



MOT EN NY HAVNÆRING FOR TARE?

Muligheter og utfordringer for dyrking av alger i Norge

Kjell Magnus Norderhaug (HI), Jorunn Skjermo SINTEF, Kari Kolstad NMBU, Ole Jacob Broch SINTEF, Åshild Ergon NMBU, Aleksander Handå SINTEF, Svein Jarle Horn NMBU, Erik-Jan Lock (HI) og Margareth Øverland NMBU



Tittel (norsk og engelsk):

Mot en ny havnæring for tare?

Towards a new marine industry for kelp?

Undertittel (norsk og engelsk):

Muligheter og utfordringer for dyrking av alger i Norge

Potential and challenges for culturing algae in Norway

Rapportserie:

Fisken og havet

ISSN:1894-5031

År - Nr.:

2020-5

Dato:

11.11.2020

Forfatter(e):

Kjell Magnus Norderhaug (HI), Jorunn Skjermo SINTEF, Kari Kolstad NMBU, Ole Jacob Broch SINTEF, Åshild Ergon NMBU, Aleksander Handå SINTEF, Svein Jarle Horn NMBU, Erik-Jan Lock (HI) og Margareth Øverland NMBU

Forskningsgruppeleder(e): *Frithjof Moy (Bunnsamfunn)* Godkjent av:
Forskningsdirektør(er): *Geir Lasse Taranger* Programleder(e): *Jan Atle Knutsen*

Distribusjon:

Åpen

Program:

Akvakultur

Forskningsgruppe(r):

Bunnsamfunn

Antall sider:

24

Samarbeid med

Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet



Sammendrag (norsk):

Behovet for bærekraftig produksjon av mat fra havet har aktualisert dyrking av tang og tare. Selv om potensialet for dyrking er stort i Norge er produksjonen på prøvestadiet på grunn av utfordringer knyttet til marked, produksjon, miljø og forvaltning. I denne rapporten har Havforskningsinstituttet, SINTEF og NMBU sammen undersøkt mulighetene for utvikling av en bærekraftig ny havnæring og hva som skal til for å lykkes med lønnsom produksjon av alger. Rapporten kommer også med anbefalinger i forhold til å initiere forskning og innovasjon som kan stimulere til utvikling av en lønnsom og bærekraftig taredyrkingsindustri i Norge.

Sammendrag (engelsk):

The need for sustainable production of food from our oceans has brought culturing of macroalgae on the agenda. There is a large potential for growing algae in Norwegian waters, but the industry is still in its infancy in relation to market, production, environment and management. In this report the Institute of Marine Research, SINTEF and NMBU have jointly assessed the potential for developing a sustainable new marine industry and how a profitable production of algae can succeed. The report also advice on research and innovation to stimulate development of a profitable and sustainable algae culturing industry in Norway.

Innhold

1	Bakgrunn	5
2	Mot en ny havnæring for tare?	6
3	Status for algedyrking i Norge	7
4	Naturlige forutsetninger i norske havområder	8
4.1	Åpne havområder gir nye muligheter	8
4.2	Fra små til store anlegg	9
5	Muligheter til ny verdiskapning	10
5.1	Alternative matkilder til husdyr, fisk og mennesker	10
5.2	Taredyrking som supplement til taretråling	13
5.3	Dyrking av andre algearter	15
5.4	Blått karbon – mot en klimanøytral akvakulturindustri?	16
6	Hva skal til for å realisere en ny havnæring for tare?	19
7	Eget forskningsprogram?	22
8	Vil du lese mer?	23

1 - Bakgrunn

Behovet for bærekraftig produksjon av mat fra havet, økt fokus på høsting lavt i næringskjeden og tiltak mot klimaendringer har i senere år aktualisert dyrking av tang og tare og andre makroalger. I Norge samarbeider forskningsmiljøer og industri innen dyrking, prosessering og produktutvikling for å utvikle den nødvendige kunnskapen og teknologien som behøves for å realisere potensialet i en verdikjede basert på dyrket tang og tare. Men selv om potensialet for dyrking av alger er stort i Norge er produksjonen i dag fortsatt på prøvestadiet i små anlegg, og våre markeder ligger langt bak Asia der denne industrien har sitt opphav.

For å ta steget videre i utviklingen av en bærekraftig og lønnsom algedyrkingsindustri må betydelige utfordringer knyttet til både foredling, bioraffinering, oppskalering av produksjonsanlegg og utvikling av produkter og marked løses. Det er behov for mer kunnskap om potensialet taredyrking har som klimatiltak, så vel som miljøeffekter av dyrkingsanlegg til havs. I tillegg er det både behov for tilrettelegging av forvaltningen av taredyrking.

Denne rapporten er skrevet etter felles initiativ fra Havforskningsinstituttet, SINTEF og NMBU for å undersøke mulighetene for en bærekraftig ny havnæring og hva som skal til for å lykkes med lønnsom produksjon av alger i Norge. Både muligheter og utfordringer er vurdert knyttet til marked, produksjon, miljø og forvaltning. Rapporten kommer også med anbefalinger i forhold til å initiere forskning og innovasjon som kan stimulere til utvikling av en lønnsom og bærekraftig taredyrkingsindustri i Norge.

