

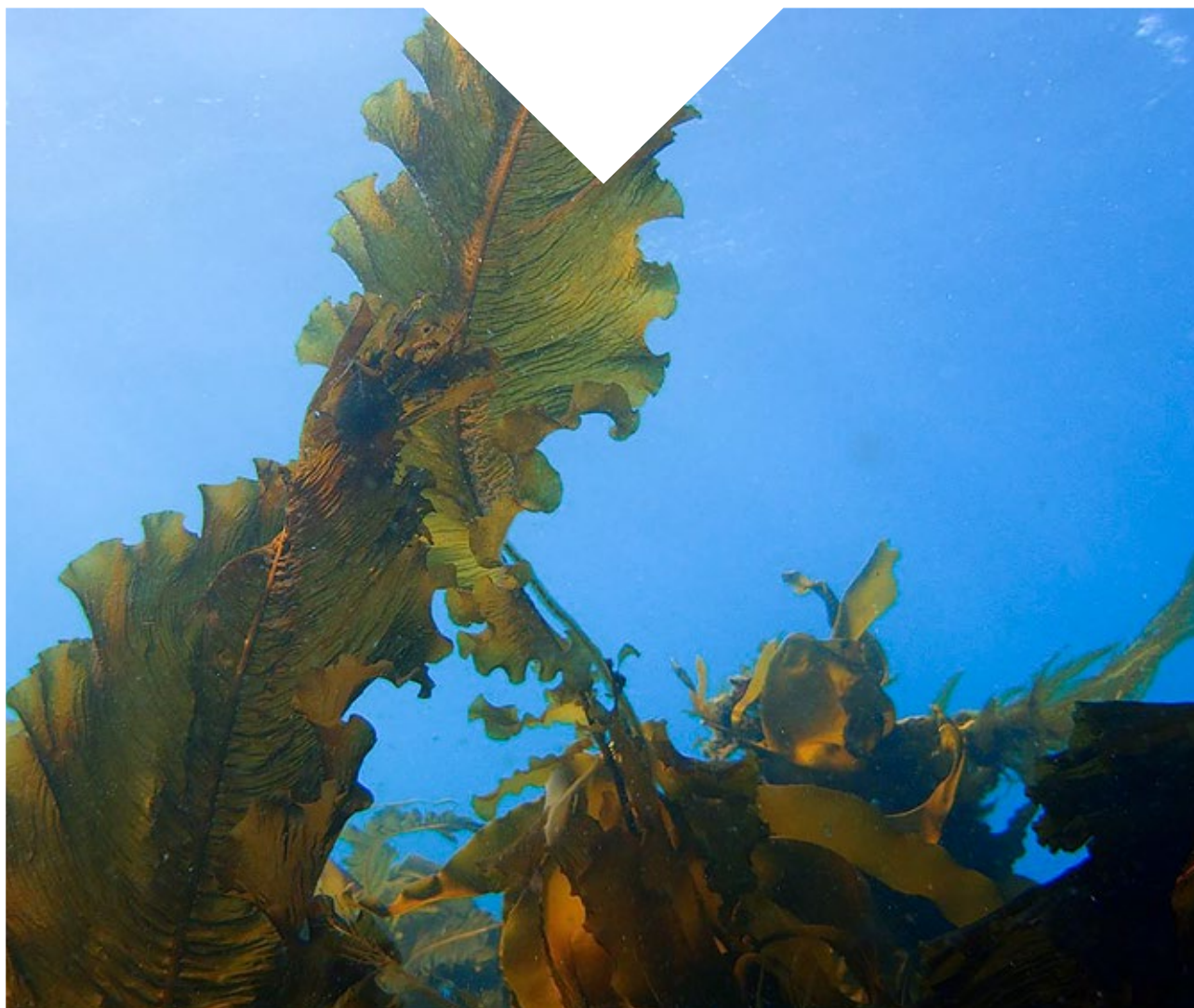


MILJØ-
DIREKTORATET

RAPPORT

M-299 | 2015

Risikovurdering ved utsetting av ikke-stedegen tare



Risikovurdering ved utsetting av ikke-stedegen tare

Utgiver:

Miljødirektoratet

Utførende institusjon:

Universitetet i Oslo og Universitetet i Bergen

Oppdragstakers prosjektansvarlig:

Stein Fredriksen

Kontaktperson i Miljødirektoratet:

Ingrid Handå Bysveen

M-nummer:

M-299 | 2015

År:

2015

Sidetall:

12

Utgiver:

