annen fisk og krepsdyr, kan også ha formet dens evne til å utnytte og lagre mineraler.

Flere faktorer utover art alene påvirker mineral- og vitamin-behov. Kveitens fysiologi som en stor, langlivet, bentisk flatfisk kan medføre unike metabolske krav sammenlignet med pelagiske rundfisker. Diettens sammensetning, inkludert protein- og fettnivåer, og bruk av plantebaserte ingredienser som kan inneholde antinæringsstoffer (f.eks. tanniner som kan påvirke B12-metabolismen) eller ha lavere naturlig vitamininnhold, spiller også en rolle. Vitaminers stabilitet under fôrproduksjon og lagring er en annen viktig variabel; sensitive vitaminer som tiamin og vitamin C kan degraderes betydelig, selv om bruk av coatede former kan forbedre stabiliteten. Miljøfaktorer som temperatur og generell stressrespons kan også modulere micronæringsstoffbehovene.

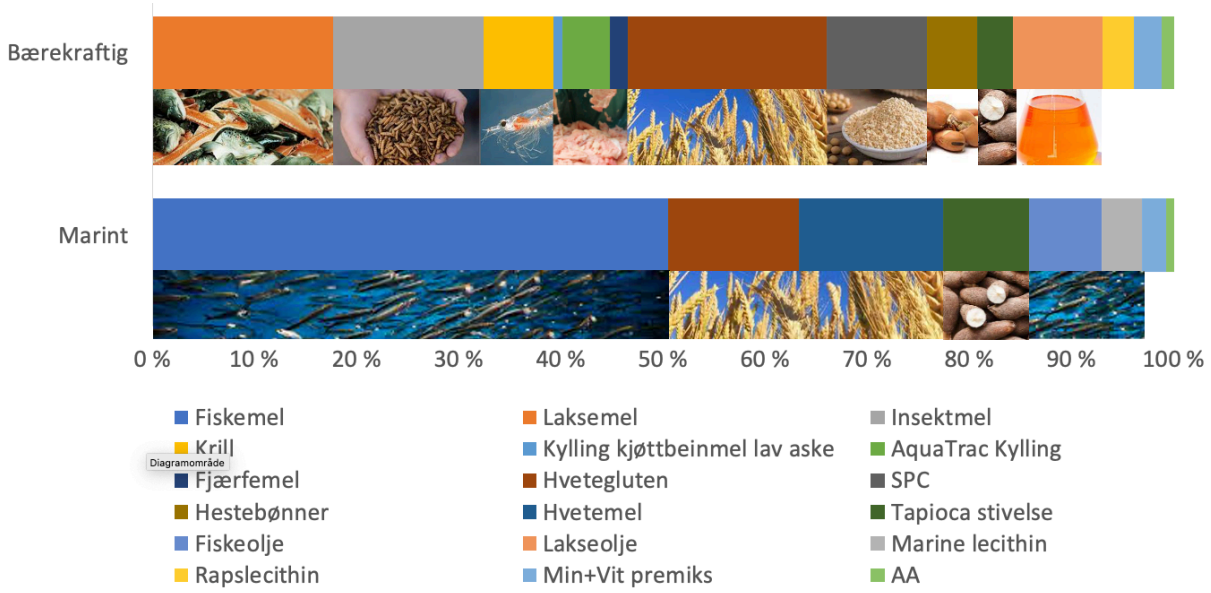
7.2.3 Anbefalt behov for mikronæringsstoffer:

Vitamin	**Kveite**	**Salmonider (Laks/Ørret)**	**Marine Karnivore (generelt/spes.)**	**NRC (2011) Fisk Generelt**	**FAO Karnivor Fisk (Grower)**
Tiamin (B1)	12 (lever/gjeller)	10-15	Piggvar: 2-4	0.5-10	12-24 (12)
Riboflavin (B2)	~12 (musk/gj, usikker)	5-30	-	5-15	15-30 (15)
Pyridoksin (B6)	6.2 (gjeller)	10-15	Havabbor: 2-5	3-6	12-24 (12)
Pantotensyre (B5)	20 (muskel/gjeller)	40-50	-	10-20	30-60 (30)
Biotin (B7)	0.37 (lever)	1-1.5	-	0.05-1.0	0.2-0.3 (0.2)
Folsyre (B9)	8.6 (lever)	5-10	-	1.6-10	3-6 (3)
Kobalamin (B1)	0.24 (muskel)	0.015-0.02	-	0.015-0.02	0.015-0.03 (0.015)
Vitamin C	590 (lever/muskel)	Laks: 50-100	-	25-50	200-400 (200)

7.3 Alternative råvarer

7.3.1 Beskrivelse av metodikk

I tillegg til å optimalisere sammensettingen av makronæringsstoffer ville vi se om et fôr uten bruk av fangstet fisk ville tilfredsstille kveitas og forbrukerens behov. I den sammenheng ble det produsert et tilleggsfôr som var tilnærmet senterfôret i næringsstoffsammensetning. Fôrene var balansert, til den graden det var mulig og ble til, for essensielle aminosyrer, makromineraler og fosfolipider. Senterfôret og det mer bærekraftige fôret ble foret til 3 kar.