I redaktørgruppen har Kjell Magnus Norderhaug (Havforskningsinstituttet), Jorunn Skjermo (SINTEF) og Kari Kolstad (NMBU) sittet. Øvrige forfattere har vært Åshild Ergon, Margareth Øverland og Svein Jarle Horn (NMBU), Ole Jacob Broch og Aleksander Handå (SINTEF) og Erik-Jan Lock (Havforskningsinstituttet).

2 - Mot en ny havnæring for tare?

Det ligger store muligheter i dyrking av tang og tare, og som et av landene med spesielt gode forutsetninger for en slik næring er Norge allerede godt i gang! Men vi er fortsatt på prøvestadiet og for å lykkes med å skape en lønnsom næring må utfordringer knyttet til dyrking, produkter, marked og miljøpåvirkning først løses.



Sukkertare dyrket i havet ved Grip på Nordmøre (Foto: SINTEF Ocean).

Det dyrkes årlig rundt 32 mill tonn makroalger globalt ifølge FNs organisasjon for ernæring og landbruk, FAO. I Norge er makroalgedyrking fortsatt i et tidlig stadium og for å utløse de store potensialene en slik næring kan representere trengs oppskalering av hele verdikjeden, noe som innebærer dyrking til havs og industrialisering av prosesser, og mer kunnskap om miljøeffekter, genetikk og avl. Det er behov for en målrettet satsning for å løse tekniske utfordringer, utvikle produkter og markeder. Denne rapporten tar for seg status, muligheter og utfordringer for en ny havnæring og foreslår et eget forskningsprogram for makroalgedyrking. For å lykkes er tilrettelegging fra forvaltningens side også kritisk. Rapporten peker derfor på sentrale områder der forvaltningen kan bidra til å muliggjøre utvikling.

3 - Status for algedyrking i Norge

Tare og andre makroalger har i flere tiår vært dyrket i stor skala i Asia. I våre farvann er slik dyrking fortsatt i en tidlig fase og dyrkingsanleggene er små. Det er hovedsakelig sukkertare og butare som dyrkes i vårt land.

Mer enn 99% av den globale produksjonen av makroalger skjer i Asia, der mange land har en lang tradisjon for bruk av ulike makroalger i det daglige kostholdet. Makroalger benyttes også som råstoff i produksjon av en rekke produkter for bruk i næringsmidler, fôr og andre industrielt fremstilte varer. Med verdens økende befolkningen må vi i større grad bruke havet til bærekraftig og klimavennlig produksjon av mat og råstoffer i fremtiden, og makroalgedyrking pekes på som en viktig løsning.

Faktaboks 1 Dyrking av alger i Norge i dag

Den første konsesjonen for dyrking i Norge ble tildelt i 2014. Fem år senere er 475 dyrkningstillatelser fordelt over 97 lokaliteter, de fleste i Vestland, Nordland og Trøndelag, med 16 selskaper som dyrket til sammen 111 tonn sukkertare og butare til en verdi av 4,4 millioner kroner i 2019 ifølge Fiskeridirektoratet.

I Norge og resten av Europa er dyrking av makroalger enda i en tidlig fase og produksjonen er foreløpig lav, men interessen er stor og det er mange aktører involvert i hele næringskjeden. Den store interessen knyttet til akkurat sukkertare og butare i Norge skyldes at disse er de enkleste makroalgeartene å dyrke i sjø og at de egner seg svært godt for norske kystområder.

Produksjonen av både sukkertare og butare går ut på dyrke opp kimplanter fra sporer som slippes av morplanter. Sporene kan feste seg på tau eller andre materialer (vekstsubstrat) som deretter settes i kar med vanngjennomstrømming og kunstig belysning, og vokse opp til noen millimeter store kimplanter før vekstsubstratet festes til sjøanlegget. Man kan også la sporene vokse opp i næringsmedium i flasker som står under rødt lys, og lime de på vekstsubstratet rett før dette settes ut i sjøanlegget. Utsett i sjøanlegg foregår vanligvis om høsten og et stykke ut på vinteren, og taren er klar til innhøsting fra april til juni, avhengig av hvor langt nord den dyrkes. Dyrkingssesongen avgrenses av at andre organismer begynner å vokse på taren (begroing) og gjør den etter hvert ubrukelig. Ved dyrking på tau kan avlingen ligge på rundt 5 kg per meter, hos noen dyrkere det dobbelte eller mer.

Norge dyrker i dag kun stedegent materiale som oppformerer fra foreldreplanter som samles inn i nærheten av dyrkingsanlegget. Spredning av gener er en miljøutfordring, samtidig som bruk av avl for å oppnå egne dyrkingsgenotyper med ønskede egenskaper kan bli en viktig del av løsningen for lønnsom produksjon. Slike egenskaper kan være robusthet mot sykdom, rask vekst og høyt innhold av for eksempel alginat eller protein. De norsk-dyrkede makroalgene brukes hovedsakelig som mat, men det forskes på hvordan biomassen kan brukes i industriell produksjon av mer verdifulle produkter eller som ingredienser i fôr.

