

På global basis er marine makroalger blant de viktigste akvakulturprodukter med en samlet årsproduksjon på 14 millioner tonn, det meste i form av tare dyrking i Kina. I stadig økende grad blir dyrking av makroalger integrert med akvakultur. Den økologiske begrunnelsen for å dyrke makroalger er først og fremst at disse algene effektivt binder næringssalter fra oppdrett av fisk og muslinger, men selve algebiomassen kan også utnyttes til en rekke formål.

Jan Rueness
jan.rueness@bio.uio.no

Henning Steen
henning.steen@imr.no

Fiskeoppdrett bidrar med betydelig tilførsel av næringssalter til kystsonen, og ved å samlokalisere fiskeoppdrett, skjell dyrking og makroalgedyrking, kan disse stoffene utnyttes. Skjellanlegget vil begunstiges av økt innhold av organiske partikler i vannet, og makroalgene vokser ekstra godt på grunn av plantenæringsstoffene. Ideen til denne typen akvakulturanlegg er ikke ny, men utprøving i praksis har latt vente på seg. I Bay of Fundy, Canada, har en forskningsgruppe testet ut kombinasjonen av lakseoppdrett, blåskjell dyrking og tare dyrking (Figur 1.16.1), med det resultat at produksjonen av både tare og blåskjell økte betydelig. Likeledes er det i de senere år også gjort lovende forsøk i Skottland (SMBA). I Norge har SINTEF startet et forskningsprogram om integrert akvakultur, men så langt er det ikke startet dyrking av makroalger. Norge



Figur 1.16.1

Dr.Thierry Chopin (nr. 2 fra høyre) og medarbeidere under høsting av sukkertare (*Saccharina latissima*) dyrket sammen med oppdrett av laks og skjell i Bay of Fundy, Canada. Foto: Manav Sawhney.

Dr.Thierry Chopin (second from right) and crew harvesting kelp (*Saccharina latissima*) cultivated in the proximity of salmon and mussel farms in the Bay of Fundy, Canada.

har lang erfaring og er størst i Europa på kommersiell utnyttelse av makroalger basert på høsting av naturlige bestander (se kapittel 2.11 Stortare).

Hva er makroalger?

Marine makroalger omfatter tre hovedgrupper: rødalger, grønnalger og brunalger. Rødalger og grønnalger hører til de eldste

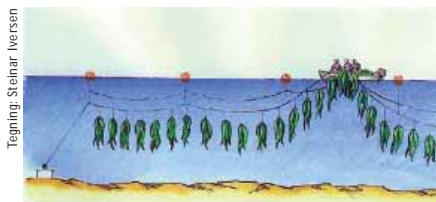
Tabell 1.16.1

Fem på topp-liste over makroalger som ble produsert ved dyrking i ulike land i 2005 (FAO).

Top five cultivated seaweed genera in the world during 2005 (source FAO).

Art	Land	Tonn friskvekt
<i>Saccharina japonica</i> (kombu)	Kina	4 314 145
	S-Korea	108 327
	Japan	44 489
<i>Undaria pinnatifida</i> (wakame)	Kina	2 394 800
	S-Korea	281 871
	Japan Frankrike	63 082 25
<i>Porphyra</i> spp. (nori)	Kina	803 800
	Japan	386 574
	S-Korea	197 610
<i>Eucheuma</i> spp. + <i>Kappaphycus</i> spp.	Filippinene	1 333 158
	Kina	106 540
	Tanzania	6 000
<i>Gracilaria</i> spp.	Kina	985 630
	Chile	15 492
	Filippinene	1 130

fotosyntetiske planter på kloden, mens brunalgene hører til en senere utviklingsgren. Makroalgene har utviklet mange egenskaper som gjør dem tilpasset et liv i havet, for eksempel har de cellevegger av et materiale som både gir mekanisk styrke og fleksibilitet til å stå imot bølgeslag. Hos mange makroalger kan slike strukturer utgjøre 20–40 % av tørrvekten. Med en fellesbetegnelse kalles de fykokollider (av fykos gr. = sjøvekst, kolla gr. = lim). Noen av disse stoffene, for eksempel alginat hos brunalger og agar og karragenan hos rødalgene, har stor økonomisk betydning. Mange alger har et kjemisk forsvar for ikke å bli spist eller angrepet av andre organismer, og forskere håper å finne nye antiviral og antibakterielle forbindelser i dette forsvaret. I Norge har vi ca. 480 arter marine makroalger, av disse er ca. 205 rødalger, 175 brunalger og 100 grønnalger. Globalt er det ca. 4 500 rødalger og 1 500 brunalger, hvorav mer enn 90 % er marine, mens grønnalger har flest arter i ferskvann. Mer enn 100 arter blir utnyttet kommersielt, men hovedmengden utgjøres av 5–10 arter (Tabell 1.16.1).