Figur 3-1: Grafisk fremstilling av råvarene brukt i det «tradisjonelle» fiskemelbaserte fôret og det bærekraftige fôret.

For å øke oppmerksomheten rundt oppdrettskveite og evaluere hvordan ingrediensvalg og protein – fett sammensetningen i fôret påvirker smaksopplevelsen av kveiten, inviterte vi studenter ved UiB til en uformell smakstest. Da kun det beste er godt nok for verdens, sannsynligvis beste fisk, fikk vi Christoffer Haatuft (innehaver av restauranter Lysverket som har en stjerne i Michelin guiden) til å tilberede retter fra tre fôrgrupper. Fisken ble servert både rå og ovnsbakt og servert blindt til deltakerne. Under smakstesten fikk deltakerne smake kveiter som hadde spist fôr med enten høyt innhold av fett, høyt innhold av proteiner, eller fôr basert på lakseavskjær, insektmel og kyllingavskjær (Tabell 3-2).

Tabell 3-1: Råvarene brukt i de «tradisjonelle» fiskemelbaserte fôr 6 og 2 og det bærekraftige fôret.

	Fôr 6	Fôr 2	Bærekraftig
Salmon meal			22
Insect meal			18
Poultry byproduct meal			7,2
FM 999	52,9	50,5	
krill meal			6
Krill hydrolysat			2
Wheat gluten 17/20	13,43	12,82	17,2
Wheat 18/20	9,3	14,09	
Fava bean			8,95
Tapioca stivelse		8,4	
salmon oil			9,6
FO 20/20	12,8	7,15	
Marin lecithin	6,9	3,95	4
Cholesterol			0,5
Choline chloride 9/16			0,02
NaH2PO4	1,91	1,28	1,4
CaCO3	0,9		
Stay-C	0,05	0,05	0,05
Vitamin mix	0,5	0,5	0,5
Mineral mix	0,5	0,5	0,5
Lys (99 %, 19.41 % Cl)	0,45	0,45	1,05
Threonine 98.5%	0,2	0,2	0,5
Methionine 99%	0,05		0,42
Histidine	0,1	0,1	0,1
Yttrium oxide	0,01	0,01	0,01
sum	100	100	100

Tabell 3-2: Råvarene brukt i de «tradisjonelle» fiskemelbaserte fôr 6 og 2 og det bærekraftige fôret.

Sammensetning	Fôr 5 (A)	Bærekraftig	Fôr 8 (C)
Protein	42	55	60
Lipid	21	20	5
Stivelse	19	10	16

Alle deltakerne fikk utdelt et skjema med følgende spørsmål:

Smaker du forskjell?

Hvilken likte du best?

Hvilken kveite tror du har fått lakseavskjær i fôret?

Hvilken kveite tror du har fått mest fett i fôret?

Av de 51 svarene vi fikk inn svarte 100 % av de smakte forskjell på fisken som ble servert. Kun 12 % foretrakk fisken som fikk 60% protein og 5 % fett. Kokkene som tilberedte fisken kommenterte også at denne fisken virket annerledes, og virket «flakete». På smak var det en klar seier til kveiten som ble fôret med lakseavskjær, insektmel og kyllingavskjær i stedet for fiskemel. Fôrgruppe A og B hadde dessverre forskjeller i mengden stivelse i fôret, noe som kan ha introdusert forskjeller i smak. Da vi var usikre på hvordan studentene ville reagere på at fisken var fôret med insektmel, fokuserte vi på lakseavskjæret. På spørsmål om hvilken fisk de trodde hadde fått dette fôret var det ganske jevnt mellom fôrgruppene, men flest tippet nok på fisken de likte minst. De traff bedre når de ble spurt om hvilken gruppe de trodde hadde får fôr med mest fett. Her skåret forgruppene med 20 % fett 33 og 47 % av stemmene mens gruppen med 5 % fett i fôret kun fikk 18 % av stemmene.

Tabell 3-3: Fordeling av svar fra de 51 personene som deltok på prøvesmakingen.