4 - Naturlige forutsetninger i norske havområder

Forholdene langs norskekysten er svært godt egnet for taredyrking og norske fagmiljøer og industri er allerede ledende på viktige områder for utvikling av en lønnsom storskala taredyrkingsindustri. For å sette fart på veksten bør Norge utnytte kompetanse og teknologi fra to store havnæringer - havbruksnæringen og oljeindustrien.

4.1 - Åpne havområder gir nye muligheter

Lokalitetsvalg er svært viktig for å utnytte vekstpotensialet og muliggjøre innhøsting av en størst mulig avling før begroings-organismer fester seg og begrenser tarens anvendelse, som for eksempel til mat. Det som kjennetegner de beste lokalitetene for sukkertare og andre tarearter er høy saltholdighet, temperatur som ikke blir for høy om sommeren eller for lav om vinteren, gode lysforhold og lange perioder med god næringssalttilførsel. Slike forhold har vi et stykke fra kysten. Både matematisk modellering, vitenskapelig og kommersiell dyrking viser at tare kan gi store avlinger langs norskekysten, opp mot 20.000 tonn per km² (våtvekt), og at dyrking til havs kan åpne for større produksjon enn inne i skjærgården og fjordene.

Dyrking må lokaliseres der bunnforhold, dyp og bølgeeksponering er best egnet for å sikre god forankring og trygg adkomst til og fra anlegget. Dyrking i åpne, eksponerte havområder er teknologisk krevende. Norge har fagmiljøer og konsulentfirmaer med verdensledende kompetanse innen marine konstruksjoner og operasjoner, og flere av disse er engasjert i å utvikle utstyr og tjenester for tarenæringen.



De naturlige miljøforholdene i norske kystområder er godt egnet for dyrking av tare og andre makroalger (Foto:

Havforskningsinstituttet)

4.2 - Fra små til store anlegg

Foreløpig ligger dyrkingsanleggene i Norge på relativt skjermede lokaliteter. Produksjonen er ganske manuell og anleggene små, men for å muliggjøre større biomasseproduksjon for ulike industrielle anvendelser må dyrkingskostnadene ned og da er oppskalering og mekaniserte, helst automatiserte, løsninger helt nødvendig. Testdyrking lengre ute på kysten har gitt interessante resultater, men før store anlegg til havs kan realiseres kreves innovasjon og teknologisk utvikling langs hele verdikjeden for dyrking, spesielt for anleggsutforming og -forankring, operasjoner for storskala kimplanteproduksjon og -utsett, og fjernovervåking av vekst og kvalitet. Store anlegg stiller også større krav til effektiv høsting og gode metoder for konservering og frakting av tarebiomassen, samt til energieffektiv lagring. Ved å etablere pilotanlegg kan problemstillingene knyttet til dyrking i industriell skala undersøkes under realistiske betingelser og riktige løsninger utvikles.

Noen dyrker integrert med fiskeoppdrettsanlegg, det vil si på samme lokalitet, der næringsrike utslipp gir økt produksjonsutbytte gjennom gjødsling av taren. Konseptet kalles integrert multi-trofisk akvakultur (IMTA) og gir mulighet for en mer helhetlig utnyttelse av fiskefôret, da løste ekskresjonsprodukter blir næring for tare mens partikler kan spises av blåskjell eller andre dyr som filtrerer vannet. I tillegg kan ressurser som båter, fôrflåter, fortøyninger, overvåkingssystemer og sikkerhetsutstyr ved oppdrettsanlegget utnyttes til flere operasjoner.

Det er vist at man kan flerdoble biomasseproduksjonen av taren ved å plassere tareanlegget tett inntil laksemerdene. Effekten avtar med økende avstand til anlegget, så for å utnytte næringssaltene og samtidig unngå konflikter med operasjonene knyttet til drift av lakseoppdrettet må det utvikles egne IMTA-anlegg. Begrensningen i forhold til tare dyrking er imidlertid opptakshastighet av næringssalter av tare, som nok egner seg bedre for å øke tareproduksjonen enn å ha stor effekt i å redusere utslippene fra fiskeproduksjon. I tillegg kan store mengder med tare rundt merdene virke negativt på gjennomstrømning av sjøvann.

5 - Muligheter til ny verdiskapning

En ny havnæring basert på tare gir store muligheter for produksjon lavt i næringskjeden og for nye produkter som fôr til dyr og mat til mennesker. Taredyrking kan for eksempel bidra til å bytte ut soya med marine alger og petroleumbasert plast med bioplast, være et supplement til taretråling og har potensiale som aktivt klimatiltak for fjerning av karbon.