Figur 1.16.2

Dyrking av japansk tare (*Saccharina japonica*) på horisontale rep, slik det foregår i Øst-Asia. *Long-line cultivation of the Japanese kelp, Saccharina japonica, in the Far East.*

Det biologiske grunnlaget for dyrking av makroalger

Grunnleggende kunnskaper om algenes biologi er en forutsetning for utnyttelse og dyrking. Mange makroalger har en kompleks livssyklus der de veksler mellom to individtyper, en kjønnsplante (gametofytt) og en sporeplante (sporofytt). De to fasene i livssyklusen kan være like av utseende eller helt forskjellige. Vekslingen mellom fasene er tilpasset de naturgitte forholdene og reguleres av bl.a. lysperiode og temperatur.

For å kunne dyrke makroalger er det viktig å vite hvordan de ulike artene vokser. Alger er ikke delt inn i rot, stengel og blad, og hele planten (tallus) kan bidra i næringsopptaket og fotosyntesen. Hos tare er veksten begrenset til et bestemt område ved nederste del av tarebladet i overgangen til tarestilken. Etter hvert som veksten skjjer, vil nytt vev skyve det eldre vevet ut mot spissen av bladet før det til slutt kastes av. Hos de fleste rødalgene dannes det nytt cellevev i skuddspissene. Det vil si at om man kutter av en skuddspiss, så kan den fortsette å vokse, noe som er en forutsetning for massedyrking av mange rødalger. Noen av de tynne, bladaktige algene, som f.eks. havsalat (*Ulva lactuca*) og fjærehinne (*Porphyra* spp.), mangler avgrensede vekstsoner, og veksten kan skje i hele algen.

Tare dyrking

Hos brunalger i tarefamilien (*Laminariaceae*) ble det for ca. 90 år siden klarlagt at de store tareplantene som vi kjenner fra naturen, er sporeplantene, mens kjønnsplantene eksisterer som mikroskopiske hann- og hunnplanter. Disse var aldri påvist i felt, og kan vanskelig påvises uten dyrking i laboratoriekultur. Tarepopulasjoner kan ikke opprettholdes uten at hele den kjønnete livssyklusen gjennomføres, da tareplantene ikke kan formere seg ukjønnet. De mikroskopiske hann- og hunnplantene er lette å dyrke i laboratoriekultur, og de kan lett oppformerer ved fragmentering. Få makroalger er bedre studert enn tare, og de økologiske kravene for vekst og reproduksjon er nøye beskrevet. Ved kommer-

siell massedyrking av tare er det vanlig å starte med fertile sporeplanter.

I våre farvann utvikler taren sporer sent på høsten og om vinteren. En sporeløsning prepareres fra de fertile sporeplantene og overføres til kar der det er plassert sporefangere i form av tynne (2–6 mm) rep av kunstfiber som er viklet rundt rektangulære rammer eller sylindriske spoler. Sporene fester seg til repane og spirer umiddelbart til hann- eller hunnplanter. Befruktningen finner sted etter ca. 1–2 uker. Etter befruktningen begynner små tarekimplanter raskt å utvikle seg, og vil under gunstige vekstbetingelser nå en lengde på 1–2 cm innen 8 uker. Da kan kulturene overføres til dyrkingsanlegg i åpen sjø. Flere ulike arrangementer er prøvd ut. I alle tilfeller dreier det seg om grovere rep som holdes oppe av flottører, og tare-repane kan enten henge vertikalt eller strekkes horisontalt i et gitt dyp (Figur 1.16.3). Tare hører til de mest produktive vekster man kjenner, og i løpet av 3–4 måneders vekst i sjøen, kan de nå en lengde på 2–3 m, og man kan høste inntil 20 kg per m repkultur.