Miljødirektoratet

Prosjektet er finansiert av:

Miljødirektoratet

Forfatter(e):

Stein Fredriksen (UiO) og

Inga Kjersti Sjøtun (UiB)

Tittel - norsk og engelsk:

Risikovurdering ved utsetting av ikke-stedegen tare

Risk assessment of introducing non-indigenous kelp

4 emneord:

Tare, populasjonsgenetikk, stedegen, utsetting

4 subject words:

Kelp, population genetics, indigenous, introduction

Forside:

Foto: Stein Fredriksen UiO

Layout:

Guri Jermstad

Sammendrag:

Spredning av gener fra ikke-stedegne arter til nye områder vil kunne medføre endrede konkurranseforhold med påfølgende nedgang i lokale populasjoner. Tare har en relativt begrenset spredningsdistanse som kan medføre store lokale forskjeller i genetikk. Samtidig vil et lavt spredningspotensiale tilsi at mulige økologiske effekter av utsetting av ikke-stedegen tare vil være arealbegrenset. Imidlertid er det viktig å benytte seg av føre var prinsippet slik at uheldige situasjoner ikke oppstår.

Summary:

Dispersal of genes from non-indigenous species to new areas may cause changes in competitive abilities and a concurrent decrease in local populations. Kelp has limited dispersal capability which may lead to high genetic variability across short distances. A low dispersal capability may further indicate that possible ecological effects of introducing non indigenous kelp will be limited to a relatively small area. On the other hand, a precautionary principle should be used to avoid any unfortunate situations.

Innhold

Innledning	4
Tareplanters biologi	5
Fremmede arter/organismer.....	6
Genetiske varianter	7
Vekst og produksjon av sukkertare.....	7
Spredning hos makroalger generelt.....	7
Spredning hos tare.....	7
Spredning av gener og populasjonsgenetiske forhold.....	9
Forholdet mellom populasjonsgenetikk og økologisk funksjon.....	10
Konklusjon.....	10
Referanser	11



Foto: Stein Fredriksen UiO

Innledning

I de siste årene har det blitt et sterkere fokus på bruk av tare til fremstilling av blant annet bioetanol, diverse finkjemikalier, og dyrefor så vel som menneskemat. For eksempel så hadde Aftenposten (23.09.2014) et oppslag om at norsk sjø kan bli fremtidens åker, hvor det fremkommer at Norges lange kyst kan benyttes til dyrking av tang og tare. Selv om næringsverdien i form av proteiner i slike alger er relativt lav er innholdet av karbohydrater høyt. De viktigste karbohydratene i tang og tare er alginat, chrysolaminaran og mannitol. Alle disse stoffene er praktisk talt ufordøyelige hos de fleste dyr og mennesker, og algene må derfor fermenteres slik at karbohydratene kan spaltes til sukker før de kan inngå i næringskjeder. På verdensbasis dyrkes det rundt 25 millioner tonn tang og tare (inkl. diverse grønn- og rødalger), hvorav en stor del går til menneskemat, særlig i Østen. Dette innebærer at dyrking av alger er en langt større næring enn akvakultur for produksjon av fisk og reker.

I Norge finnes det ca 175 forskjellige brunalger, av disse finnes 6 forskjellige tarearter (fingertare (*Laminaria digitata*), stortare (*Laminaria hyperborea*), sukkertare (*Saccharina latissima*), butare (*Alaria esculenta*), draughtare (*Saccorhiza polyschides*) og bladtare (*Saccorhiza dermatodea*)). Tare er kaldtvannsorganismer, og generelt finnes tare innenfor områder i verden hvor sommertemperaturen ikke overstiger 20°C og hvor det er tilstrekkelig med næring tilstede, i alle fall i deler av året. Tradisjonelt har tare vært utnyttet til brenning av aske for glassfremstilling, produksjon av jod og som jordforbedringsmidler. Siden 1960-tallet har stortare vært høstet til produksjon av alginat, og Norge er i dag verdens nest største alginatprodusent. I det siste har man imidlertid blitt mer oppmerksom på at disse tareartene også inneholder stoffer som diverse viktige mineraler og antioksidanter.

Sukkertare er en art som vokser raskt og som er relativt lett å dyrke opp i store kvanta, og bruk av denne har vært fremme i søkelyset for dyrking til fremstilling av bioetanol. Flere fordeler kan pekes på når det gjelder dyrking av tare (Bellona 2009):

1. Produksjon av karbonnøytralt biodrivstoff uten å fortrenge matproduksjon fra dyrkbar jord.
2. Bruk av biomasse til karbonnegativ kraftproduksjon (biomasse som brensel i kraftverk med CO₂-håndtering)
3. Bruk av makroalger til å "rense" fjordområder ved å utnytte overskuddsnæring/utslipp fra fiskeoppdrett.
4. Makroalger som råvare inn i produksjon av bærekraftig fiskefôr.

