

2018:01185 - [Security Level]

Rapport

Levendelagring og påvekst av vanlig strandsnegler

Forprosjekt – RFF Midt

Forfattere

Andreas Hagemann

Kristine Braaten Steinhovden, Arne Michael Malzahn



SINTEF Ocean AS

Rapport

Levendelagring og påvekst av vanlig strandsnegler

Forprosjekt – RFF Midt

RAPPORTNR	PROSJEKTNR	VERSJON	DATO
2018:01185	282526	1	2018-12-12

EMNEORD:

Littorina littorea
Levendelagring
Påvekst
Ulva lactuca
Ulva intestinalis
Føringsforsøk

FORFATTERE

Andreas Hagemann
Kristine Braaten Steinhovden, Arne Michael Malzahn

OPPDRAUGSGIVER

Statsnail AS

OPPDRAUGSGIVERS REF.

Joakim Skjefstad

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:

25

GRADERING

Fortrolig

GRADERING DENNE SIDE

Fortrolig

ISBN**SAMMENDRAG**

Statsnail AS har utviklet en ny høstemetode hvor man plukker strandsnegl (*Littorina littorea*) med fridykkerutstyr og en egenutviklet plukkesele. Sammen med SINTEF Ocean ble det gjennomført et prosjekt for å evaluere potensialet i levendelagring og påvekst av strandsnegl i perioden mellom høstsesong (vår/sommer) og perioden november/desember hvor etterspørselen og prisen på strandsnegl er høyest. Hovedmålet med prosjektet var å finne et (kommersielt) før som i kombinasjon med gode miljøbetingelser ga god vekst i intensive systemer, samt bevarte smaken på sneglene gjennom dyrkingsperioden. Videre ble det undersøkt om høstet havsalat (*Ulva lactuca*) og tarmgrønske (*Ulva intestinalis*) var egnet som påvekstfôr til *L. littorea*, og om disse grønngalgene kunne dyrkes vegetativt på næringsstoffer fra sneglene i samme resirkuleringssystem (RAS) uten ekstra tilsetning av næringsstoffer.

Havsalat (*U. lactuca*) vokste tilfredsstillende i RAS uten ytterligere tilsetning av næringsstoffer, og forsøket viste at det er mulig å oppnå mer enn en dobling i algebiomasse (VV) per uke i RAS. Resultatene indikerte at det er mulig å øke skallhøyden til *L. littorea* med 1,3 – 1,9 mm i løpet av 5 måneder med de utprøvde føringsregimene. Med hensyn til snegler som matprodukt, viser forsøkene at man skal være forsiktig med å sulte sneglene, og at fôret i stor grad påvirket både mengden og sammensetningen av fett i sneglene. Lavere lipidinnhold kan se ut til å henge sammen med en lavere smaksintensitet.

UTARBEIDET AV

Andreas Hagemann

KONTROLLERT AV

Stine Wiborg Dahle

GODKJENT AV

Gunvor Øie



Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
1	2018-12-12	Faglig sluttrapport for forprosjekt 282526 – Levendelagring og påvekst av vanlig strandsnegl.

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	4
2	Materialer og metode.....	4
2.1	Høsting og utsett av havsalat og strandsnegl	4
2.2	Dyrkingsforsøk	5
2.2.1	Levendelagring og påvekst av <i>L. littorea</i>	6
2.2.2	Dyrking av <i>Ulva spp.</i> i RAS	7
2.3	Biokjemiske analyser.....	8
2.4	Smakstesting.....	8
3	Resultater og diskusjon.....	8
3.1	Levendelagring og påvekst av <i>L. littorea</i>	8
3.2	Dyrking av <i>Ulva spp.</i> i RAS.....	14
3.3	Biokjemiske analyser.....	16
3.4	Smakstesting.....	23
4	Konklusjoner og videre arbeid	24
5	Referanser.....	25

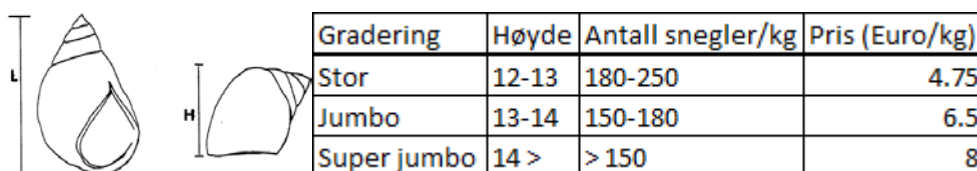
BILAG/VEDLEGG

Ingen

1 Innledning

Statsnail AS har utviklet en ny høstemetode hvor man plukker strandsnegl (*Littorina littorea*) med fridykkerutstyr og en egenutviklet plukkesele. Siden oppstart i 2015 har bedriften omsatt strandsnegl for ca. 5MNOK på det Europeiske markedet. Sammen med SINTEF Ocean ønsket man å sette i gang et prosjekt for å evaluere potensialet i levendelagring og påvekst av strandsnegl i perioden mellom høstesesong (vår/sommer) og perioden november/desember hvor etterspørselen og prisen på strandsnegl er høyest.

Vanlig strandsnegl (*L. littorea*) er en etterspurt matressurs i Europa. Strandsneglene graderes kommersielt i størrelsene *stor*, *jumbo* og *super jumbo*, hvor større snegler oppnår høyere kilopris (Figur 1). Vanligvis plukker Statsnail AS henholdsvis 3, 67 og 30 % av stor, jumbo og super jumbo graderingene. Gitt at man lar stor- og jumbograderte snegler vokse ytterligere etter høsting, for så å selge disse i desember hvor sneglene oppnår høyest pris (Cummins et al. 2002), vil dette kunne øke bedriftens omsetning betraktelig.



Figur 1 Målekriterier for kommersiell gradering og prissetting av vanlig strandsnegl. Venstre: Illustrasjon som viser hvor skallhøyden (mm) som er den bestemmende faktoren for gradering skal måles (fra Cashmore 1998). Høyre: Tabell som viser sammenheng mellom skallhøyde (mm) og pris i desember 2017 (fra Statsnail AS). Skallhøyden er det målet som er mest relevant, fordi strandsnegl ofte sorteres med rister bestående av parallelt monterte stenger.

Forsøk på levendelagring av strandsnegl har vist at det er mulig å oppbevare snegler i inntil 3 måneder uten at kvaliteten forringes så fremt de lagres i fjæresoner hvor sneglene kommer under vann 2 ganger per dag, men dette krever hyppig vedlikehold med vending av striesekkene de lagres flere ganger for uken og de må etterføres med tare (Fjørtoft et al. 2008). Alt dette gjør denne lagringsmetoden meget arbeidsintensiv. I motsetning til resultater beskrevet av Fjørtoft et al. (2008), har Statsnail AS erfart at levendelagring i en måned etter høsting har medført opptil 20 % tap. I tillegg til at det må fokuseres på overlevelse og vekst, er det også avgjørende at levendelagrede snegler opprettholder smak og kvalitet fra høsting frem til konsument. Grunnet det i dag uutnyttede potensialet som ligger i levendelagring av strandsnegl, ser Statsnail et stort potensial i å utvikle gode prosedyrer for levendelagring og påvekst av strandsnegler for å øke firmaets omsetning og konkurranseevne.

Hovedmålet med prosjektet var å finne et (kommersielt) fôr som i kombinasjon med gode miljøbetingelser ga god vekst i intensive systemer, samt bevarte smaken på sneglene gjennom dyrkingsperioden. Videre ble det undersøkt om høstet havsalat (*Ulva lactuca*) og tarmgrønske (*Ulva intestinalis*) var egnet som påvekstfôr til *L. littorea*, og om disse grønnalgene kunne dyrkes vegetativt på næringsstoffer fra sneglene i samme resirkuleringssystem (RAS) uten ekstra tilsetning av næringsstoffer.

2 Materialer og metode

2.1 Høsting og utsett av havsalat og strandsnegl

Havsalat og tarmgrønske

Havsalat (1,5 kg) ble høstet av fridykkere i strømutsatte områder utenfor Garten (63.639879N, 9.500596E), og tarmgrønske (2 kg) ble plukket i samme område på grunnere vann (63.644648N, 9.530132E). Etter høsting ble algene lagt i en isopor-boks med kjøleelement og sendt med båt til SINTEF SeaLab. Algene ble deretter lagt i gjennomstrømningskar (10 °C, 34 ppt salinitet) i SINTEFs laboratorier hvor de ble holdt frem til forsøksstart.

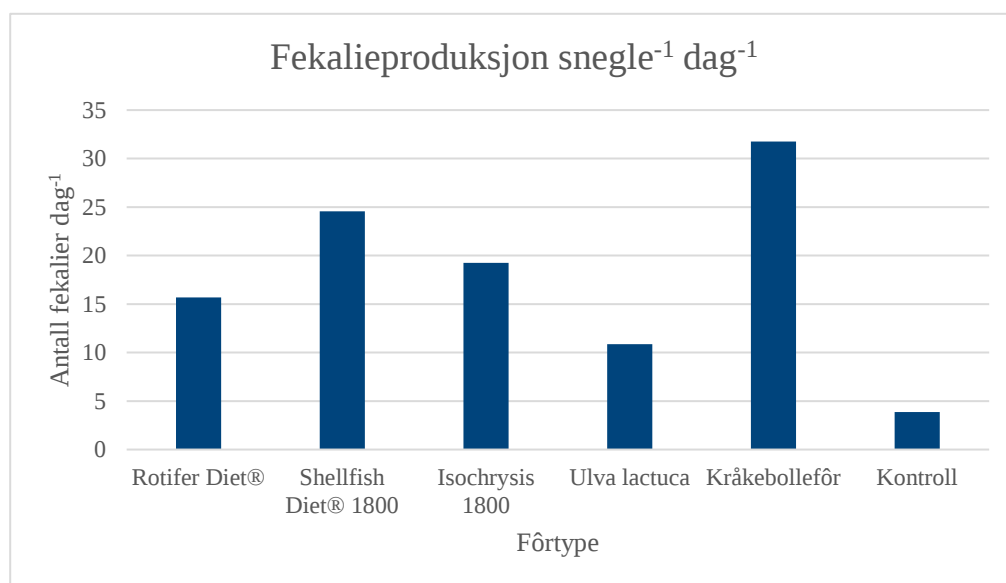
Strandsnegl

Store strandsnegl (7,5 kg våtvekt) ble plukket i Grandefjæra (63.679705N, 9.539107E). Etter høsting ble sneglene gradert og sortert til "Stor" størrelse. Deretter ble sneglene "klatret"; sneglene ble lagt i tanker med vertikale plater fylt med sjøvann, hvor døde snegler ble liggende på bunnen av karet og levende snegler klatret oppover platene. Døde snegler ble kastet. Levende snegler ble oppbevart i tankene frem til de ble pakket i en isoporeske med kjøleelement og sendt med båt til SINTEF SeaLab hvor de ble oppbevart frem til forsøksstart.

2.2 Dyrkingsforsøk

Innledende forsøk

I prosjektets oppstartsmøte ble det diskutert hvilke fôr det var aktuelt å bruke i forsøket, og det ble enighet om å gjennomføre en pretest for å se om sneglene aksepterte de fôrtypene som var foreslått. Tre forskjellige typer mikroalgeprodukter fra Reed Mariculture (Instant Algae[®]; Rotifer Diet[®], Shellfish Diet[®] 1800 og Isochrysis 1800), et spesialfôr utviklet for kråkeboller av Nofima AS, samt grønnsalgen havsalat (*Ulva lactuca*) var de foreslåtte fôrtypene som inngikk i pretesten. Pretesten ble gjennomført i glasstanker (1 L) med vanngjennomstrømning og 10 snegler per tank. Sneglene ble fôret *ad libitum* med 4 ulike fôr over en periode på 3 dager, hvorpå antall fekalie-pellets som ble produsert under testen ble registrert og sammenlignet med en kontrollgruppe som ikke ble fôret (Fig. 2). Etter pretesten ble det bestemt at tarmgrønske (*Ulva intestinalis*) skulle brukes som fôr i hovedforsøket, fordi *L. littorea* ofte var observert beitende på denne arten i forbindelse med plukking og den er lett å høste i store kvanta fra naturlige bestander (pers. med. Statsnail).