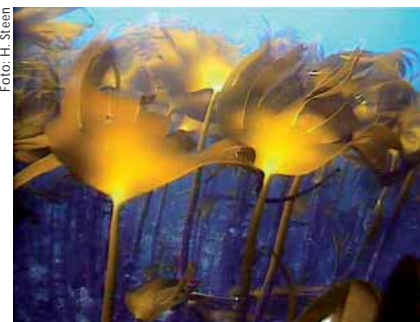


Figur 1.16.3

Butare (*Alaria esculenta*), en tareart som dyrkes i Europa og Canada. *Dabber locks (Alaria esculenta), a kelp species used for mass cultivation in Europe and Canada.*

Ulike tarearter

Sukkertare og butare er de to artene som peker seg ut som lovende kandidater for massedyrking i Norge. De samme artene er med hell dyrket på De britiske øyer og i Canada. Begge vokser raskt fra januar til mai, og kan i løpet av den perioden bli 2–3 m lange. De har et relativt høyt proteininnhold, noe som er fordelaktig med hensyn til nitrogenbinding og ved bruk i fôr. Stortare (*Laminaria hyperborea*)



Figur 1.16.4

Tareskogen langs norskekysten (som her på Hustadvika, Møre og Romsdal) domineres av stortare (*Laminaria hyperborea*), som høstes til produksjon av alginat til en årlig eksportverdi på rundt en halv milliard kroner. *The kelp forests along the Norwegian coast (as pictured here at Hustadvika, Møre and Romsdal) are dominated by Laminaria hyperborea, a species harvested for the production of alginat.*

er vår desidert viktigste tareart (Figur 1.16.4) og råstoff for alginatindustrien, men den er lite egnet for massedyrking på rep. Fingertare (*Laminaria digitata*) kan prøves, mens den sørlige tarearten draughtare (*Saccorhiza polysphides*), som er meget produktiv, ikke vil feste seg til rep. Uansett hvilke arter som velges, er det stort potensial for seleksjon og eventuell genmodifisering for å utvikle egenskaper man er interessert i.

Dyrking av rødalger til mat

Fjærehinne - *Porphyra*

Denne rødalgen består av tynne blader, ett eller to cellelag tykke, og blir 20–30 cm i diameter. I alt er det beskrevet ca. 100 arter fra hele verden, men bare noen få av disse (*P. yezoense*, *P. tenera*) er gjenstand for kommersiell dyrking, særlig i Kina, Japan og Korea. I Japan har *Porphyra* (nori) vært dyrket i århundrer og verdsatt som grønnsak og til bruk sammen med fisk og ris i retter som for eksempel sushi. Ernæringsmessig er *Porphyra* rik på protein, vitaminer og en rekke mineralsalter. I Norge har vi sju *Porphyra*-arter. Dyrking av denne algen er en komplisert og arbeidsintensiv prosess, der grunnleggende kunnskap om algens biologi er en forutsetning. Også *Porphyra* har to faser i livssyklusen. I den ene fasen lever den i tomme muslingskall og gir disse en rosa farge (Figur 1.16.5). Under bestemte miljøbetingelser dannes sporer i

Foto: J. Rueness



stort antall. Sporene spirer og gir opphav til de bladaktige *Porphyra*-plantene. Når bladene er utvokste og 10–20 cm, vanligvis etter 40–50 dager, høstes algene.

Søl – *Palmaria palmata*

Av de få rødalger som har vært brukt, og fortsatt brukes som matplanter i vestlige land, er søl den viktigste (Figur 1.16.6). Allerede i islandske sagaer og lovtekster er algen omtalt og viser at den har vært høyt verdsatt. Den vokser lett tilgjengelig i fjæra hele året, og kan tørkes og oppbevares i

Foto: J. Rueness



Figur 1.16.6

Rødalgen søl (*Palmaria palmata*), en av de få makroalgene som har vært utnyttet som næring i nordiske land. I dag er kommersiell dyrking av arten blitt aktuelt. Dulse (*Palmaria palmata*), one of the few seaweeds that has a tradition as a sea-vegetable in Nordic countries. Today commercial farming of this species is considered.



Figur 1.16.5

De to stadiene i livssyklusen hos fjærehinne (*Porphyra amplissima*). Bladet til venstre viser den makroskopiske kjønnsplanten (gametofyten), mens bildet til høyre viser mikroskopiske celledrader (sporofytt-stadiet) som her vokser i O-skjellet (*Modiolus modiolus*).