Med tilgang på energi fra sola og næringsstoffer fra havvannet binder tarebiomasse karbondioksid fra omgivelsene når den vokser. Ved å bytte ut fossile energikilder med tarebiomasse innen transport, oppvarming, industri og produksjon av elektrisitet, kan man gjøre slik aktivitet karbonnøytral, det vil si å ikke bidra til netto utslipp av klimagasser. Det er en utfordring for verden å skaffe til veie nok biomasse for å oppnå et karbonnøytralt samfunn. På land vil for eksempel ønsket om mer biomasse til energiformål ofte komme i konflikt med matproduksjon. Et betydningsfullt bidrag til denne utfordringen vil være å identifisere og utforske areal og muligheter for biomasseproduksjon som ikke går på bekostning av dyrkbar matjord eller viktige biotoper. Bellona har beregnet at dyrking av makroalger på et sjøareal tilsvarende et hektar binder til seg i underkant av 9 tonn karbon. Av dette kan man produsere 7.500 liter bioetanol. Foreløpige og usikre beregninger anslår et produksjonspotensial på opp mot 100 millioner tonn tare pr. år (Christie 12.10.2013, Forskning.no).

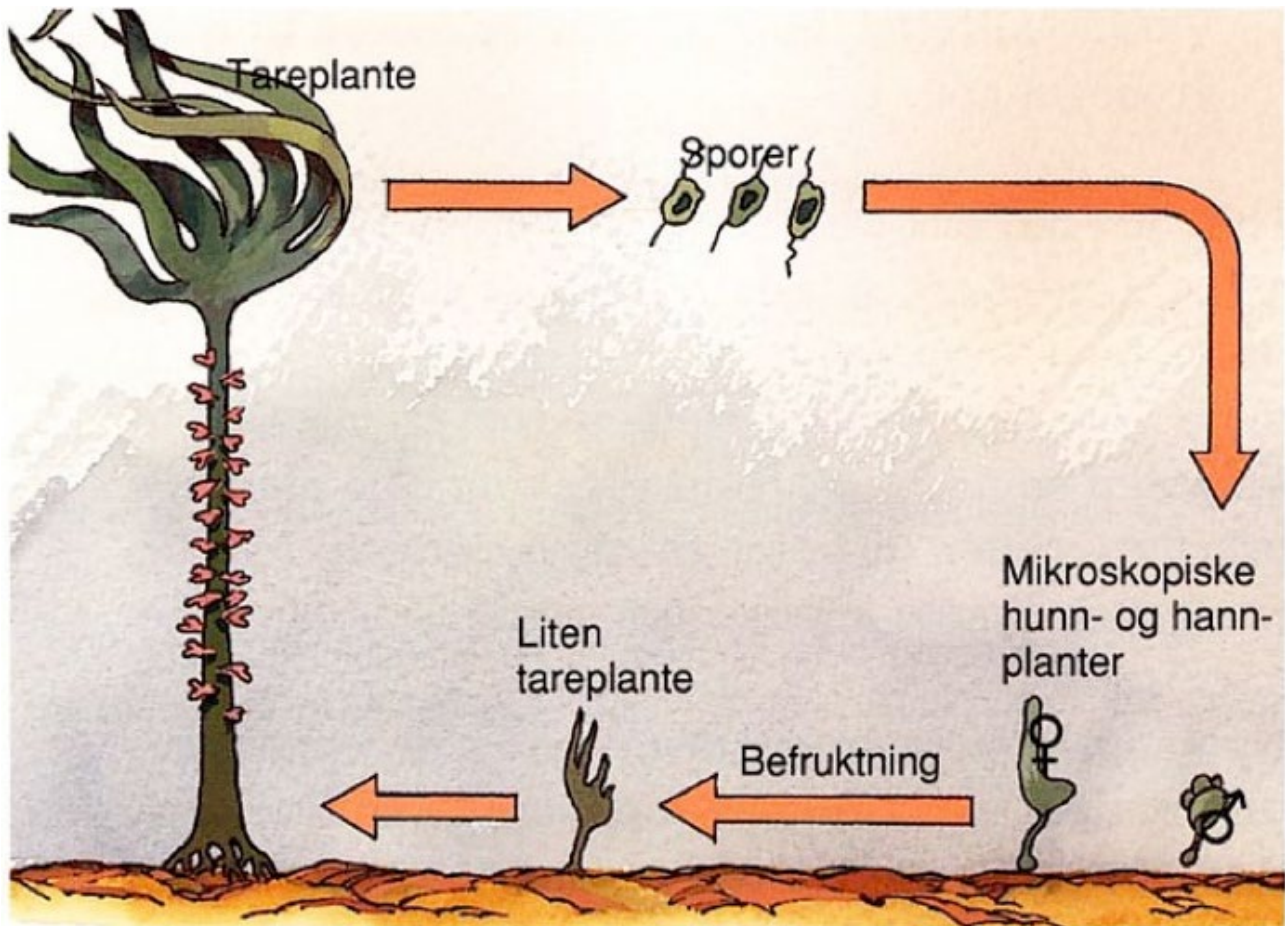


Figur 1. Sukkertare som dyrkes på tau (SINTEF).

Tareplanters biologi

Tare har det man kaller en diplohaplontisk heteromorf livssyklus. Dette er viktig for å forstå hvordan man kan så og holde tarearter i kultur over lengere tid. Det man forbinder med tare er det diploide stadiet. På disse bladene vil det til tider av året – avhengig av art – produseres haploide sporer ved hjelp av reduksjonsdeling. Disse sporene vil kunne spire opp til mikroskopiske gametofytter som produserer egg og/ eller spermatozoider. Etter befruktning av egget vil det utvikle seg en ny diploid generasjon. Det er denne man høster. For å kunne etablere eksempelvis sukkertare i

laboratoriekultur kan man ta inn sukkertareplanter som man gir et lite snitt på tvers i bladet. Dette hindrer transport av stoffer som gjør at bladet over snittet danner sporer. Sporer kan sås direkte på tau eller annet substrat som kan settes ut i sjøen. Et annet alternativ er å holde gametofyttene i kultur. Lenge trodde man at gametofyttene måtte holdes i rødt lys, men hvis lyset er svakt nok vil de ikke danne egg eller spermatozoider, men fortsette å vokse vegetativt. Om man vil danne nye sukkertarer er det bare å ta noen gametofytter av hvert kjønn og mose dem sammen til en suppe, som så kan tilføres et kar med substrat tilgjengelig, som så kan settes ut i sjøen.