Figur 2 Resultater fra pretesten som ble gjennomført for å undersøke akseptabilitet av ulike fôrtyper hos *L. littorea*, evaluert ved å registrere antall fekalier produsert snegle⁻¹ dag⁻¹ over en periode på 3 dager. Testen viste at alle fôrtypene som ble brukt førte til økt fekalieproduksjon sammenliknet med kontrollgruppen som ikke ble fôret. Rotifer Diet[®], Shellfish Diet 1800[®] og Isochrysis 1800[®] ble kjøpt fra Reed Mariculture (USA), kråkebollelær ble produsert av Nofima og havsalat ble høstet fra naturlige bestander langs Trøndelagskysten.

På bakgrunn av resultatene i pretesten ble følgende fôringsregimer for forsøket bestemt;

1. Havsalat (*U. lactuca*)
2. Shellfish Diet 1800[®] (Reed Mariculture, USA)
3. Kråkebollelær (Nofima sea urchin feed)
4. Tarmgrønske (*U. intestinalis*)
5. Negativ kontroll (Ingen fôring)

Levendelagring og påvekstforsøk

Forsøket ble gjennomført i et resirkuleringsanlegg (Aquatic Habitats X-Hab system, Pentair, USA) utstyrt med biologisk og mekanisk filter, samt reguleringsmuligheter for vannutskiftning, temperatur, pH og salinitet. Forsøket ble gjennomført i 16-L tanker i triplikater for hver behandling. Det ble brukt samme fotoperiode som den naturlige fotoperioden på tidspunktet sneglene og grønnalgene ble høstet (16 timer lys:8 timer mørke), og dette ble regulert gjennom takbelysningen. I tillegg ble det satt opp ekstra lyskilder (3000 K, 13 W) over tankene hvor det ble dyrket *U. lactuca* og *U. intestinalis* som ble dimmet til en lysintensitet på $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ på vannoverflaten og innstilt på samme fotoperiode som rombelysningen. Vanngjennomstrømningsraten ble satt til 100 % av karvolumet time^{-1} , og temperaturen ble satt til 16 °C. Saliniteten ble regulert (34 ppt salinitet) og overvåket kontinuerlig, og eventuell fordampning ble kompensert for med ≤ 5 % ferskvannsinnblanding dag^{-1} . Oksygennivået i tankene ble målt to ganger i uken med en håndholdt, optisk multiparametermåler (ProDSS, YSI).

2.2.1 Levendelagring og påvekst av *L. littorea*

På samme dag som forsøket startet ble snegler tatt ut av isoporboksen, tørket rene for skitt og vann og lagt på tørkepapir. Deretter ble sneglene veid inn på en vekt (Precision balances, VWR) og den samlede våtvekten for sneglene ($n=30$) i hvert replikat ble notert. I tillegg ble 5 av individene i hvert replikat individuelt merket ved å påføre en dråpe neglelakk med ulike farger på skallet til sneglene (Fig. 3). Deretter ble våtvekt registrert og skall-høyde og skall-lengde ble målt med bruk av et digitalt skyvelære (Fig. 4). Etter alle måleparametere var registrert ble sneglene ble overført til forsøksriggen og føret samme dag. Alle behandlinger ble føret med 15 % av den opprinnelige sneglebiomassen (våtvekt) to ganger i uken i henhold til Tabell 1. Forsøket varte i til sammen 54 dager. Alle kar ble inspisert daglig under forsøksperioden, og døde snegler ble fjernet fra karet så raskt de ble oppdaget. Før hver føring ble fôrrester og fekalier fjernet før det ble tilsatt nytt fôr. Etter avslutning ble sneglene tatt ut av karet, tørket med papir og veid på samme måte som ved innveining. Samlet biomasse for hele tanken, samt skall-høyde, skall-lengde og våtvekt på merkede enkeltindivider ble registrert.



Figur 3 En av forsøktankene (16 L) fra påvekstforsøket fylt med snegler ($n=30$). På bildet ses to av de fem sneglene som ble merket individuelt med neglelakk (rosa nede til venstre og turkis oppe til høyre).

Tabell 1 Oversikt over samlet vekt av *L. littorea* i replikater (gjennomsnitt±standardavvik) og planlagt mengde fôr som skulle tilsettes per uke (15% av sneglebiomassen (våtvekt) uke⁻¹) for de ulike behandlingene i forsøket.

Behandling	Biomasse snegler (g, våtvekt)	Fôr tilsatt uke ⁻¹ (g, våtvekt)
1. Havsalat (<i>Ulva lactuca</i>)	139,37 ± 2,53	21
2. Shellfish Diet 1800®	146,69 ± 6,31	28
3. Nofima sea urchin feed	141,86 ± 5,24	3
4. Tarmgrønske (<i>Ulva intestinalis</i>)	141,33 ± 9,73	21
5. Negativ kontroll (ingen fôring)	147,49 ± 7,01	0



Figur 4 Demonstrasjonsbilder av hvordan måling av skall-høyde (til venstre) og skall-lengde (til høyre) ble gjennomført.

2.2.2 Dyrking av *Ulva* spp. i RAS

Vekstforsøket med begge arter grønnalger som ble brukt i forsøket ble utført i samme resirkuleringsanlegg og under samme miljøbetingelser som beskrevet i 2.2 *Levendelagring og påvekstforsøk*.

Ulva lactuca

U. lactuca (pop.vit. havsalat) ble hentet fra gjennomstrømningskar (Fig. 5) og tørket over med papir. Algene ble sjekket for at de var frie for begroing og annet rusk, og at de var intakte (uten rifter eller hull). Disker (n=15) på 35 mm i diameter ble skåret ut fra forskjellige havsalatindivider og fordelt i 3 kar (n=5 per kar). Diskene ble veid inn på en vekt (Precision balances, VWR) før de ble lagt i karene. Havsalat-diskene fløt fritt rundt i karene, og ble holdt i suspensjon av lufting tilsatt gjennom luftesteiner i bunnen av karet samt vanngjennomstrømningen (100 % vannutskifting dag⁻¹, Fig. 5). Ukentlig, over en periode på totalt 7 uker, ble diskene tatt ut av karene og tørket godt av med tørkepapir før de ble målt og veid.

Ulva intestinalis

For *U. intestinalis* (pop.vit. tarmgrønske) ble en håndfull alger tatt ut av gjennomstrømningstanken, klemte frie for vann i hånden og overført til et tørkepapir, hvor den ble tørket ytterligere før veiing. Deretter ble tørket tarmgrønske veid og tilført karene. Også her ble det besluttet at tarmgrønsken skulle flyte fritt i karene. Ukentlig ble hele volumet av tarmgrønske tatt ut ved hjelp av en finmasket akvariehåv, presset og tørket fri for vann med kjøkkenpapir og veid.



Figur 5 Havsalat (*U. lactuca*) i gjennomstrømningstank brukt for oppbevaring før og under forsøksperioden (venstre), samt disker (n=5) i forsøktank (høyre) brukt for å evaluere vekstpotensialet til grønnalgen i RAS i kombinasjon med levendelagring og påvekst av vanlig strandsnegl (*L. littorea*).

2.3 Biokjemiske analyser

Ved forsøksavslutning ble snegler (n=7-10) og fôr fra alle behandlinger vasket rene for sjøvann, overført til fryseposer, veid (våtvekt, VV) og lagt i en fryser (-80 °C). Før de biokjemiske analysene ble frosne snegler lagt på et plastunderlag og skallet ble knust med en hammer. Innmaten ble separert fra sneglehuset med bruk av pinsett, og sneglene ble deretter overført til prøverør (50 mL) med nitrogenatmosfære. Fôrsubstratene ble lagret på samme måte. Våtvekt av snegler og fôr ble registrert, prøvene ble deretter frysetørket og tørrvekt ble registrert. Totalt fett og fettsyresammensetning ble analysert i henhold til Bligh & Dyer (1959). Partikulært organisk karbon (POC) og nitrogen (PN) ble analysert med en CN Elemental Analyser. Proteininnhold i snegler og fôr ble kalkulert ved å gange nitrogeninnholdet med 6,25 i henhold til Jones (1931).

2.4 Smakstesting

På siste dag av forsøket etter sluttsampling ble snegler (n=20) fra hvert replikat samlet i merkede nettingposer og lagt i en isopor-boks i et kjøleskap (2-3 °C). Sneglene ble hentet av Statsnail AS dagen etter hvorpå det ble gjennomført smakstesting av sneglene. To snegler fra hver pose, samt to nyplukkede snegler, ble kokt (90 sekunder) i rensed sjøvann fra 50m dyp fra anlegget i Steinvikbukta. Sneglene ble deretter pirket ut av skallet og spist. De nyplukkete sneglene ble spist først som referanse og smaken på de dyrkede sneglene ble vurdert opp mot disse. Målet med smakstesting var å se om dyrkingsperioden (54 dager) på ulike fôrkilder påvirket smaken på sneglene negativt.

3 Resultater og diskusjon

3.1 Levendelagring og påvekst av *L. littorea*

Fôring

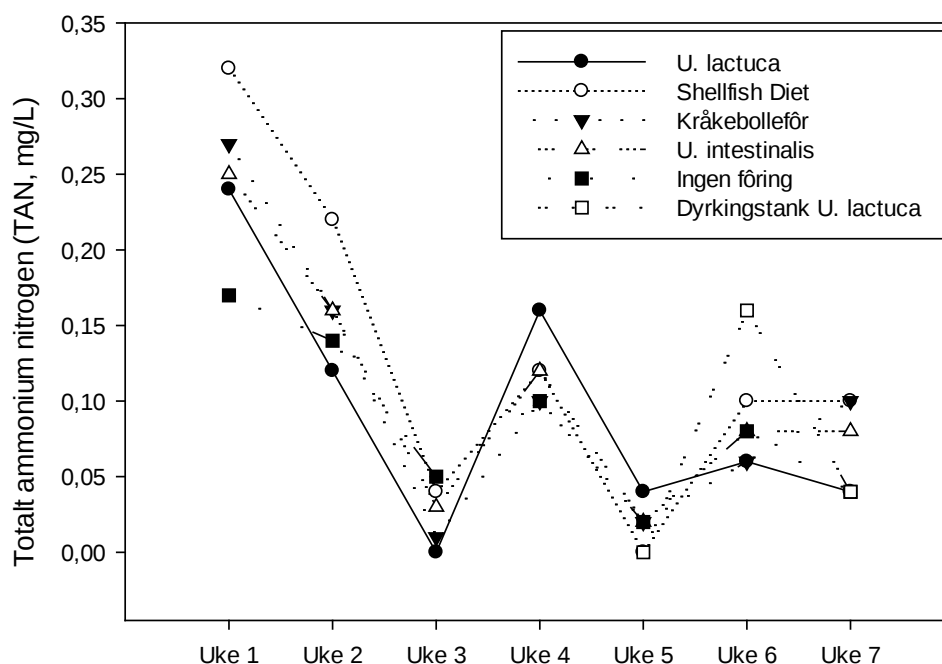
Det overordnede målet med fôringsstrategien var å unngå at sneglenes vekst ble fôrbegrenset. Fôringen ble stort sett gjennomført i henhold til Tabell 1. Unntaket var om det ble observert at det var tomt for fôr i karet, hvor det da ble tilsatt en ekstra fôring i alle replikatene, og visa versa om det var mye fôr igjen i karet ble det ikke fôret mer. Kråkebollefôret veide i gjennomsnitt 1,46 g pellet⁻¹, hvilket innebar at det skulle blitt fôret ~2 pellets tank⁻¹ uke⁻¹. Siden disse pelletene hadde langt mindre overflate for sneglene å beite på sammenliknet med *Ulva* spp. behandlingene, ble det besluttet å fôre 5 pellets uke⁻¹ for å gi alle sneglene mulighet til å beite samtidig. Fekalier, fôrrester og fôr som hadde ligget lenge i tanken ble fjernet før tilsetning av nytt fôr. Mengde fôr brukt under hele forsøket er oppsummert i Tabell 2.