Two phases in the life cycle of laver (*Porphyra amplissima*). The blade to the left represents the gametophyte phase, whereas the sporophyte-phase consists of microscopic filaments growing in the shell of the Horse mussel (*Modiolus modiolus*) to the right.

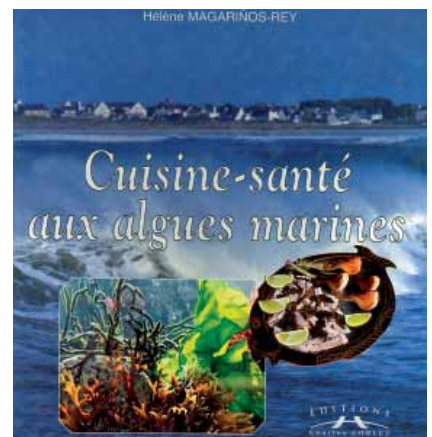
lang tid. Ernæringsmessig er den blant de mest proteinrike algene, og den har høyt innhold av vitaminer, mineraler og spor-elementer. De siste ti årene har det vært flere forskningsprosjekter for å undersøke hvordan denne algen kan dyrkes og utnytted. I Irland har bruken av søl holdt seg helt fram til i dag, og mye tyder på økende interesse for bruk av algen som grønnsak, men også til nye anvendelser som f.eks. fôr i oppdrett av kråkeboller og i kosmetikkprodukter. Algen kan dyrkes i tankanlegg på land eller på rep i åpen sjø.

Dyrking av rødalger til agar og karragenan

Det er mange rødalger som kan gi råstoff for agar, men mest brukt i dag er arter av slektene *Gracilaria* og *Gelidium*. Begge slektene er artsrike og fins hovedsakelig i varmere farvann. I Norge er det 1–2 arter i hver slekt. Metoden for dyrking er meget enkel, da algene kan oppformeres ved kutting av skuddspisser. Dyrking kan foregå i tanker på land eller festet til rep i sjøen, gjerne i kombinasjon med annen akvakultur. I Norge er sjøtemperaturen ugunstig for vekst av *Gracilaria* og *Gelidium*, men der sjøvann brukes av industri til kjøling, er det god tilgang på spillvarme i form av oppvarmet sjøvann. En kan godt tenke seg store landbaserte anlegg for akvakultur av varmekjære arter der rødalger inngår som en del av et flerkultursystem. Karragenan ble tidligere fremstilt fra krusflik (*Chondrus crispus*) og var bl.a. basert på høsting og dyrking av algen på østkysten av Canada. I dag kommer karragenan vesentlig fra noen få arter i slektene *Eucheuma* og *Kappaphycus*. Dette er tropiske rødalger som er enkle å dyrke og høste, og det er blitt en viktig næring i mange utviklingsland, bl.a. på Filippinene og i Øst-Afrika.

Anvendelser av algebiomasse

Den viktigste anvendelse av makroalger er til mat. I Øst-Asia brukes makroalger i det daglige kostholdet. I vestlige land er det stort sett bare rødalgen søl som brukes, men det er økende interesse for å bruke makroalger til mat også her (Figur 1.16.7). Den ernæringsmessige verdien skyldes først og fremst innholdet av vitaminer og mineraler, men noen rødalger har også et høyt innhold av proteiner og frie aminosyrer. Tare er kjent for å ta opp jod, og inntak av tare i kosten kan derfor forebygge struma i innlandsstrøk med jodmangel. På den annen side må en være oppmerksom på at jodinntaket også kan bli for høyt ved å spise alger. Indirekte bruker vi algeprodukter i maten hver dag ved at både alginat (E-400–E-405), agar (E-406) og karragenan (E-407) brukes som tilsetningsstoff i en rekke vanlige matvarer som i brød, yoghurt, syltetøy,



Figur 1.16.7

En av flere franske bøker om bruk av makroalger som grønnsaker. One of several French books on the use of macroalgae as sea vegetables.

Foto: J. Rueness



Figur 1.16.8

Grisetang (*Ascophyllum nodosum*) høstes i Norge for produksjon av algeekstrakter og tangmel. *Knotted wrack (Ascophyllum nodosum) is harvested in Norway for the production of plant protective extracts and seaweed meal.*

lettmarginer etc. Mange alger inneholder forbindelser som har antibiotisk effekt eller kan forebygge kreft og karsykdommer. Bruk av tangmel som fôrtilskudd til husdyr og som jordforbedringsmiddel, har lange tradisjoner. Også fiskefôr kan med fordel blandes tang eller taremel. I tillegg til å tilføre verdifulle stoffer, kan alginatet virke som bindemiddel og øke fôrutnyttelsen.