5.1 - Alternative matkilder til husdyr, fisk og mennesker

Den globale etterspørselen etter animalsk protein øker raskt, som følge av den sterke økningen i verdensbefolkningen og økt levestandard. Dette har ført til en betydelig økning i etterspørsel av dyrefôr som fører til mer press på et allerede begrenset landbruksareal og andre innsatsfaktorer som ferskvann, gjødsel og energi. Dyrket mark som ikke er egnet for produksjon av mat til mennesker brukes i stor grad til produksjon av dyrefôr. Det utgjør omtrent 40% av all dyrket mark globalt. Tilgjengelige dyrkbare landarealer vil være en begrensning for økt matproduksjon. Akvakulturnæringen har allerede i dag en viktig rolle for verdens proteintilførsel. Ifølge FAO har akvakulturnæringen globalt vokst med 8,8 % årlig siden 1980 og prognosene viser fortsatt vekst. Denne sterke veksten i akvakulturnæringen vil føre til større behov for forutsigbare fôrressurser. I dag er deler av den animalske matproduksjonen i Norge avhengig av import av proteinrike råvarer som soya. Utvikling av nye lokale proteinkilder basert på industriell utnyttelse av lokal fornybar biomasse, slik som marine makroalger, vil kunne bidra til å erstatte soyabaserte råvarer og muliggjør vekst i mat- og fôrproduksjon utover det landarealer gir rom for. Marine makroalger er også gunstig i et miljøperspektiv fordi alger:

- konkurrerer ikke om plassen til å dyrke menneskemat
- dyrkes i sjøvann uten behov for ferskvann eller mineralgjødsel
- dyrkes uten bruk av sprøytemidler
- binder og resirkulerer næringsstoffer fra lakseoppdrettsnæringen
- fanger CO₂ i sjøen.



Potensialet for bruken av tang og tare i mat til dyr og mennesker er stort, men nye produkter må utvikles (foto: Havforskningsinstituttet)

Faktaboks 2 Produkter fra alger som brukes i Norge i dag

I Norge er kommersiell utnyttelse av tare i dag begrenset til den ville bestanden av stortare (*Laminaria hyperborea*), som er spesielt godt egnet for alginatproduksjon. Alginater fra makroalger kan bl.a. brukes som et effektivt bindemiddel i fôr og en lang rekke av andre produkter. Det produseres også forskjellige algeprodukter fra grisetang (*Ascophyllum nodosum*). Tangmjøl har en lang historie som fôrtilskudd i Norge, først og fremst med basis i innholdet av livsnødvendige mineraler og vitaminer. Tangmel ble brukt som fôrtilskudd helt frem til 1980-tallet. I dag bruker fôrindustrien standard premikser som dekker behov for mineraler og vitaminer uten hensyn til innholdet i de enkelte råvarer som kan være sterkt varierende.

For at taredyrking skal bli lønnsomt i Norge, må nye produkter og bruksområder utvikles. Bruk av tare til husdyrfôr gjennom ny kunnskap er en slik mulighet. Dette vil gi nye bruksområder og markedskanaler som gir muligheter for å oppskalere produksjonen. I dag går det aller meste av makroalgene som dyrkes, direkte til menneskemat, og kun små mengder nyttes i fôr til fisk og husdyr. Bruk av tare i fôr til oppdrettsfisk og husdyr er omtalt i en rekke vitenskapelige artikler. Kunnskap om innholdet av verdifulle næringsstoffer og proteiner og uheldige stoffer og toksiner er grunnleggende forutsetninger for alle råvarer som omsettes for bruk i fôr til fisk og husdyr.

Selv om det biokjemiske innholdet i makroalger er kjent, er detaljkunnskapen om næringsverdi og funksjonelle egenskaper ikke tilstrekkelig for å kunne vurdere makroalger som råvarer i moderne fôrtyper til fisk og husdyr. I utgangspunktet er næringsverdien av brunalger som tare relativt lav, sammenlignet med fôrmidler fra landbruket, bl.a. på grunn av høyt innhold av aske, lavt innhold av energi og protein og med lav fordøyelighet. Videre gjør høyt innhold av karbohydrater tare lite egnet som fôr til for eksempel laksefisk.

Den kjemiske sammensetningen i tare varierer mellom arter. I tillegg vil forhold som høstetidspunkt, dyrkningsområde, vanddybde og vannforhold være avgjørende. Algene har en gunstig aminosyresammensetning som er minst like god som andre proteinkilder som soyamel og fiskemel. Det totale innholdet av aminosyrer i tare er imidlertid lavere på grunn av et lavere proteininnhold. Makroalger har høyt innhold av karbohydrater, hovedsakelig polysakkarider.

Polysakkaridene er praktisk talt ufordøyelige hos fisk og enmagede husdyr og har begrenset næringsverdi. Potensiale som fôrressurs er imidlertid stort på grunn av tilgang på store volumer og på nye metoder for prosessering. Ved bruk av ny teknologi som fermentering, enzymbehandling eller fraksjonering, er det mulig både å øke proteininnholdet og fordøyeligheten av protein og aminosyrer i produkter basert på brunalger. Drøvtyggere kan i noen grad utnytte tare som energikilde gjennom vomfermentering. Tare inneholder en rekke mineraler, vitaminer, antioksidanter og andre bioaktive stoffer som kan ha positive effekter på kjøttkvalitet. Tare har et høgt innhold av organisk jod og kan derfor være en effektiv metode for å øke innholdet av jod i kjøttprodukter. Tare kan også inneholde en del uønskede stoffer som tungmetaller som kan begrense bruken i fôr til dyr og mennesker. Disse kontaminantene kan imidlertid fjernes gjennom målretta prosessering.