Tabell 2 Antall gram fôr brukt tank⁻¹ totalt i løpet av forsøksperioden (54 dager) for de ulike fôringsregimene.

Behandling	Vanninnhold i fôr	Totalt mengde fôr tilsatt per tank i forsøket (g)	
	Vanninnhold (%)	Våtvekt (VV)	Tørrvekt (TV)
1. Havsalat (<i>Ulva lactuca</i>)	90,1	113	11
2. Shellfish Diet 1800®	86,5	338	45,7
3. Nofima sea urchin feed	5,2	51	48,3
4. Tarmgrønnske (<i>Ulva intestinalis</i>)	93,9	205	12,5

Vannkvalitet

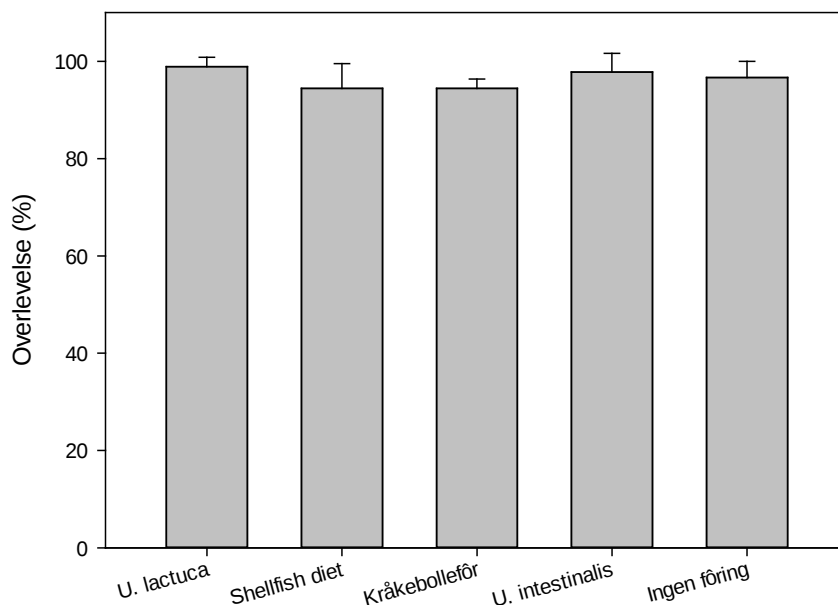
Vannkvalitetsparametere ble regulert automatisk rundt settpunkter (cf. 2.2) og det ble ikke funnet noen avvik ved kontrollmålinger gjort med et håndholdt multiparameterinstrument (YSI ProDSS) for de fysiokjemiske vannkvalitetsparametere. Totalt ammonium nitrogen (TAN, mg/L) i karene ble målt ukentlig gjennom hele forsøksperioden med et HACH spektrofotometer og resultatet er vist i Figur 6. Totalt ammonium nitrogen eksisterer enten som ikke-ionisert ammoniakk (NH₃) eller ionisert ammoniakk (NH₄⁺) i vann, hvorav NH₃ er den giftigste komponenten (Chiam and Sarbatly 2011). Forholdet mellom de to påvirkes av vannmiljøparametere som pH, temperatur, oksygenmetning og salinitet. TAN-verdiene var gjennomgående svært lave i løpet av forsøksperioden, hvilket indikerer at biofilteret fungerte som forventet og at ammoniakk utskilt fra sneglene effektivt ble konvertert til nitritt (NO₂⁻) og nitrat (NO₃⁻). Siden nitratnivå ikke ble målt i forsøket, er det ikke mulig å si noe om grønnalgenes vekst i forsøket var nitrogenbegrenset.



Figur 6 Totalt ammonium nitrogen (TAN, mg/L) i karene for de ulike behandlingene, vist for ukentlige målinger i løpet av forsøksperioden (54 dager).

Overlevelse

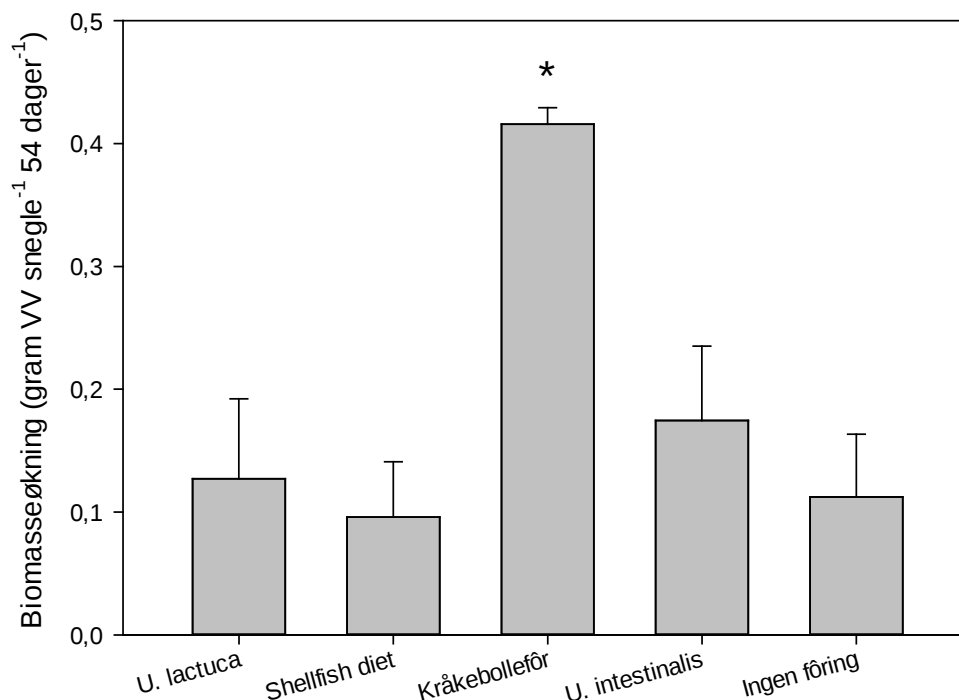
Det ble ikke observert noen forskjeller i sneglenes overlevelse mellom de ulike fôringsregimene (Figur 7). Det ble i gjennomsnitt funnet mellom 0,3 og 1,67 døde snegler totalt per behandling (triplikater) i løpet av hele forsøksperioden, men det var ingen signifikante forskjeller i overlevelse mellom behandlinger ($p=0,452$; ANOVA,).



Figur 7 Overlevelse (%) for *L. littorea* fôret i 54 dager på ulike fôringsregimer vist som gjennomsnitt $\pm$ standardavvik for replikater.

Vekst – Samlet biomasse per tank

Den totale sneglebiomassen (g, VV) ved forsøksoppstart ble delt på antall snegler ($n=30$) for å finne gjennomsnittsvekt på sneglene i hver tank. Etter 54 dager ble sneglebiomassen veid på nytt og delt på antall gjenværende snegler karet ($n=27-30$). Gjennomsnittsvekten per snegle etter 54 dager med dyrking i RAS økte i alle behandlinger, inkludert de som ikke ble fôret (Fig. 8). Snegler fôret med kråkebollefôr viste signifikant høyere vekst (VV) enn de øvrige behandlingene ($p>0,05$; ANOVA etterfulgt av Holm-Sidak *post-hoc* test), og det ble ikke funnet noen forskjeller mellom de øvrige behandlingene. Grunnet variasjonen i sneglenes vekt ved oppstart vil replikater med dødelighet ha større usikkerhet knyttet til vektøkning siden det ikke var mulig å estimere vekt på de døde sneglene som ble røktet ut at karet. Dette må derfor hensyntas for vurdering av vektøkning, og ses i sammenheng med resultater oppnådd for målinger på individuelt merkede snegler.

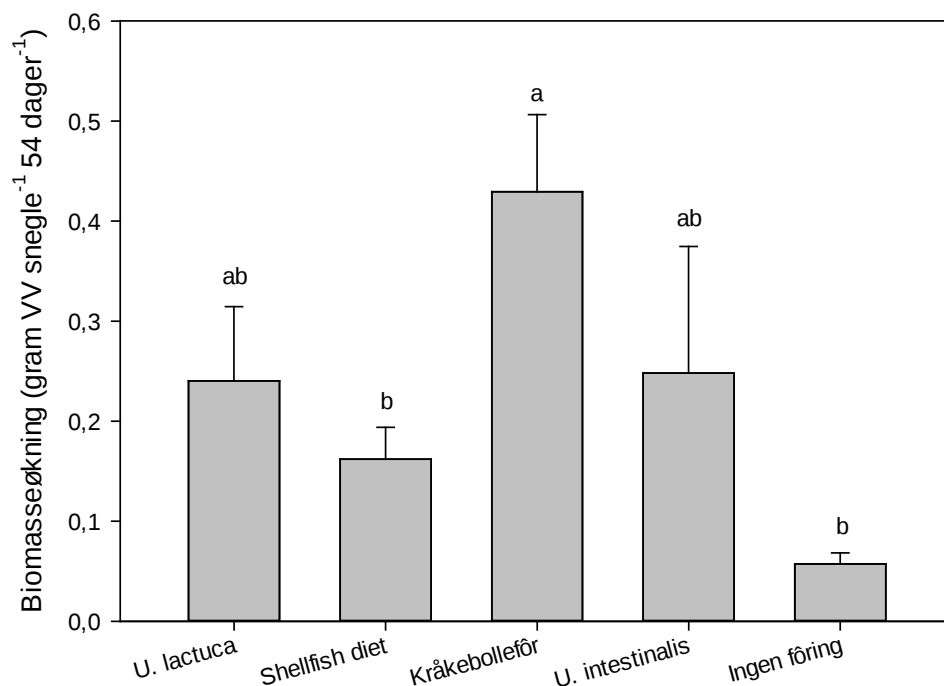


Figur 8 Gjennomsnittlig vektøkning (total vektøkning (g VV)/antall snegler) for snegler fôret med ulike fôrtyper etter en dyrkingsperiode på 54 dager i RAS, vist som gjennomsnitt $\pm$ standardavvik for triplikater. *viser signifikante forskjeller

Vekst – Individuelt merkede snegler

De fem individuelt merkede individene i hvert replikat ble veid og målt før og etter forsøket, og vekstdata er vist i Figur 9. Resultatene viser at *L. littorea* hadde positiv vekst i samtlige behandlinger, inkludert sneglene som ikke ble fôret under forsøksperioden. Dette tyder på at sultede snegler trolig beitet på naturlig forekommende biofilm eller liknende i tanken under forsøket. Snegler fôret på kråkebollefôr viste signifikant høyere vekst sammenliknet med snegler som ikke ble fôret og snegler fôret på Shellfish Diet ($p < 0,05$; ANOVA etterfulgt av Holm-Sidak *post hoc*), men det ble ikke funnet signifikante forskjeller i vektøkning mellom snegler fôret på kråkebollefôr og *Ulva* spp. Vektøkningen funnet på individnivå samsvarer med målinger gjort for hele sneglebiomassen. Basert på disse resultatene kan det antas at man ved å fôre *L. littorea* gradert til størrelse "Stor" på *U. lactuca*, *U. intestinalis* og kråkebollefôr kan oppnå en relativ vekstrate på mellom 0,13 og 0,18 % VV dag⁻¹.

Cashmore & Burton (1998) fant en vektøkning på 0,7 – 0,9 g VV 28 dager⁻¹ for *L. littorea* fôret på *U. lactuca*, hvilket er 3-4 ganger høyere enn den høyeste vekstraten funnet i dette studiet. Den mest åpenbare forskjellen mellom disse studiene er at det i dette forsøket ble benyttet snegler gradert som "Stor", i motsetning til Cashmore & Burton hvor 98 % av sneglene var gradert som "undersized" og "small". Siden mindre individer normalt vil ha høyere vekstrater enn store (Cashmore and Burton 1998) er ikke disse resultatene direkte sammenliknbare.