Spørsmål	A	B	C
Hvilken likte du best?	27 %	61 %	12 %
Hvilken kveite tror du har fått lakseavskjær i fôret?	27 %	27 %	37 %
Hvilken kveite tror du har fått mest fett i fôret?	33 %	47 %	18 %

7.3.2 Anbefaling

Kveite trives veldig godt med animalske proteiner. Disse trenger ikke nødvendigvis komme fra fisk og absolutt ikke fra konvensjonelt fiskemel. Her er mulighetene for bruk av animalske sidestømmer og insektmel store.

Referanser

Aksnes, A., Hjertnes, T., Opstvedt, J., 1996. Effect of dietary protein level on growth and carcass composition in Atlantic halibut (Hippoglossus hippoglossus L). Aquaculture 145, 225–233. https://doi.org/10.1016/s0044-8486(96)01347-6

Árnason, J., Imsl, A.K., Gústavsson, A., Gunnarsson, S., Arnarson, I., Reynisson, H., Jónsson, A.F., Smáradóttir, H., Thorarensen, H., Imsland, A.K., 2009. Optimum feed formulation for Atlantic halibut (Hippoglossus hippoglossus L.): Minimum protein content in diet for maximum growth. Aquaculture 291, 188–191. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.03.025

Berge, G.M., Storebakken, T., 1991. Effect of dietary fat level on weight gain, digestibility, and fillet composition of Atlantic halibut. Aquaculture 99, 331–338. https://doi.org/10.1016/0044-8486(91)90253-4

Hamre, K., Baeverfjord, G., Harboe, T., 2005. Macronutrient composition of formulated diets for Atlantic halibut (Hippoglossus hippoglossus, L.) juveniles, II: protein/lipid levels at low carbohydrate. Aquaculture 244, 283–291. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.12.007

Hamre, K., Øfsti, A., Næss, T., Nortvedt, R., Holm, J.Chr., 2003. Macronutrient composition of formulated diets for Atlantic halibut (Hippoglossus hippoglossus, L.) juveniles. Aquaculture 227, 233–244. https://doi.org/10.1016/s0044-8486(03)00506-4

Hatlen, B., Grisdale-Helland, B., Helland, S.J., 2005. Growth, feed utilization and body composition in two size groups of Atlantic halibut (Hippoglossus hippoglossus) fed diets differing in protein and carbohydrate content. Aquaculture 249, 401–408. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.03.040

Hemre, G.-I., Lock, E.-J., Olsvik, P.A., Hamre, K., Espe, M., Torstensen, B.E., Silva, J., Hansen, A.-C., Waagbø, R., Johansen, J.S., Sanden, M., Sissener, N.H., 2016. Atlantic salmon (Salmo salar) require increased dietary levels of B-vitamins when fed diets with high inclusion of plant based ingredients. Peerj 4. https://doi.org/10.7717/peerj.2493

Lygre, E.F., Gomes, A.C.D.S., Nilsson, J., Norberg, B., Hess-Erga, O.-K., Rønnestad, I., 2025. Feed Residuals in the Midgut Supresses Appetite in Atlantic Halibut (Hippoglossus Hippoglossus L.). https://doi.org/10.2139/ssrn.5261356

Moren, M., Opstad, I., Berntssen, M.H.G., Infante, J.-L.Z., Hamre, K., 2004. An optimum level of vitamin A supplements for Atlantic halibut (Hippoglossus hippoglossus L.) juveniles. Aquaculture 235, 587–599. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.01.030

NRC, 2011. National Research Council (NRC): Nutrient requirements of fish and shrimp. The National Academies Press, Washington.

Øvergård, A.-C., Nepstad, I., Nerland, A.H., Patel, S., 2012. Characterisation and expression analysis of the Atlantic halibut (Hippoglossus hippoglossus L.) cytokines: IL-1β, IL-6, IL-11, IL-12β and IFNγ. Mol. Biol. Rep. 39, 2201–2213. https://doi.org/10.1007/s11033-011-0969-x

Rønnestad, I., Gomes, A.S., Murashita, K., Angotzi, R., Jönsson, E., Volkoff, H., 2017. Appetite-Controlling Endocrine Systems in Teleosts. Front. Endocrinol. 8, 73. https://doi.org/10.3389/fendo.2017.00073

Rønnestad, I., Lie, Ø., Waagbø, R., 1997. Vitamin B6 in Atlantic halibut, Hippoglossus hippoglossus—endogenous utilization and retention in larvae fed natural zooplankton. Aquaculture 157, 337–345. https://doi.org/10.1016/s0044-8486(97)00173-7

Ruff, N., Fitzgerald, R.D., Cross, T.F., Lynch, A., Kerry, J.P., 2004. Distribution of alpha-tocopherol in fillets of turbot (Scophthalmus maximus) and Atlantic halibut (Hippoglossus hippoglossus), following dietary alpha-tocopheryl acetate supplementation. Aquacult Nutr 10, 75–81. https://doi.org/10.1046/j.1365-2095.2003.00280.x

Teles, A.O., Couto, A., Enes, P., Peres, H., 2019. Dietary protein requirements of fish – a meta-analysis. Rev Aquacult. https://doi.org/10.1111/raq.12391

Woodward, B., 1994. Dietary vitamin requirements of cultured young fish, with emphasis on quantitative estimates for salmonids. Aquaculture 124, 133–168. https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)90375-1

Leveranser:

Masteroppgaver:

Kasper Sætre Sollien (9. juni 2023) «Feeding response and growth performance of Atlantic halibut fed diets with varying macronutrient levels.»