Brunalger som tare har stort potensiale i funksjonelle fôr (fôr med positiv effekt på kroppsfunksjonene utover vanlig ernæring) på grunn av at de inneholder bioaktive stoffer med dokumenterte helseeffekter. Det er økende interesse for bruk av ekstrakt fra brune alger i funksjonelle fôr som alternative til fôrantibiotika eller til sinkoksid for å forebygge diaré, som nå blir forbudt i EU. Flere undersøkelser har vist positive effekter av tareekstrakt fra brunalger på immunforsvar og helse hos smågris og slaktekylling. De viktigste bioaktive stoffene som brukes i fôr til husdyr i dag er laminarin og fucoidan. Utvikling av nye protokoller for tareekstrakt kan gi nye funksjoner i fôr fra alger i fremtiden.

Bioraffinering vil si å bruke integrerte prosesser for å lage flere produkter av samme råvare, hvor hensikten er å utnytte råstoffet bedre og dermed forbedre økonomien. En slik tilnærming brukes i dag i liten grad på makroalger. Norge har drevet med prosessering av stortare i lang tid hos DuPont (tidligere FMC) i Haugesund, men da hovedsakelig for å produsere alginat. Det finnes mange muligheter for å lage flere produkter fra tare, men det krever forskning, innovasjon og produktutvikling. For å utvikle tareprosessering til bioraffinering trengs det forskning spesielt på to områder:

1. I dag brukes hovedsakelig mekaniske og kjemiske metoder for å ekstrahere eller fraksjonere tare. Disse må videreutvikles med et mål om å lage flere produkter fra råstoffet. I tillegg må det utvikles biokatalysatorer (enzymer) som nye verktøy for tareprosessering. Dette vil muliggjøre mer effektiv fraksjonering av tare til for eksempel alginat, laminarin, fucoidan, polyfenoler, pigmenter, protein og mineraler.
2. I tillegg til forskning på mer effektiv fraksjonering av tare, bør det også utvikles prosesser for viderefordeling av tarefraksjoner. Her vil også nye biokatalytiske verktøy være viktige, både i form av enzymer og mikroorganismer for fermentering. Nye produkter kan være modifiserte polysakkarider, oligosakkarider, fermenterbare sukre, medisiner, plast og ulike kjemikalier produsert av mikroorganismer.



Bioraffineringslaboratorium hvor det i liten pilotskala i dag utvikles prosesser for produksjon av laminarin og fucoidan fra tare (Foto: NMBU).

5.2 - Tare dyrking som supplement til taretråling

Det høstes årlig ca 160 000 tonn tare fra naturlige bestander av stortare *Laminaria hyperborea* til utvinning av alginat. Trålingen reguleres i høstefelter, uttaket er beskjedent i forhold til den stående biomassen av tareskog og det er foreløpig få aktører i markedet. Flere aktører er imidlertid i ferd med å etablere seg og i fremtiden forventes det økt press på taresressursene. Tareskogen tilbyr mange økosystemtjenester og bruken av tareskogens ressurser fører lett til konflikter. Det er derfor en fordel om økt etterspørsel etter tare også dekkes av dyrket tare, noe som gir potensiale for et mye større biomasseuttak. Foreløpig dyrkes ikke stortare og fordi den må vokse i flere år før høsting er det lite som tyder på at slik dyrking vil skje. Økt fokus på andre dyrkbare arter for alginatproduksjon er derfor nødvendig hvis dyrkede makroalger skal bli et supplement til trålt stortare.





Stortare Laminaria hyperborea tråles med bruk av bunntål som etterlater seg trålgater på bunnen (foto: Havforskningsinstituttet)

5.3 - Dyrking av andre algearter

De arter av makroalger som er mest aktuelle for dyrking i Norge, er brunalger som sukkertare (*Saccharina latissima*), butare (*Alaria esculenta*) og kanskje fingertare (*Laminaria digitata*). Men andre arter som egner seg bedre som mat og er mye bedre betalt kan bli aktuelle i fremtiden. Blant algene som brukes til mat i den vestlige verden er de små, røde makroalgene søl (*Palmaria palmata*), fjærehinne (*Porphyra umbilicalis*) og grisetangdokke (trøffeltang, *Vertebrata lanosa*) de høyest prisede. Disse selges tørket for flere tusen kr per kilo. I tillegg til å være en godt betalt matvare kan rødalger være en kilde til UV-absorberende forbindelser som kan brukes i kosmetikk.

Foreløpig dyrkes ikke rødalgene kommersielt i Norge, men alle vokser vilt her og kan håndplukkes ved lavvann eller ved å dykke etter dem. På grunn av beskjeden størrelse er de krevende å høste inn i større mengder, men det finnes

dyrkingsmetoder som kan tilpasses norske forhold for søl og fjærehinne. Det samme gjelder grønnsalgen havsalat (*Ulva lactuca* og andre arter i *Ulva*-slekten), som både brukes i mat og som fôr for delikatesser som snegler, reker og abalone, samt i fôrprodukter for ulike husdyr. Den inneholder videre antikoagulerende forbindelser med potensiell anvendelse i farmasøytiske produkter.