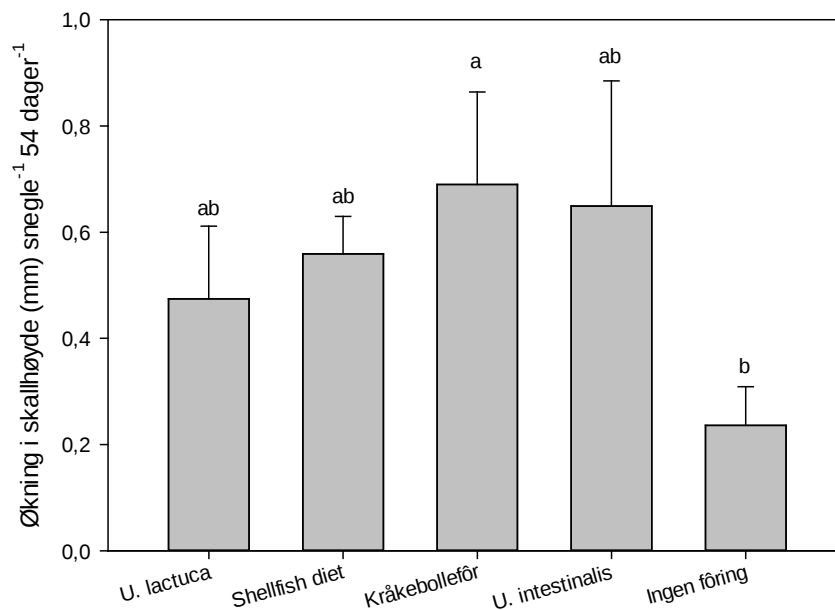


Figur 9 Biomasseøkning (g VV) for individuelt merkede snegler (n=5) fôret på ulike fôrkilder i en periode på 54 dager i RAS, vist som gjennomsnitt $\pm$ standardavvik for triplikater. Forskjellige bokstaver viser signifikante forskjeller ($p < 0,05$; ANOVA)

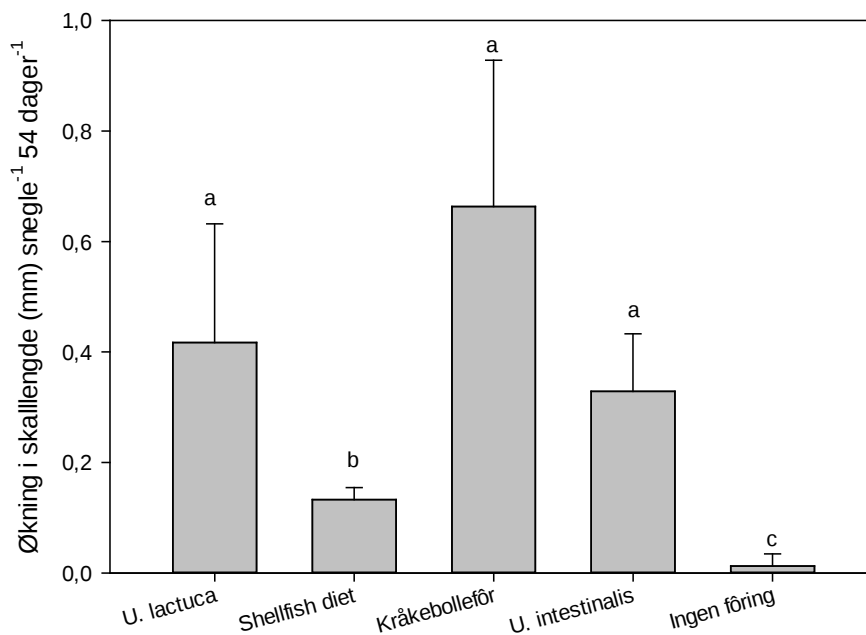
Skallhøyde er det målet som brukes for gradering av snegler, og er derfor den eneste parameteren av betydning hvis man skal løfte sneglene opp en gradering for å oppnå høyere kilopris. Skallhøyden på sneglene brukt i dette forsøket varierte i mellom 13,28 og 16,80 mm ved forsøksoppstart, med en gjennomsnittshøyde på $14,52 \pm 0,83$ mm. Normal sett ville dette betydd at sneglene skulle tilhørt "SuperJumbo"-gradering, til tross for at de ble gradert til "Stor" før oppstart. Årsaken til dette er at graderingsutstyret som brukes kommersielt vil sortere etter *minste høyde* på sneglehuset, hvorav målemetoden som ble brukt i dette forsøket målte absolutt skallhøyde. Dermed er det vanskelig å si hvordan økningen i skallhøyde reelt sett ville slått ut i kommersiell gradering.

Skallhøyden til *L. littorea* økte i løpet av forsøksperioden for alle behandlinger (Fig. 10), men det var kun snegler fôret med kråkebollefôr som viste en signifikant økning i skallhøyde sammenliknet med behandlingen som ikke ble fôret (ANOVA, $p = 0.042$ Holm-Sidak *post hoc* test). For alle behandlingene hvor *L. littorea* ble fôret, ble det funnet en gjennomsnittlig økning i skallhøyde på mellom 0,47 og 0,69 mm 54 dager⁻¹. Gitt at høsting av *L. littorea* normalt foregår i perioden juni-juli, og at tiden hvor etterspørsel og pris for snegler er høyest er i november, indikerer resultatene oppnådd i dette prosjektet (ved ekstrapolering) at det er mulig å øke skallhøyden til strandsnegl gradert "Stor" med 1,3 – 1,9 mm i løpet av 5 måneder.

Med hensyn til økning i skall-lengde (Fig. 11) ble det funnet signifikante forskjeller for *L. littorea* fôret med kråkebollefôr og *Ulva* spp. sammenliknet med snegler fôret med Shellfish Diet ($p < 0,05$; Student-Newman-Keuls-Method). Snegler som ikke ble fôret under forsøksperioden viste signifikant mindre økning i skall-lengde enn samtlige andre behandlinger.



Figur 10 Økning i skallhøyde (mm) for individuelt merkede snegler (n=5) fôret på ulike fôrkilder i en periode på 54 dager i RAS, vist som gjennomsnitt ± standardavvik for triplikater. Forskjellige bokstaver viser signifikante forskjeller ($p < 0,05$; ANOVA)



Figur 11 Økning i skallhøyde (mm) for individuelt merkede snegler (n=5) fôret på ulike fôrkilder i en periode på 54 dager i RAS, vist som gjennomsnitt ± standardavvik for triplikater. Forskjellige bokstaver viser signifikante forskjeller ($p < 0,05$; ANOVA)

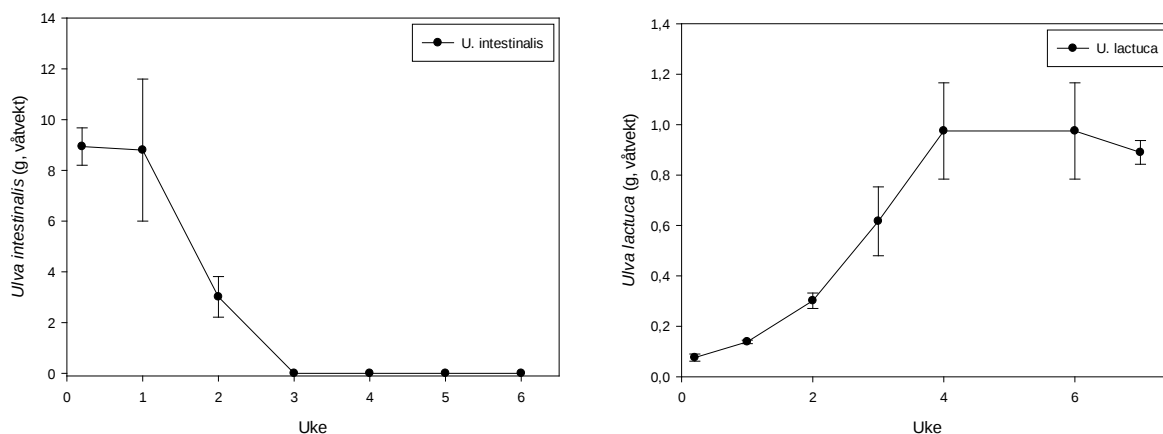
3.2 Dyrking av *Ulva spp.* i RAS

Mens *U. lactuca* vokste bra i RAS, fungerte det mindre bra for *U. intestinalis*. Figur 12 viser vekstkurver for de to grønnalgene, vist som gram (VV) økning per uke (gjennomsnitt $\pm$ standardavvik for triplikater). *U. intestinalis* viste negativ vekst i løpet av forsøksperioden. Det ble observert en fargeendring fra grønn til gul/brun bare etter noen uker i RAS, og etter 3 uker ble dyrkingsforsøket avsluttet. For *U. lactuca* ble det registrert god vekst for mange diskene, men også her var det enkelte diskene som på et tidlig tidspunkt viste tegn til mekaniske skader og lav vekst.

Grønnalgene i forsøket ble tillatt å flyte fritt i karene, men dette fungerte ikke optimalt for *U. lactuca*. Man observerte blant annet at en del av diskene hang fast i luftestainer, lufteslanger, overløpssiler og utløpssiler, hvilket i enkelte tilfeller førte til at de ble ødelagt. Dette var spesielt fremtredende de første ukene før diskene hadde rukket vokse til en viss størrelse. De diskene som unngikk skader vokste derimot godt (se bilder i Fig. 13). I naturlige omgivelser kan *thallus* (bladet) hos *U. lactuca* vokse seg opptil 1 meter i lengde, men på grunn av at arten er skjør vil så store individer ofte rives i stykker av strømmen, og mindre individer (<30 cm bladlengde) er derfor vanligere (Breure 2014). Men, i næringsrike havområder er frittflytende *thalli* av *U. lactuca* faktisk det mest vanlige å finne (Malta et al. 1999). Basert på disse observasjonene, er det ingen grunn til å anta at arten ikke skal kunne dyrkes fritt flytende vegetativt i RAS, hvilket ble bekreftet i dette forsøket. Det må likevel tilrettelegges for bedre vekstvilkår for havsalaten ved å benytte dyrkingstanker som er bedre egnet til formålet. En bedre egnet dyrkingsenhet til formålet ville vært en sylindrerformet tank med høy vannsøyle og lufting i bunnen uten hindringer i vannsøylen som algene kan feste seg i.

U. lactuca reproducerer naturlig om vinteren eller tidlig på våren, og sporulering kan observeres ved en fargeforandring og nedbrytning av kantene på *thallus* (Breure 2014). Dette kunne vært en årsak til degenerering av diskene, men avkreftes for dette forsøket da det ikke ble observert sporulering i forsøket, og forsøksperioden var heller ikke lagt til perioder hvor plantene ville produsert naturlig. Det var store vekstforskjeller mellom diskene som vist i Figur 13, hvor opprinnelig størrelse, samt størrelse etter 7 uker i RAS er vist. Vekstrater for diskene som overlevde hele forsøksperioden, gitt som % vektøkning VV, er vist i Figur 14. I gjennomsnitt ble det funnet et relativ vekstrate (RGR) på $0,042 \pm 0,010 \text{ dag}^{-1}$ (gjennomsnitt $\pm$ standardavvik, $n=6$) for havsalaten i dette forsøket, som er lavere enn vist i Pedersen et al (2010) og Pedersen & Borum (1997) som fant relative vekstrater på henholdsvis $0,196 \text{ d}^{-1}$ og $0,513 \text{ d}^{-1}$. Ved sammenlikning kan dette tyde på at veksten har vært N-begrenset (Pedersen and Borum 1996). For å effektivisere dyrkingen av *U. lactuca* i RAS kombinert med snegleproduksjon, anses det som fornuftig å designe systemet slik at vann fra snegletanker passerer algedyrkingstanken før det går til biofilteret. Flere andre studier undersøkt dyrkingspotensialet av *U. lactuca* i RAS og funnet vekstrater mellom 15-30 % dag^{-1} , så potensialet for biomasseproduksjon i slike systemer anses som lovende (Frost-Christensen and Sand-Jensen 1990, Geertz-Hansen and Sand-Jensen 1992, Neori et al. 2003, Msuya and Neori 2010).