Figur 2. Skjematisk tegning av livssyklus hos en tareplante.

Fremmede arter/organismer

Man har mange eksempler på at arter og populasjoner fra andre geografiske områder kan etablere seg i nye områder. I dagens samfunn er det et utall spredningsvektorer for marine arter, som ballastvann, begroing på skipsskrog, transport av vitenskapelig materiale, akvakultur og akvarievirksomhet, for å nevne noen. I noen tilfeller kan disse introduserte organismene ha en negativ effekt på de lokale stedegne artene, enten ved å utkonkurrere naturlig stedegne arter/organismer eller ved å endre den naturlige artssammensetningen og derigjennom påvirke andre deler av økosystemet. Det er flere grunner til at dette kan skje, og de mest fremtredende hypotesene for makroalger er i dag:

1. De ikke lenger er kontrollert av deres naturlige fiender som herbivorer eller patogener (ERH – Enemy Release Hypothesis).

2. De kommer til et område hvor de ikke lenger trenger å investere i antiherbivore substanser, men kan kanalisere all energi til vekst, noe som igjen kan gi konkurransemessige fortrinn (EICA – Evolution of Increased Competitive Ability).
3. De nye artene har allokemiske substanser som er ukjent for de naturlige fiendene, noe som resulterer i at de ikke blir spist (NWH – Novel Weapon Hypothesis).

Det finnes mange eksempler på at nye arter til et område kan forårsake et skifte i den økologiske balansen. Grønnalgen *Caulerpa taxifolia* som ble sluppet ut fra akvariet i Monaco har forårsaket tilnærmet en katastrofe i Middelhavet. Tilsvarende har utslipp av Lionfish fra et akvarium i Florida ført til at denne arten har spredd seg til hele Karibien – hvor den har ingen naturlige fiender. Spredning av Lionfish har vidtrekkende økologiske konsekvenser da den spiser fiskeyngel som er viktig for å opprettholde den skjøre balansen på korallrev i området. Brunalgen

Undaria pinnatifida ble for rundt 25 år siden innført til Frankrike for å dyrkes til mat. I følge den tilgjengelige litteraturen skulle denne algen ikke kunne overleve ute i naturen, men når den først "rømte" etablerte den raskt levedyktige populasjoner. I Norge har det kanskje vært mest fokus på invasjonen av kongekrabbe (*Paralithodes camtschaticus*) i nord, lakseparasitten *Gyrodactylus salaris*, stillehavssøsters (*Crassostera gigas*) og brunalgen japansk drivtang (*Sargassum muticum*). Basert på de erfaringer man har sett utfra disse artene skal man være meget varsom med å introdusere nye tarearter til våre farvann.