De røde og grønne makroalgeartene som er nevnt her har en mer komplisert livssyklus enn tare og er vanskeligere å dyrke, spesielt i sjøanlegg. Det er derfor viktig å etablere dyrkingsmetoder som muliggjør industriell dyrking i landbaserte anlegg, gjerne med bruk av næringsrikt avløpsvann fra for eksempel settefiskanlegg. Selve dyrkingen skjer da innendørs i tanker med kontrollert vanntilførsel, kunstig belysning, luftbobling og eventuelt tilførsel av ekstra næringssalter eller anti-begroingsmidler. Dyrking i utendørs tanker er mindre aktuelt i Norge på grunn av de klimatiske forholdene vi har her.

Dyrking i sjø gir imidlertid muligheter for tilgang på "gratis" næringssalter, lys og temperatur, og effektive metoder for dyrking av kimplanter på tau eller andre materialer for utsett og videre oppdyrking i sjø er derfor etterspurt. Dette krever god biologikunnskap og sannsynligvis er det hensiktsmessig å utvikle dyrkingsteknologi for bare et mindre utvalg arter som man viser at har gode muligheter for sjødyrking.

Rødalgen søl dyrket på nett utenfor Frøya i Trøndelag (Foto: SINTEF Ocean).



5.4 - Blått karbon – mot en klimanøytral akvakulturindustri?

Lagring av CO₂ i skog som klimatiltak er noe Norge satser på gjennom Norges regnskogsfond. I fotosyntesen binder skog store mengder CO₂ fra atmosfæren, og CO₂ begraves i bakken ved løvfall og tas dermed ut av det raske karbonkretsløpet. På samme måte tar tare og andre alger opp CO₂. En del av den produserte biomassen konsumeres av beitende dyr og tapes gjennom respirasjon, men en ukjent del fraktes ned på dypt vann og begraves i

bunnsedimentene. Betydningen av denne CO₂ pumpen er blitt kalt «elefanten i det blå karbonrommet» (elephant in the blue carbon room, Krause-Jensen et. al. 2018) fordi CO₂ lagringspotensialet er stort men kunnskapen om prosessene rundt transport, omsetning og lagring er begrenset. Gjennom dyrking har man en mulighet til å styre disse prosessene som rettede klimatiltak, enten for å pumpe CO₂ ned i havbunnen i form av dyrket biomasse eller i bruk som erstatter annet karbon med større klimaavtrykk. Klimaeffekten avhenger både av om tarekarbonet lagres eller omsettes igjen og hva slags karbon den i så fall erstatter. En kan tenke seg bruk i produkter for å oppnå en karbonnøytral eller karbonpositiv effekt. Hvor effektiv denne fangsten kan være avhengig av dyrkested og er illustrert i faktaboks 3.



De blå skogene våre binder store mengder CO₂ og dyrking av blått karbon kan brukes som klimatiltak til å balansere utslipp fra annen akvakultur (foto: Havforskningsinstituttet).

Faktaboks 3 Eksempel på karbonfangspotensialet som tare har

En kystnær lokalitet vil i løpet av en dyrkingssesong fra september til juni kunne produsere 7.500 tonn tare og ta opp 1.500 tonn CO₂ per km², mens dyrking i høyproduktive områder lengre til havs vil kunne produsere 20.000 tonn tare og ta opp 3.000 tonn CO₂ per km². Det årlige utslippet i Trøndelag fylke er til sammenligning ca. 3 millioner tonn CO₂.

Dersom taredyrking skal kunne bidra i klimaregnskapet må biomassen benyttes til å erstatte fossilt, karbonholdig råstoff eller landbasert biomasse med større klimaavtrykk enn tare. Her ligger det muligheter i produksjon av *klimanøytrale* , billige bulkprodukter som tredjegenasjons biodrivstoff, plast og proteinkonsentrater til laksefôr og husdyrfôr. En *klimapositiv* effekt av taredyrking kan oppnås dersom biomassen deponeres eller omdannes slik at karbonet ikke slipper ut i atmosfæren igjen. Dyrking i store anlegg til havs for deretter å senke biomasse til store havdyp for sedimentering

under stort trykk kan være en løsning på dette, produksjon av biokull for bruk som et inert jordforbedringsmiddel en annen. Begge løsningene forutsetter god dokumentasjon på klimaeffekt og at det settes en økonomisk verdi på denne type karbonfjerning, for eksempel gjennom kvoter for Blått Karbon. Slik dyrking kan brukes aktivt for å balansere og motvirke utslipp fra annen oppdrett, som lakseoppdrett. Dermed kan tare dyrking også være en del av en nasjonal strategi mot en klimanøytral akvakulturindustri.

6 - Hva skal til for å realisere en ny havnæring for tare?

Norge har potensiale for å bli en ledende innen produksjon og bruk av makroalger, men i et marked som fortsatt er på forsøksstadiet er det behov for å utvikle både dyrkingsteknologi, produkter og markeder med lønnsomhet i Norge. For å etablere dyrking til havs er det nødvendig med teknologisk utvikling for oppskalering av anlegg, Myndigheter må tilrettelegge arealer, regelverk og forvaltning av tare dyrking som hensyntar denne type akvakultur spesielt. For å utvikle produkter, trengs mer kunnskap om foredling og muligheter for prosessering, og større innsikt i makroalgenes egenskaper. Det er også behov for å øke kunnskapen om miljøeffekter og hvordan en ny havnæring kan etableres på en måte som ikke har uakseptable miljøeffekter. Samproduksjon med annen aktivitet som ikke er i konflikt, som havvind, kan være del av løsningen.