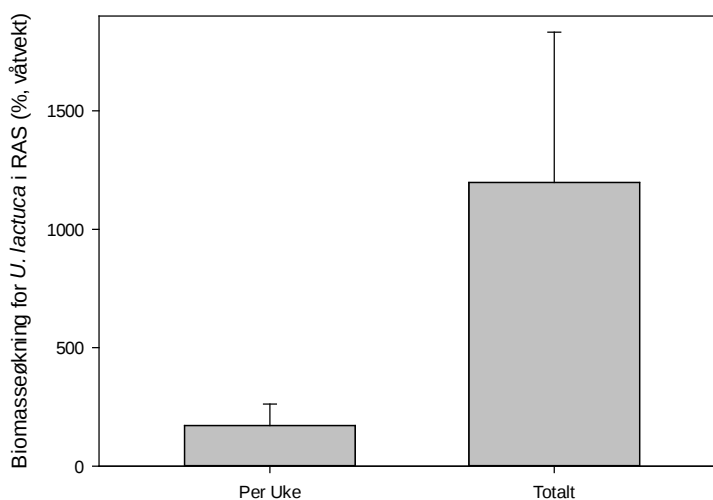
For *U. intestinalis* ble mye av biomassen degenert relativt raskt, og det var nærmest umulig å samle all biomassen for veiing. Det finnes eksempler på at vekstraten til *U. intestinalis* går ned ved høyere næringsinnhold i vannet (Balina et al. 2017), men siden det ikke ble målt næringsinnhold utover totalt ammonium nitrogen (TAN), som for øvrig viste lave verdier forsøket gjennom, er det ikke mulig å konkludere på om det var nitrogen eller fosfor som forårsaket dårlig vekst. Det er derimot mindre trolig at det var nitrogenmangel på noe tidspunkt i forsøket, fordi grønnfargen på havsalat skal bli mer intens jo bedre nitrogentilgang algen har (Robertson-Andersson et al. 2009). Havsalaten som ble dyrket i dette forsøket var sterkt grønnfarget gjennom hele forsøksperioden (Fig. 13). Derimot antas utformingen av dyrkningskarene, som ikke var designet med hensyn til algedyrking, å ha påvirket *U. intestinalis'* vekst negativt.



Figur 12 Vekstkurver for *Ulva intestinalis* (venstre) og *Ulva lactuca* (høyre) i løpet av forsøksperioden på 54 dager med vegetativ dyrking i RAS, vist som biomasseøkning (gram VV) per uke (gjennomsnitt $\pm$ standardavvik for triplikater).



Figur 13 Til venstre: opprinnelig størrelse (merket "initial size") på havsalatdisker brukt i forsøket sved siden av to diskene etter 7 uker dyrking i RAS. Disken i midten viser sunn vekst, mens disken til høyre er degenerert. Til høyre: Bilder av tilfeldige diskene etter dyrkingsforsøket i RAS som viser variasjon i vekstmønster.

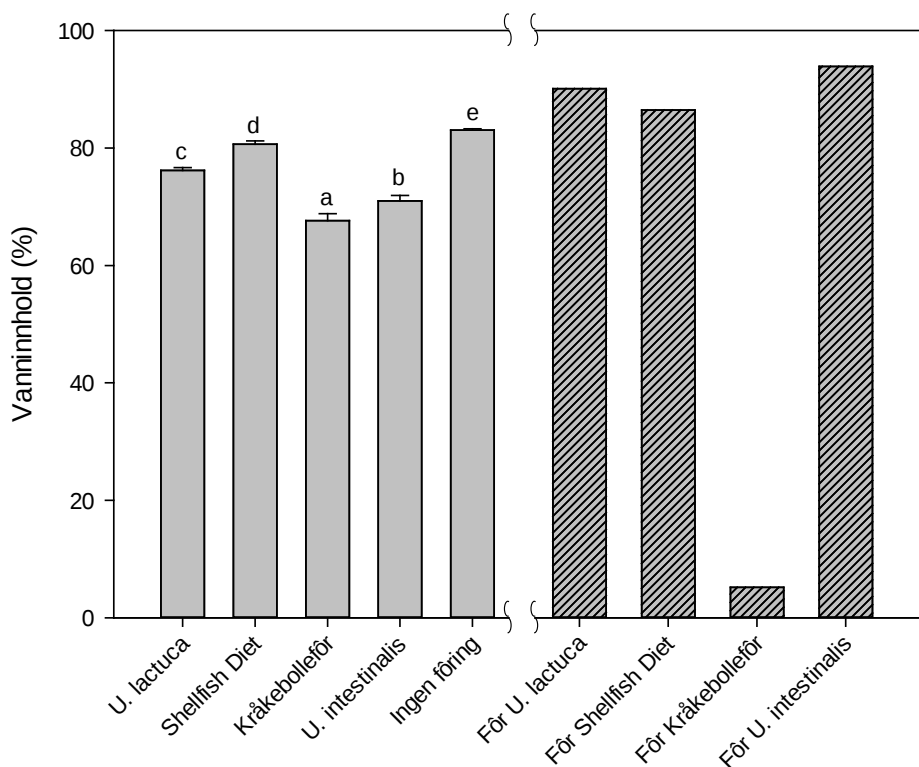


Figur 14 Biomasseøkning for individuelle diskene ($n=6$) av *U. lactuca*, vist som prosent vekst per uke og for hele forsøksperioden på 54 dager (totalt) med dyrking i RAS (gjennomsnitt $\pm$ standardavvik).

3.3 Biokjemiske analyser

Vanninnhold

Vanninnhold i *L. littorea*, og i fôret som ble brukt i forsøket, ble målt (Figur 15). Det ble funnet signifikante forskjeller i vanninnhold i sneglene mellom samtlige behandlinger ($p < 0,003$; ANOVA etterfulgt av Holm-Sidak *post hoc*). Høyest vanninnhold ble funnet for snegler som ikke ble fôret i løpet av forsøksperioden, etterfulgt av snegler fôret på Shellfish Diet, *U. lactuca* og *U. intestinalis*. Snegler fôret på Kråkebollefôr hadde lavest vanninnhold.



Figur 15 Vanninnhold i *L. littorea* fôret på forskjellig fôr (til venstre for linjebrudd) og i fôret (skraverte søyler til høyre for linjebrudd), vist som gjennomsnitt $\pm$ standardavvik for triplikater. Forskjellige bokstaver viser signifikante forskjeller ($p < 0,05$; ANOVA)

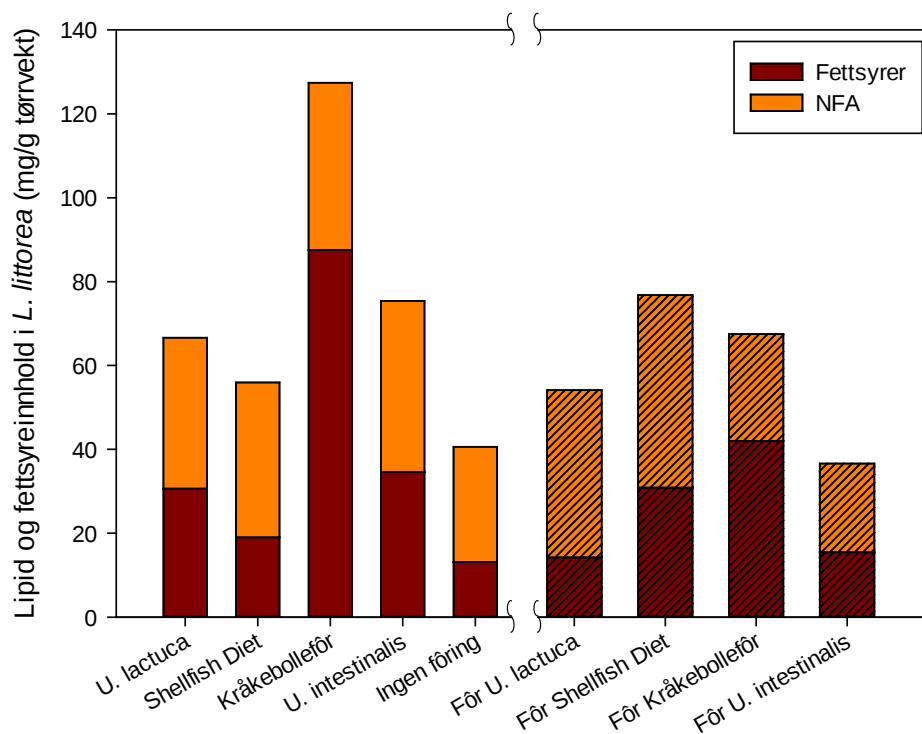
Totalfett og fettsyresammensetning

Totalfett og fettsyresammensetning i strandsnegler og fôr ble analysert. Med hensyn til totalfett var fettinnholdet i *L. littorea* høyest for snegler som ble fôret med Kråkebollefôr, og disse var signifikant forskjellige fra sneglene som ikke ble fôret under forsøket ($p < 0,05$; ANOVA etterfulgt av Holm-Sidak *post hoc*). Totalt fettinnhold i sneglene fôret med Kråkebollefôr ($12,7 \pm 0,8$ %) var omtrent dobbelt så høyt som i sneglene fôret på *U. lactuca* ($6,6 \pm 0,4$ %), Shellfish Diet ($5,6 \pm 1,4$ %) og *U. intestinalis* ($7,5 \pm 0,2$ %). Lipid og fettsyreinhold i snegler og i fôret som ble brukt i forsøket er vist i Figur 16.

Merk: Av totalfettet er den andelen av fett som ikke er fettsyrer, som glyserol, kolesterol og fosfolipider, betegnet med "NFA" ("non fatty acids").