Victoria Pauline Helsengreen (26. juni 2023) «Optimizing the diet for Atlantic Halibut

(Hippoglossus hippoglossus) - Investigating the effects of macronutrient composition»

Kristoffer Vestrheim (28. juni 2023) «The effects of different levels of macronutrients on growth, histology and gene expression in the hindgut of Atlantic halibut (Hippoglossus hippoglossus)»

Presentasjoner:

Det 16. norske fiskeernæringsseminaret - Fôr for bærekraftig fremtid

«Optimalisering av makronæringsstoffer i kveitefôr»

Ø. Sæle1*, A. J. P. Philip1, K. Hamre1, K. Kousoulaki2, K. S. Sollien3, V. Helsengreen1,3, K.Vestrheim1,3 and Ivar Rønnestad3.

1 Institute of Marine Research, Nordnesgaten 50, Bergen, Norway (oystein.saele@hi.no)

2 Nofima, Muninbakken 9-13, Breivika. Tromsø, Norway

3 Dep. of Biological Sciences, UiB, Thormøhlens gate 53 A/B, Bergen Norway

European Aquaculture Society 2023 i Wien, september:

«OPTIMALIZATION OF THE MACRONUTRIENT COMPOSITION IN THE ATLANTIC

HALIBUT DIET.»

Ø. Sæle1*, A. J. P. Philip1, K. Hamre1, K. Kousoulaki2, K. S. Sollien3, V. Helsengreen1,3, K.Vestrheim1,3 and Ivar Rønnestad3.

1 Institute of Marine Research, Nordnesgaten 50, Bergen, Norway (oystein.saele@hi.no)

2 Nofima, Muninbakken 9-13, Breivika. Tromsø, Norway

3 Dep. of Biological Sciences, UiB, Thormøhlens gate 53 A/B, Bergen Norway

European Aquaculture Society 2024 i København, september:

«OPTIMALIZATION OF THE microNUTRIENT COMPOSITION IN THE ATLANTIC

HALIBUT DIET.»

Ø. Sæle1*, A. J. P. Philip1, K. Hamre1, K. Kousoulaki2, K. S. Sollien3, V. Helsengreen1,3, K.Vestrheim1,3 and Ivar Rønnestad3.

1 Institute of Marine Research, Nordnesgaten 50, Bergen, Norway (oystein.saele@hi.no)

2 Nofima, Muninbakken 9-13, Breivika. Tromsø, Norway

3 Dep. of Biological Sciences, UiB, Thormøhlens gate 53 A/B, Bergen Norway

Havbruk 2024, 22-24 oktober, Tromsø

SKREENING FOR VITAMIN- OG MINERALBEHOV TIL KVEITE.

Ø. Sæle*, A. J. P. Philip, Y. Rong, K. Hamre, K. Kousoulaki.

Havforskningsinstituttet, Nordnesgaten 50, Bergen, Norge (oystein.saele@hi.no)

Nofima, Kjerreidvika 16, 5141 Fyllingsdalen

Poster:

The International Symposium of Fish Nutrition and Feeding (ISFNF) will be held on June 5-9 in the wonderful and sunny Sorrento, Italy

Optimalization of macronutrient composition for Atlantic halibut grow-out

Øystein Sæle, Antony J Prabhu Philip, Kristin Hamre Katerina Kousoulaki, Kasper S. Sollien, Endre Lygre and Ivar Rønnestad.

Media:

Hva smaker oppdrettskveite som har fått forskjellig fôr?

Sammen med Michelin-kokk Christopher Haatuft arrangerte HI en uhøytidelig smakstest av oppdrettskveite.

Av RedaksjonKYST REDAKSJONEN

PUBLISERT Mandag 21. november 2022 - 08:18 SIST OPPDATERT Mandag 21. november 2022 - 08:46

https://www.kyst.no/havforskningsinstiuttet-kveite-kveiteoppdrett/hva-smaker-oppdrettskveite-som-har-fatt-forskjellig-fr/1455393



HAVFORSKNINGSINSTITUTTET

Postboks 1870 Nordnes
5817 Bergen
Tlf: 55 23 85 00
E-post: post@hi.no
www.hi.no