For å realisere mulighetene som ligger i denne nye havnæringen bør innsatsen rettes mot utvikling av produkter som markedet etterspør og som industriell tare dyrking kan bidra med. Norge trenger proteinkonsentrater til den voksende havbruksnæringen, og en fokusert satsing på å utvikle proteinkonsentrat basert på tare, enten ved ekstraksjon, encelleprotein eller i insektprotein-produksjon, er nødvendig.

På sikt må vi ha produkter som kan erstatte fossile råstoffer, men teknologien for å lage disse må utvikles og skaleres opp nå slik at vi kan fase ut olje- og gassbaserte produkter. Karbonfangst ved hjelp av tare dyrking i store havanlegg må også utvikles nå, slik at dette kan brukes som ett tiltak for å nå målene om reduksjon av klimagasser og dermed unngå kostnader av helt andre dimensjoner om vi ikke lykkes i å stanse den globale oppvarmingen.

Som ved oppdrett av laksefisk er det både land- og sjøbaserte produksjonsfaser og arbeidsoperasjoner ved dyrking av tare og andre makroalger. Så lenge dyrkingsvolumene er små klarer de norske tare dyrkerne seg med egenutviklet utstyr for disse operasjonene, men en industriell oppskalering av produksjonen vil kreve mer mekanisering langs hele verdikjeden. Det er et sterkt behov for utvikling av kunnskap som skal muliggjøre dyrking i store anlegg ved hjelp av standardiserte løsninger og automatisering av arbeidsoperasjoner som kimplanteproduksjon, utsett, overvåking, innhøsting og konservering av store mengder biomasse. Pilotanlegg er nødvendig for utvikling og uttesting av teknologien som trengs for tare dyrking i industriell skala.

Det er nødvendig å øke kunnskapen om miljøeffekter av tare dyrkingsanlegg med relevans i norske farvann. Tare i dyrkingsanlegg tar opp næringssalter fra vannet og slik det drives i dag brukes gjødsel, medisiner og kjemikalier i liten grad. Men både anlegg, aktivitet i forbindelse med anlegget og algene som dyrkes kan skape negative miljøeffekter i vannsøylen og på havbunnen. Tare drysser ned på bunnen og tilfører organisk materiale som forbruker oksygen. Ved liten vannutskiftning kan overforbruk av oksygen føre til habitatdeleggelse og dårlige forhold for økosystemene på og i havbunnen. Flytting av gener og spredning av sykdommer og andre arter kan også være resultater av etablering av anlegg og dyrkingskulturer og tareanleggene representerer kunstige rev som kan bidra til spredning av fremmede arter.

Siden makroalgedyrking i utgangspunktet har mindre miljøeffekter enn fiskeoppdrettsanlegg for flere typer påvirkning bør forvaltningen av den, inkludert behandlingen av konsesjonssøknader, tilpasses denne typen aktivitet spesielt. Plassering av anlegg på gode lokaliteter vil, foruten å sikre en optimal produksjon og økonomi, være viktig for å unngå sedimentering av organisk materiale på bunnen. Dyrkere har derfor behov for å identifisere og få tilgang til dyrkingsarealer med gode dybde- og strømforhold.



Områder for vindmøller til havs som Havvind kan vise seg å ha stort potensiale for samlokalisering med taredyrking (foto: Havforskningsinstituttet).

Dyrking lenger ut fra kysten gir bedre produksjon og sannsynligvis lavere risiko for bunnsedimenter, på grunn av at biter og partikler som faller av spres bedre enn inne i fjorder og i skjærgården. Selv om det vil være teknologisk mer krevende å dyrke lenger ut på havet enn inne på kysten, så vil dyrking i havanlegg også redusere arealkonflikter inne på kysten. Det åpner også for samlokalisering med annen arealbruk til havs, som for eksempel vindenergi. Forvaltningsmyndighetene er i gang med en gjennomgang av faggrunnlag for forvaltning av akvakulturtillatelser til makroalger. Dette gir mulighet til å tilrettelegge forvaltningen av denne typen akvakultur spesielt. Faktaboks 4 beskriver muligheter for en slik type samlokalisering med Havvind, vindmølleparker til havs.

Faktaboks 4 Samlokalisering av taredyrkingsanlegg med Havvind?

Det er et betydelig potensial i å samlokalisere taredyrking med annen aktivitet som ikke er i konflikt. Både arbeid med å identifisere egnede arealer, og utfordringer knyttet til beslaglegging av arealer kan reduseres med samlokalisering. Havvind er et godt eksempel på annen virksomhet som ikke vil være i direkte konflikt med taredyrking. Egnede arealer for vindmølleproduksjon til havs er i forbindelse med Havvind allerede identifisert og utredet i forhold til annen bruk. Egnethet for produksjon av alger i disse områdene kan utredes og lette planleggingsarbeidet for algeproduksjonsanlegg betraktelig.