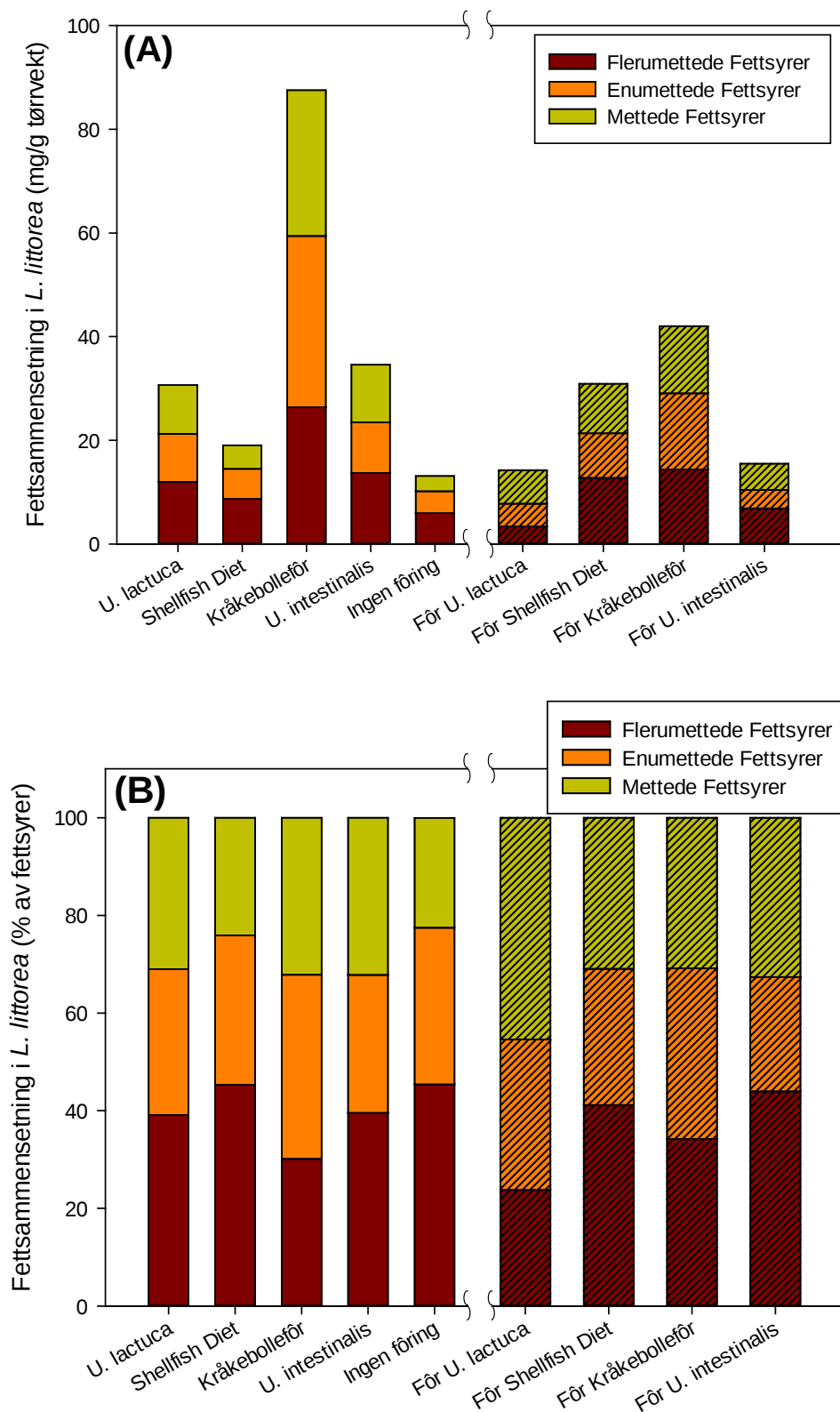
Med hensyn til fettsyreinhold hadde snegler fôret på Kråkebollefôr signifikant høyere innhold av fettsyrer sammenliknet med samtlige av de andre behandlingene ($p < 0,001$; ANOVA etterfulgt av Holm-Sidak *post hoc*). Snegler som ikke ble fôret under forsøksperioden hadde signifikant lavere fettsyreinhold enn alle de

andre behandlingene, med unntak av sneglene som ble fôret på Shellfish Diet ($p=0,310$; ANOVA etterfulgt av Holm-Sidak *post hoc*).



Figur 16 Totalfett og fettsyreinnhold (mg/g tørrvekt) for *L. littorea* etter fôring på ulike fôr over en periode på 54 dager i RAS (til venstre for linjebrudd) og i fôret som ble brukt i forsøket (skraverte søyler til høyre for linjebrudd), vist som gjennomsnitt for triplikater.

Hovedgruppene av fettsyrer (mettede, enumettede og flerumettede fettsyrer) i *L. littorea* etter 54 dager med dyrkingsforsøk i RAS, samt i fôret som ble brukt i forsøket er vist i Figur 17. Snegler fôret på Kråkebollefôr viste langt høyere innhold av flerumettede fettsyrer ($\omega-3$ og $\omega-6$) sammenlignet med snegler i de andre fôringsregimene. En fullstendig oversikt over fettsyresammensetningen i *L. littorea* og fôret er vist i henholdsvis Tabell 3 og Tabell 4.



Figur 17 Fetsammensetning i *L. littorea* dyrket på ulike fôringsregimer over en periode på 54 dager (til venstre for linjebrudd), og fôret som ble brukt i forsøket (skraverte søyler til høyre for linjebrudd), vist som (A) absolutte verdier (mg/g tørrvekt) og (B) prosent av totale fettsyrer. Alle data er vist som gjennomsnitt av triplikater.

Tabell 3 Fettsyre (FS)-sammensetning vanlig strandsnegl (*Littorina littorea*) produsert på 5 ulike fôringsregimer etter en forsøksperiode på 54 dager, vist som gjennomsnitt ± standardavvik for triplikate behandlinger for hvert fôringsregime og oppgitt som mg fettsyrer gram⁻¹ tørrvekt (TV) og prosent av totale fettsyrer (standardavvik i parentes). SFA=Mettede fettsyrer, MUFA=Enumettede fettsyrer, PUFA=Flerumettede fettsyrer, EPA= Eicosapentaensyre, DHA= Docosahexaensyre

	<i>Ulva lactuca</i>		Shellfish Diet		Nofima sea urchin feed		<i>Ulva intestinalis</i>		Ingen fôring	
Fettsyre	mg FS g TV ⁻¹	%	mg FS g TV ⁻¹	%	mg FS g TV ⁻¹	%	mg FS g TV ⁻¹	%	mg FS g TV ⁻¹	%
C14:0	1,54 ± 0,14	5,14 ± 0,91	0,74 ± 0,22	3,90 ± 0,06	0,90 ± 0,32	1,02 ± 0,33	1,73 ± 0,26	5,00 ± 0,19	0,40 ± 0,04	3,07 ± 0,31
C14:1	0,10 ± 0,08	0,31 ± 0,19	0,01 ± 0,00	0,06 ± 0,02	0,74 ± 0,16	0,84 ± 0,12	0,16 ± 0,16	0,43 ± 0,41	0,01 ± 0,00	0,08 ± 0,01
C15:0	0,27 ± 0,04	0,88 ± 0,12	0,17 ± 0,06	0,90 ± 0,05	0,35 ± 0,02	0,40 ± 0,03	0,44 ± 0,07	1,27 ± 0,07	0,07 ± 0,00	0,51 ± 0,06
C16:0	5,35 ± 0,79	17,56 ± 0,43	2,38 ± 0,69	12,52 ± 0,36	18,61 ± 0,87	21,29 ± 0,71	6,35 ± 0,82	18,37 ± 0,41	1,29 ± 0,10	9,85 ± 0,35
C16:1 n 9	0,09 ± 0,02	0,28 ± 0,01	0,08 ± 0,03	0,38 ± 0,07	0,26 ± 0,02	0,29 ± 0,01	0,09 ± 0,01	0,26 ± 0,02	0,05 ± 0,01	0,36 ± 0,01
C16:1 n 7	0,53 ± 0,34	1,63 ± 0,78	0,85 ± 0,44	4,24 ± 1,21	4,11 ± 0,60	4,68 ± 0,34	0,72 ± 0,06	2,10 ± 0,33	0,18 ± 0,09	1,31 ± 0,57
C17:0	0,23 ± 0,03	0,76 ± 0,08	0,12 ± 0,03	0,61 ± 0,01	0,27 ± 0,02	0,31 ± 0,03	0,41 ± 0,05	1,18 ± 0,05	0,09 ± 0,00	0,68 ± 0,09
C17:1	0,31 ± 0,04	1,03 ± 0,05	0,11 ± 0,05	0,53 ± 0,14	0,16 ± 0,09	0,18 ± 0,01	0,36 ± 0,10	1,03 ± 0,18	0,06 ± 0,01	0,42 ± 0,03
C18:0	1,87 ± 0,19	6,18 ± 0,69	1,07 ± 0,14	5,81 ± 1,07	4,07 ± 0,13	4,66 ± 0,30	1,88 ± 0,13	5,47 ± 0,30	1,05 ± 0,07	8,06 ± 0,37
C18:1n11	0,22 ± 0,07	0,72 ± 0,13	0,08 ± 0,02	0,41 ± 0,04	0,76 ± 0,01	0,87 ± 0,09	0,18 ± 0,01	0,51 ± 0,05	0,04 ± 0,01	0,29 ± 0,07
C18:1n9	1,56 ± 0,42	5,05 ± 0,82	1,42 ± 0,44	7,41 ± 0,22	10,14 ± 1,29	11,55 ± 0,63	1,51 ± 0,08	4,38 ± 0,27	0,84 ± 0,11	6,38 ± 0,20
C18:1n7	1,06 ± 0,23	3,46 ± 0,26	0,34 ± 0,13	1,76 ± 0,18	2,23 ± 0,27	2,54 ± 0,12	1,34 ± 0,22	3,86 ± 0,22	0,17 ± 0,06	1,29 ± 0,34
C18:2n6	1,49 ± 0,26	4,85 ± 0,52	0,99 ± 0,31	5,16 ± 0,22	7,52 ± 0,74	8,58 ± 0,19	1,28 ± 0,03	3,73 ± 0,33	0,59 ± 0,06	4,51 ± 0,13
C18:3n6	0,07 ± 0,03	0,22 ± 0,05	0,08 ± 0,04	0,38 ± 0,13	0,06 ± 0,01	0,07 ± 0,01	0,08 ± 0,00	0,22 ± 0,02	0,01 ± 0,01	0,10 ± 0,04
C18:3n3	2,24 ± 0,42	7,30 ± 0,64	0,67 ± 0,33	3,34 ± 0,87	1,41 ± 0,23	1,61 ± 0,15	2,88 ± 0,72	8,22 ± 1,31	0,22 ± 0,05	1,67 ± 0,21
c18:4n3	0,80 ± 0,22	2,59 ± 0,26	0,84 ± 0,47	4,13 ± 1,46	1,01 ± 0,13	1,15 ± 0,08	1,47 ± 0,37	4,20 ± 0,63	0,22 ± 0,05	1,69 ± 0,21
C20:0	0,04 ± 0,00	0,12 ± 0,02	0,02 ± 0,01	0,08 ± 0,00	0,12 ± 0,00	0,14 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,10 ± 0,01	0,01 ± 0,00	0,08 ± 0,01
C20:1	3,93 ± 0,86	12,73 ± 0,76	2,02 ± 0,37	10,85 ± 1,31	12,19 ± 0,95	13,93 ± 0,04	3,96 ± 0,12	11,52 ± 1,11	1,95 ± 0,41	14,79 ± 1,73
C20:2n6	0,82 ± 0,05	2,70 ± 0,29	0,52 ± 0,06	2,85 ± 0,56	3,41 ± 0,29	3,89 ± 0,25	0,71 ± 0,04	2,06 ± 0,17	0,56 ± 0,07	4,25 ± 0,17
c20:3n6	0,16 ± 0,02	0,51 ± 0,07	0,04 ± 0,01	0,23 ± 0,02	0,45 ± 0,05	0,52 ± 0,03	0,21 ± 0,03	0,59 ± 0,03	0,04 ± 0,01	0,30 ± 0,06
C20:4n6	1,40 ± 0,13	4,60 ± 0,38	1,23 ± 0,16	6,71 ± 1,34	1,61 ± 0,05	1,85 ± 0,19	1,21 ± 0,10	3,51 ± 0,13	1,34 ± 0,20	10,34 ± 2,47
C20:3n3	0,58 ± 0,05	1,90 ± 0,18	0,20 ± 0,04	1,09 ± 0,21	0,93 ± 0,06	1,07 ± 0,06	0,64 ± 0,10	1,84 ± 0,14	0,22 ± 0,06	1,68 ± 0,33
c20:4n3	0,44 ± 0,06	1,45 ± 0,29	0,10 ± 0,04	0,50 ± 0,10	0,69 ± 0,08	0,78 ± 0,04	0,61 ± 0,17	1,74 ± 0,32	0,05 ± 0,02	0,40 ± 0,08
C20:5n3	3,07 ± 0,68	9,93 ± 0,56	2,75 ± 0,69	14,56 ± 0,70	6,01 ± 0,45	6,87 ± 0,06	3,43 ± 0,16	9,94 ± 0,64	2,25 ± 0,31	17,12 ± 0,49
C22:0	0,09 ± 0,01	0,30 ± 0,03	0,04 ± 0,01	0,20 ± 0,03	3,76 ± 0,18	4,31 ± 0,15	0,20 ± 0,07	0,60 ± 0,27	0,03 ± 0,00	0,23 ± 0,03
c22:1n11	0,90 ± 0,13	2,94 ± 0,06	0,56 ± 0,09	3,02 ± 0,48	1,68 ± 0,21	1,92 ± 0,20	0,80 ± 0,13	2,31 ± 0,16	0,61 ± 0,02	4,72 ± 0,46