Ekstraksjon av fykokolloider som alginat, agar og karragenan fra makroalger er milliardindustrier med et umettet behov for råstoff. Det meste av råstoffet til alginat kommer fra høsting av ville populasjoner, mens karragenan og agar i økende grad kommer fra kontrollert dyrking av ulike stammer. Det er mange ulike anvendelser av disse stoffene, de viktigste er som hjelpestoff i næringsmiddelindustri og farmasøytisk industri. Alginat fra stortare brukes bl.a. i trykkpasta til tekstiltrykk. En spesiell anvendelse av alginat er innkapsling av levende celler i alginatkuler. Teknikken brukes bl.a. ved behandling av diabetes ved innkapsling av insulinproduserende celler. Agar er uerstattelig i mikrobiologisk

og biokjemisk forskning, mens karragenan benyttes mye i matvareindustrien.

Bioaktive forbindelser fra makroalger

Mange alger produserer forbindelser som en del av et kjemisk forsvar mot andre organismer. I de siste årene har farmasøytiske firmaer og andre startet leting etter forbindelser som kan lede til nye antibiotika eller stoffer av annen praktisk betydning. Et eksempel er bruk av en bromholdig organisk forbindelse fra rødalgen *Delisea pulchra* mot begroing av båter og marine installasjoner generelt.

Bruk av flytende algeekstrakter og tangmel i hagebruk og landbruk har lange tradisjoner og er en viktig industri i Norge. Den norske industrien er vesentlig basert på høsting av grisetang (Figur 1.16.8). Algeekstrakter har angivelig gunstig effekt ved bl.a. å gi økt beskyttelse mot plantesykdommer.

Bioenergi

Under energikrisa på 1970-tallet ble det lagt ned et stort arbeid for å finne måter

Mass Cultivation and Utilization of Marine Macroalgae

In terms of biomass produced by aquaculture, marine macroalgae are among the most important organisms with a total world production of about 14 million tonnes (fresh weight), mainly as kelp cultivation in China. Integration of seaweed cultivation in aquaculture systems is a new development, in which fish, shellfish and seaweeds form an integrated multi-trophic aquaculture unit (IMTA). The rationale for growing algae is a balanced ecosystem where the macroalgae effectively remove excess inorganic nutrients. Furthermore, the algal biomass can be used for various purposes. A review is given of various algal species, biological features, farming methods, and various applications of compounds from macroalgae.

å omdanne biomasse fra makroalger til å produsere metangass. Makroalger er vel-egnet som kilde for bioenergi, bl.a. fordi algene ikke inneholder lignin og inneholder lite cellulose. Mye av dette arbeidet har fått ny aktualitet. Mange makroalger kan benyttes, men tare og hurtigvoksende, bladaktige former som havsalat (*Ulva*) som effektivt binder næringssalter, karbondioksid og solenergi i biomasseproduksjon, er spesielt egnet (Figur 1.16.9).

Selvrensing

Selvrensing (bioremediation) er en betegnelse for bruk av levende organismer, særlig bakterier, til å rense forurenset natur. I havet kan makroalger brukes til å fjerne overskudd av næringssalter, f.eks. ved samlokalisering med andre oppdrettsarter. Makroalger kan også være integrert med kloakkrensing, og ny forskning har vist at enkelte makroalger kan bryte ned organiske miljøgifter som PCB og PAH. Brunalgenes alginat har stor evne til å binde tungmetaller og kan brukes til å fjerne tungmetaller som bly, kobber og kadmium, samt forgiftninger med radioaktive isotoper.

Figur 1.16.9

Havsalat (*Ulva lactuca*), en hurtigvoksende grønnalge som vil egne seg for masse-dyrking i næringsrike vannmasser. Arten egner seg dessuten til menneskeføde, bl.a. i salater.

Sea lettuce (Ulva lactuca), is a fast growing green alga with an effective nutrient uptake, suitable for mass cultivation. The species is also used as food, most commonly in salads.



Foto: Jiri Novak