Helt siden mennesket begynte å dyrke planter og holde husdyr for mange tusen år siden, har de individene som egnet seg best til vår bruk bevisst eller ubevisst blitt valgt ut. Gradvis har populasjonene endret seg til det vi i dag kjenner som hvete, storfe osv. Da vi i Norge startet med lakseoppdrett, bidro systematisk seleksjon sterkt til høy produktivitet i næringen. Slik vil det også være med makroalger. I Asia har man utviklet sorter med stor biomasseavling eller andre ønskede egenskaper, som et spesielt utseende, konsistens, temperaturtoleranse og sein modning. Ved hjelp av kontrollert krysning og seleksjon kan genotyper med for eksempel høy vekstrate, god motstandsdyktighet mot patogener og andre skadegjørere, god tilpasning til dyrkningssystemet og kjemisk sammensetning fremavles. Forhold rundt flytting av gener og arter (inkludert fremmede arter), vil kunne representere negativ miljøpåvirkning fra algedyrkingsanlegg det er behov for mer kunnskap om.

Det er behov for å finne fram til og utvikle genetisk materiale som egner seg for dyrkingssystemene, gir stor produktivitet og ønsket kvalitet. Samtidig er det behov for å hindre genetisk forurensing av ville populasjoner pga spredning fra anleggene. Mulige løsninger kan være avl innen lokale populasjoner uten introduksjon av fremmede genvarianter (alleler), eller utvikling av tare som ikke blir fertil under dyrking. Det er behov for vurdering av risiko for effekter på de marine økosystemene og den genetiske diversiteten i ville populasjoner. For å kunne vurdere slik risiko trengs det mer populasjonsbiologisk kunnskap. Slik kunnskap kan også brukes til å restaurere naturlig tareskog i områder den har blitt tapt.

7 - Eget forskningsprogram?

Den betydelige utviklingen som er nødvendig sammenstilt med det store potensialet som denne næringen representerer gjør at forskningsbehovet om dyrking av alger er stort. En konkret mulighet til å adressere dette behovet er å opprette et eget forskningsprogram for makroalger i Norges Forskningsråd. Et slik program bør koordinere finansiering av forskning og innovasjon innen makroalgedyrking med andre finansieringsorganer, både innenfor og utenfor Norge.

Et slik program bør rettes mot utvikling av kunnskap og kompetanse innen:

- Teknologi: oppskalering til industriell skala og dyrking i store havanlegg
- Biologi: nye dyrkingsarter og genotyper til bruk i algedyrking
- Produkter: utvikling av nye produkter og bruksområder for alger innen farmasøytisk og næringsmiddelindustri til mennesker og dyr og annen mer innovativ bruk som plast.
- Marked: utvikling av nye markeder for å kunne etablere en lønnsom industri for algerprodukter i Norge og internasjonalt
- Miljøeffekter fra anlegg og dyrkingsalger på det naturlige genetiske og biologiske mangfoldet i havet.
- Potensialet for bruk av tare dyrking og blått karbon som klimatiltak.

Felles for alle disse områdene er at bærekraft og klimavennlighet må være overordnet. Dersom norsk forskning og industri etablerer nødvendig kunnskap innen disse nøkkelområdene og bruker dette til å bli ledende innen algedyrking, kan gevinsten i form av en ny havnæring for fremtidige generasjoner bli langt større enn investeringene som er nødvendige!

8 - Vil du lese mer?

Broch OJ, Alver MO, Bekkby T, Gundersen H, Forbord S, Handå A, Skjermo J, Hancke K. (2019) Kelp cultivation potential in coastal and offshore regions of Norway. *Front. Mar. Sci.* 5:529; doi: 10.3389/fmars.2018.0059

Buschmann Alejandro H., Camus Carolina. 2019. An introduction to farming and biomass utilisation of marine macroalgae, *Phycologia*, 58:5, 443-445, DOI:10.1080/00318884.2019.1638149

Forbord S, Matsson S, Brodahl G, Bluhm B, Broch OJ, Handå A, Metaxas A, Skjermo J, Steinhovden K, Olsen Y. (2020) Latitudinal, seasonal and depth-dependent variation in growth, chemical composition and biofouling of cultivated *Saccharina latissima* (Phaeophyceae) along the Norwegian coast. *J. Appl. Phycol.* <https://doi.org/10.1007/s10811-020-02038-y>

Goecke F, Klemetsdal G, Ergon Å. 2020. Cultivar Development of Kelps for Commercial Cultivation— Past Lessons and Future Prospects. *Front. Mar. Sci.* 8:110. doi: 10.3389/fmars.2020.00110

Holdt, S.L. & Kraan, 2011. Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation. *J. Appl. Phycol.* 23: 543-597.

Krause-Jensen Dorte, Lavery Paul, Serrano Oscar, Marbà Núria, Masque Pere and Duarte Carlos M. 2018. Sequestration of macroalgal carbon: the elephant in the Blue Carbon room *Biol. Lett.* 14:20180236 <http://doi.org/10.1098/rsbl.2018.0236>

Øverland, M., Mydland, L.T., and Skrede, A. 2019. Marine macroalgae as a source of protein and bioactive components in feed for monogastric animals. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 99(1), 13-24. DOI 10.1002/jsfa.9143.



HAVFORSKNINGSINSTITUTTET

Postboks 1870 Nordnes
5817 Bergen
E-post: post@hi.no
www.hi.no