C22:1n9	0,49 ± 0,21	1,56 ± 0,39	0,28 ± 0,05	1,49 ± 0,31	0,60 ± 0,03	0,69 ± 0,03	0,56 ± 0,02	1,63 ± 0,15	0,32 ± 0,11	2,39 ± 0,60
C22:2	0,06 ± 0,02	0,20 ± 0,02	0,04 ± 0,01	0,19 ± 0,03	0,15 ± 0,03	0,17 ± 0,02	0,07 ± 0,01	0,21 ± 0,01	0,04 ± 0,02	0,28 ± 0,21
C22:3	0,04 ± 0,02	0,15 ± 0,08	0,04 ± 0,01	0,21 ± 0,04	0,08 ± 0,01	0,09 ± 0,02	0,06 ± 0,00	0,17 ± 0,02	0,03 ± 0,03	0,26 ± 0,27
C22:4	0,07 ± 0,04	0,24 ± 0,14	0,28 ± 0,19	1,45 ± 0,68	0,08 ± 0,03	0,09 ± 0,03	0,07 ± 0,01	0,20 ± 0,04	0,03 ± 0,02	0,19 ± 0,21
c22:5n3	0,68 ± 0,13	2,21 ± 0,04	0,27 ± 0,05	1,47 ± 0,21	0,79 ± 0,03	0,91 ± 0,04	0,87 ± 0,14	2,50 ± 0,13	0,29 ± 0,06	2,23 ± 0,21
C24:0	0,02 ± 0,02	0,06 ± 0,05	0,02 ± 0,02	0,08 ± 0,06	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,06 ± 0,01	0,17 ± 0,03	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
C22:6n3	0,08 ± 0,03	0,26 ± 0,05	0,61 ± 0,35	2,99 ± 1,06	2,18 ± 0,26	2,49 ± 0,11	0,14 ± 0,04	0,40 ± 0,16	0,05 ± 0,01	0,34 ± 0,07
C24:1n9	0,05 ± 0,02	0,18 ± 0,11	0,10 ± 0,05	0,47 ± 0,18	0,19 ± 0,04	0,22 ± 0,05	0,08 ± 0,00	0,25 ± 0,04	0,01 ± 0,00	0,09 ± 0,02
SUM	30,63 ± 5,22	100,00	19,03 ± 5,45	100,00	87,55 ± 6,87	100,00	34,57 ± 3,76	100,00	13,10 ± 1,48	100
Σ SFA	9,41 ± 1,03	31,00 ± 1,94	4,54 ± 1,17	24,10 ± 1,13	28,11 ± 1,27	32,16 ± 1,20	11,10 ± 1,25	32,17 ± 0,35	2,94 ± 0,20	22,48 ± 1,13
Σ MUFA	9,25 ± 2,33	29,88 ± 2,59	5,82 ± 1,63	30,63 ± 0,36	33,06 ± 3,51	37,71 ± 1,14	9,76 ± 0,79	28,29 ± 1,36	4,23 ± 0,78	32,11 ± 2,66
Σ PUFA	11,98 ± 1,89	39,12 ± 0,84	8,67 ± 2,66	45,27 ± 1,18	26,38 ± 2,15	30,14 ± 0,07	13,71 ± 1,79	39,54 ± 1,08	5,94 ± 0,56	45,38 ± 2,01
Σ Omega-3	7,89 ± 1,48	25,65 ± 0,60	5,44 ± 1,94	28,09 ± 2,56	13,03 ± 1,21	14,88 ± 0,30	10,03 ± 1,60	28,85 ± 1,69	3,30 ± 0,55	25,13 ± 1,49
Σ Omega-6	3,93 ± 0,43	12,88 ± 0,84	2,87 ± 0,57	15,34 ± 1,60	13,05 ± 0,98	14,91 ± 0,25	3,49 ± 0,19	10,11 ± 0,58	2,54 ± 0,20	19,51 ± 2,60
n3/n6	2,00 ± 0,15	2,00 ± 0,16	1,85 ± 0,34	1,86 ± 0,34	1,00 ± 0,04	1,00 ± 0,04	2,86 ± 0,32	2,86 ± 0,32	1,31 ± 0,23	1,31 ± 0,23
DHA/EPA	0,03 ± 0,00	0,03 ± 0,00	0,21 ± 0,08	0,21 ± 0,08	0,36 ± 0,02	0,36 ± 0,02	0,04 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,02 ± 0,00	0,02 ± 0,00

Tabell 4 Fettsyre (FS)-sammensetning i fôret som ble brukt i forsøket, oppgitt som mg fettsyrer gram⁻¹ tørrvekt (TV) og prosent av totale fettsyrer. SFA=Mettede fettsyrer, MUFA=Enumettede fettsyrer, PUFA=Flerumettede fettsyrer, EPA= Eicosapentaensyre, DHA= Docosahexaensyre

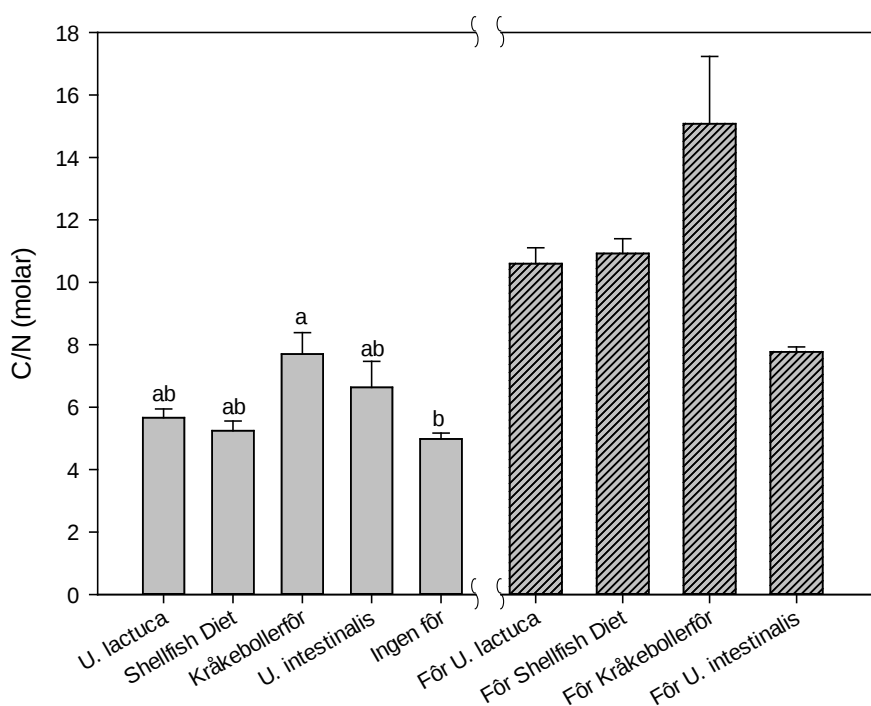
	<i>Ulva lactuca</i>		Shellfish Diet		Kråkebollefôr		<i>Ulva intestinalis</i>	
Fettsyre	mg FS g TV ⁻¹	%	mg FS g TV ⁻¹	%	mg FS g TV ⁻¹	%	mg FS g TV ⁻¹	%
C14:0	0,20	1,40	2,68	8,70	3,47	8,25	0,29	1,78
C14:1	0,14	0,98	0,22	0,71	0,13	0,30	0,08	0,49
C15:0	0,04	0,28	0,30	0,98	0,19	0,45	0,18	1,18
C16:0	6,05	42,46	5,26	17,06	8,11	19,29	4,17	27,21
C16:1n9	1,12	7,83	1,50	4,84	0,04	0,10	0,86	5,62
C16:1n7	0,17	1,19	2,66	8,60	1,90	4,52	0,20	1,29
C17:0	0,02	0,14	0,90	2,91	0,19	0,44	0,04	0,23
C17:1	0,09	0,63	0,22	0,72	0,05	0,12	0,52	3,34
C18:0	0,11	0,74	0,19	0,61	0,78	1,86	0,16	1,05
C18:1n11	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C18:1n9	0,23	1,61	2,99	9,65	4,84	11,52	0,18	1,14
C18:1n7	2,47	17,34	0,37	1,18	0,54	1,29	1,33	8,51
C18:2n6	0,71	4,98	1,49	4,82	6,47	15,39	0,44	2,81
C18:3n6	0,02	0,14	0,32	1,02	0,05	0,12	0,12	0,73
C18:3n3	1,37	9,59	1,76	5,67	0,74	1,75	2,64	16,82
c18:4n3	0,48	3,34	3,65	11,78	0,96	2,27	1,77	11,27
C20:0	0,03	0,18	0,02	0,06	0,08	0,19	0,02	0,13
C20:1	0,10	0,66	0,42	1,36	3,15	7,50	0,13	0,81
C20:2n6	0,01	0,07	0,05	0,15	0,16	0,37	0,03	0,20
c20:3n6	0,04	0,28	0,04	0,11	0,04	0,10	0,16	1,02
C20:4n6	0,00	0,00	0,11	0,34	0,25	0,58	0,24	1,53
C20:3n3	0,02	0,14	0,03	0,10	0,04	0,08	0,03	0,15
c20:4n3	0,31	2,18	0,08	0,26	0,15	0,36	0,25	1,56
C20:5n3	0,06	0,39	2,72	8,78	2,01	4,78	0,40	2,55
C22:0	0,03	0,18	0,11	0,36	0,09	0,21	0,11	0,66
c22:1n11	0,03	0,21	0,04	0,13	3,48	8,28	0,10	0,70
C22:1n9	0,02	0,10	0,03	0,08	0,25	0,59	0,10	0,68
C22:2	0,01	0,07	0,07	0,22	0,03	0,06	0,08	0,53
C22:3	0,03	0,21	0,06	0,18	0,06	0,14	0,08	0,57
C22:4	0,05	0,35	0,04	0,13	1,56	3,70	0,02	0,10
c22:5n3	0,27	1,86	0,08	0,24	0,21	0,49	0,43	2,73
C24:0	0,01	0,04	0,08	0,25	0,07	0,17	0,05	0,36
C22:6n3	0,03	0,18	2,28	7,36	1,69	4,01	0,22	1,37
C24:1n9	0,03	0,21	0,20	0,63	0,31	0,74	0,12	0,81
SUM	14,25	100,00	30,90	100,00	42,02	100,00	15,48	100,00
Σ SFA	6,47	45,41	9,54	30,92	12,97	30,86	5,01	32,62
Σ MUFA	4,39	30,82	8,63	27,91	14,69	34,95	3,60	23,42
Σ PUFA	3,39	23,77	12,73	41,16	14,37	34,20	6,87	43,96
Σ Omega-3	2,52	17,67	10,58	34,20	5,78	13,74	5,72	36,46

Σ Omega-6	0,78	5,47	1,99	6,44	6,96	16,55	0,99	6,30
n3/n6	3,22	3,23	5,31	5,31	0,83	0,83	5,80	5,78
DHA/EPA	0,45	0,45	0,84	0,84	0,84	0,84	0,54	0,54

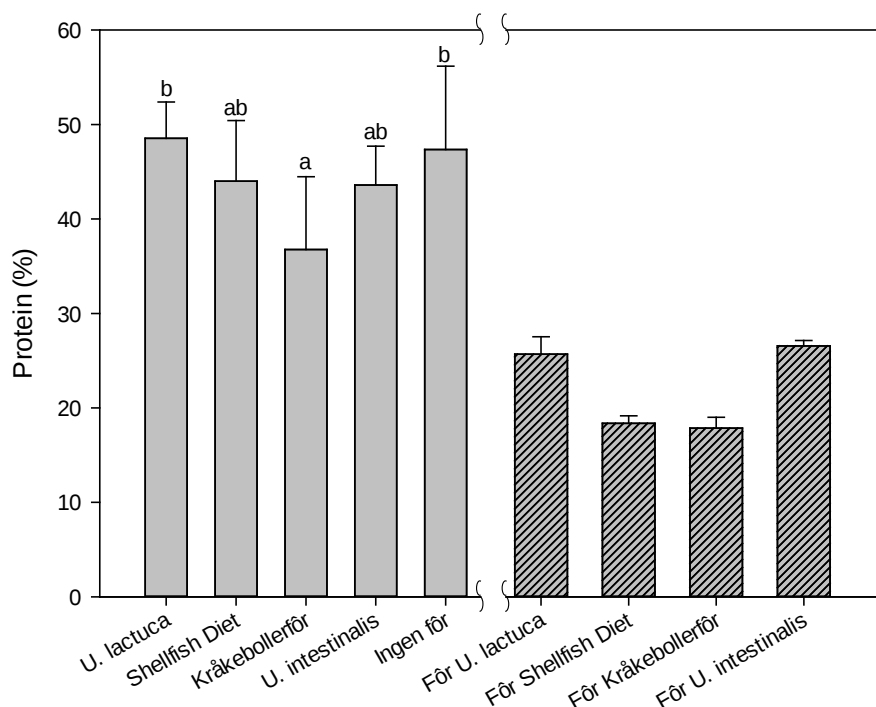
Karbon, nitrogen og proteininnhold

Forholdet mellom Karbon og Nitrogen (C/N-ratio) i *L. littorea* ble analysert og resultatene er vist i Figur 18. En høy C/N-ratio indikerer en tendens mot høyere lipidinnhold, hvorav en lav ratio betraktes som representativt for høyt proteininnhold. Snegler fôret med kråkebollefôr viste signifikant høyere C/N-ratio enn snegler som ikke ble fôret i løpet av forsøket, hvilket indikerer at de hadde høyere lipidinnhold. Dette samsvarer med lipidanalysene som viste at snegler i disse behandlingene inneholdt mer fett og hadde et lavere vanninnhold. Det ble ikke funnet noen signifikante forskjeller i molar C/N-ratio mellom de øvrige behandlingene.

Proteininnholdet i sneglene og fôret ble kalkulert i henhold til Jones (1931) og resultatet er vist i Figur 19. Det ble funnet signifikant lavere proteininnhold i snegler fôret med kråkebollefôr sammenliknet med snegler som ble fôret med *U. lactuca* og snegler som ikke ble fôret. Forskjellene henger sammen med forskjeller i lipidinnhold og viser at snegler som ble sultet trolig brukte interne lipidlagre for å opprettholde metabolismen. Det var ingen statistiske forskjeller mellom de øvrige behandlingene.



Figur 18 C/N-ratio i *L. littorea* dyrket på ulike fôringsregimer over en periode på 54 dager (til venstre for linjebrudd), og fôret som ble brukt i forsøket (skraverde søyler til høyre for linjebrudd), vist som gjennomsnitt ± standardavvik for triplikater. Forskjellige bokstaver viser signifikante forskjeller ($p < 0,05$; ANOVA)



Figur 19 Prosent protein i *L. littorea* dyrket på ulike fôringsregimer over en periode på 54 dager (til venstre for linjebrudd), og fôret som ble brukt i forsøket (skraverte søyler til høyre for linjebrudd), vist som gjennomsnitt ± standardavvik for triplikater. Forskjellige bokstaver viser signifikante forskjeller ($p < 0,05$; ANOVA)

3.4 Smakstesting

Smakspanelet bestod av to personer med lang erfaring på smaksvurdering av strandsnegler. Smakstesting ble gjennomført nøyaktig 1 uke etter at sneglene ble høstet fra forsøket og lagt til kjølelagring. Resultatene fra smakstesting er gitt i Tabell 5. Sneglene fra fôringsforsøket smakte mye det samme som referansesneglene, og det ble ikke funnet tydelige forskjeller. Panelet konkluderer med at levendelagring og påvekst av snegler med fôring på de ulike fôrkildene som ble brukt i forsøket ikke vil påvirke smaken negativt. Det ble også observert at snegler som ikke ble fôret under forsøket resulterte i en mye svakere smak enn referansesneglene, hvilket antyder at snegler bør fôres under lagringsperioden for å opprettholde smaken frem til salg ved lagring i lengre perioder.

Tabell 5 Testpanelets vurdering av smak på snegler dyrket i laboratoriet på ulike fôrkilder vurdert opp mot smak på nylig høstede snegler fra havet.*kråkebolle.

Behandling	Dommer 1	Dommer 2	Kommentar
Referansesnegler (Steinvikbukta)	X	X	
1. Havsalat (<i>Ulva lactuca</i>)	Lik smak	Ikke like gode	Delt mening i panelet
2. Shellfish Diet 1800®	Saltere *	Lik smak	Kom lettere ut av skallet
3. Nofima sea urchin *feed	Lik smak	Lik smak	
4. Tarmgrønske (<i>Ulva intestinalis</i>)	Ulik smak	Ulik smak	Smakte OK, men annerledes enn referansesneglene
5. Ingen fôring	Ulik smak	Ulik smak	Svakere smak enn referansesneglene

4 Konklusjoner og videre arbeid

Prosjektet lyktes i stor grad med å besvare delmål og forskningsspørsmål definert i prosjektbeskrivelsen. Basert på resultater oppnådd i prosjektet kan følgende konklusjoner trekkes:

- Lav dødelighet og betydelig økning i både våtvekt og skallhøyde hos *L. littorea* fôret på *Ulva* spp og kråkebollefôr viser at det er et potensial for, ikke bare levendelagring, men også for påvekst av *L. littorea* for salg utenom høstesesong (*Hovedmål*).
- Havsalat (*U. lactuca*) vokste tilfredsstillende i RAS uten ytterligere tilsetning av næringsstoffer. Forsøket viste at det er mulig å oppnå mer enn en dobling i algebiomasse uke⁻¹ (VV). Gitt at det fôres 15 % av sneglebiomassen uke⁻¹ under påvekstperioden skal det være mulig å være selvforsynt med *U. lactuca* til sneglene gitt at det samles inn tilstrekkelig mengde ved oppstart og at algene dyrkes i egnede enheter (M_1, P_1).
- *L. littorea* fôret med havsalat viste lik overlevelse og vekst sammenliknet med øvrige behandlinger unntatt kråkebollefôr (M_2, P_2).
- Snegler fôret på Shellfish Diet (kommersielt mikroalgeprodukt) viste lik overlevelse, biomasseøkning og lipidinnhold sammenliknet med snegler fôret på *Ulva* spp. Smakstesten viste delt mening i panelet om smaken ble opprettholdt med dette fôret (M_3, P_3).
- *L. littorea* fôret med kråkebollefôr viste signifikant høyere lipidinnhold og fettsyreinhold, samt lavere vanninnhold, sammenliknet med snegler fra alle andre behandlinger. I tillegg var panelet enige om at smaken på sneglene var lik som nyplukkede snegler (M_4).
- Gitt at høsting av *L. littorea* normalt foregår i perioden juni-juli og salg er mest ønskelig i november, indikerer resultatene (ved ekstrapolering) at det er mulig å øke skallhøyden til strandsnegl gradert "Stor" med 1,3 – 1,9 mm i løpet av denne perioden (5 måneder) med disse fôringsregimene (M_5). Dette åpner også opp muligheter for påvekst av undermåls snegler til kommersiell gradering.
- Med hensyn til snegler som et matprodukt, viser forsøkene at man skal være forsiktig med å sulte snegler, og at fôret i stor grad påvirket både mengden og sammensetningen av fett i sneglene. Lavere lipidinnhold kan se ut til å henge sammen med en lavere smaksintensitet (P_4).
- Med hensyn til fremtidige strategier for kommersiell anvendelse av levendelagring og påvekst av *L. littorea* for salg utenom høstesesong, har prosjektet gitt verdifull input til hvilke muligheter som foreligger. Like fullt vil lønnsomheten i et slikt konsept være avhengig av alt fra etablerings- og byggekostnader, arbeidsbyrde, skalering, ressursbruk og markedsetterspørsel og -pris. Det er derfor ikke mulig å utarbeide noen strategi på nåværende tidspunkt før disse faktorene er avklart (P_5).

5 Referanser

- Balina, K., A. Lika, F. Romagnoli, and D. Blumberga. 2017. Seaweed cultivation laboratory testing: effects of nutrients on growth rate of *Ulva intestinalis*. *Energy Procedia* 113:454-459.
- Bligh, E. G., and W. J. Dyer. 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian journal of biochemistry and physiology* 37:911-917.
- Breure, M. 2014. Exploring the potential for using seaweed (*Ulva lactuca*) as organic fertiliser. SI: sn.
- Cashmore, D., and C. A. Burton. 1998. Feasibility study on the ongrowing potential for periwinkles (*Littorina littorea* L.). *Seafish Report No. 483*.
- Chiam, C. k., and R. Sarbatly. 2011. Purification of aquacultural water: conventional and new membrane-based techniques. *Separation & Purification Reviews* 40:126-160.
- Cummins, V., S. Coughlan, O. McClean, N. Connolly, J. Mercer, and G. Burnell. 2002. An assessment of the potential for the sustainable development of the edible periwinkle, *Littorina littorea*, industry in Ireland. *Marine Institute*.
- Fjørtoft, K. L., J. E. Rønneberg, and W. Bjerkevoll. 2008. Strandsnegl - Ressurs, høsting og marked. *Møreforskning Rapport nr Å0807*.
- Frost-Christensen, H., and K. Sand-Jensen. 1990. Growth rate and carbon affinity of *Ulva lactuca* under controlled levels of carbon, pH and oxygen. *Marine Biology* 104:497-501.
- Geertz-Hansen, O., and K. Sand-Jensen. 1992. *Ulva lactuca*. *Mar. Ecol. Prog. Ser* 81:179-183.
- Jones, D. B. 1931. Factors for converting percentages of nitrogen in foods and feeds into percentages of proteins.
- Malta, E.-J., S. G. Draisma, and P. Kamermans. 1999. Free-floating *Ulva* in the southwest Netherlands: species or morphotypes? A morphological, molecular and ecological comparison. *European journal of phycology* 34:443-454.
- Msuya, F. E., and A. Neori. 2010. THE PERFORMANCE OF SPRAY-IRRIGATED *ULVA LACTUCA* (ULVOPHYCEAE, CHLOROPHYTA) AS A CROP AND AS A BIOFILTER OF FISHPOND EFFLUENTS¹. *Journal of phycology* 46:813-817.
- Neori, A., F. E. Msuya, L. Shauli, A. Schuenhoff, F. Kopel, and M. Shpigel. 2003. A novel three-stage seaweed (*Ulva lactuca*) biofilter design for integrated mariculture. *Journal of Applied Phycology* 15:543-553.
- Pedersen, M. F., and J. Borum. 1996. Nutrient control of algal growth in estuarine waters. Nutrient limitation and the importance of nitrogen requirements and nitrogen storage among phytoplankton and species of macroalgae. *Marine Ecology Progress Series* 142:261-272.
- Pedersen, M. F., and J. Borum. 1997. Nutrient control of estuarine macroalgae: growth strategy and the balance between nitrogen requirements and uptake. *Marine Ecology Progress Series* 161:155-163.
- Pedersen, M. F., J. Borum, and F. L. Fotel. 2010. Phosphorus dynamics and limitation of fast-and slow-growing temperate seaweeds in Oslofjord, Norway. *Marine Ecology Progress Series* 399:103-115.
- Robertson-Andersson, D., D. Wilson, J. J. Bolton, R. J. Anderson, and G. Maneveldt. 2009. Rapid assessment of tissue nitrogen in cultivated *Gracilaria gracilis* (Rhodophyta) and *Ulva lactuca* (Chlorophyta). *African Journal of Aquatic Science* 34:169-172.