Genetiske varianter

Et av de aktuelle spørsmålene ved massedyrking av tare er om det finnes egne økotypen, eller genetiske varianter, av tarearter, og om noen av disse kan egne seg bedre til massedyrking enn andre. Slike genetiske varianter kan for eksempel ha bedre motstandskraft mot begroing, raskere vekst eller høyere innhold av de stoffene man primært er på jakt etter. Hvis slike genetiske varianter finnes er det naturlig at de mest egnede variantene vil bli flyttet fra et område til et annet ved en økt etterspørsel. Dermed vil man måtte undersøke hvilke negative økologiske konsekvenser dette eventuelt kan medføre.

Vekst og produksjon av sukkertare

Allerede i 1985 gjorde Gunnar Futsæter og Jan Rueness, Universitetet i Oslo, eksperimenter med utsetting av sukkertare i Oslofjorden for å studere vekst og utvikling gjennom året. I disse forsøkene ble det benyttet materiale isolert fra Drøbak og fra Tromsø. I forbindelse med disse eksperimentene gjorde de også noen krysningsforsøk mellom gametofytter fra de to isolasjonsstedene. Det viste seg at det fantes to forskjellige morfologier, planter fra Drøbak hadde en glidende overgang fra stipes til lamina, mens hos plantene fra Tromsø var denne overgangen nesten vinkelrett. Dette tyder på en genetisk forskjell mellom de to populasjonene. Ved krysningsforsøkene mellom isolatene var det Tromsøvarianten som ble beholdt, noe som tyder på en genetisk dominant egenskap. Det ble også registrert at krysningene vokste saktere enn planter fra Drøbak. Vekst av Tromsøplanter sier rapporten ikke noe om. Dette kan bety at under de forhold som Futsæter og Rueness (1985) dyrket alger ville det være fordelaktig å benytte seg av Drøbakmateriale hvis målet var å oppnå en maksimal biomasse.

Spredning hos makroalger generelt

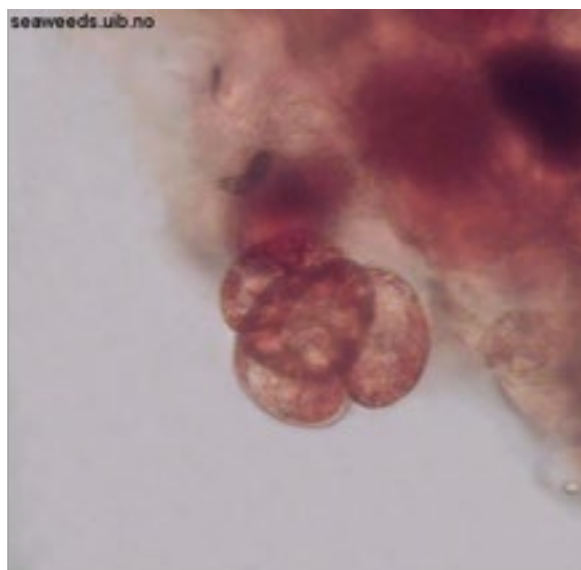
Spredning av gener mellom algepopulasjoner skjer ved hjelp av sporer, fragmenter eller gameter som kan bli transportert med strøm. Enkelte makroalger, som mange av tangartene, har flyteblærer og løsvrevne individ kan dermed drive relativt langt med strøm og bølger i overflaten. For eksempel har den invasive tangarten *Sargassum muticum* (japansk drivtang) flyteblærer og kan flytte lenge i overflaten, og er i tillegg sambu (hann og hunn på samme individ), slik at dersom en reproduktiv plante driver inn til land er dette tilstrekkelig for etablering av en ny populasjon. Også en del andre arter har en viss evne til å holde seg flytende i mange dager, og sporer eller gameter kan på denne måten bli transportert med strømmer over lange avstander. Enkelte arter kan også reproducere vegetativt ved at små fragmenter eller spesialiserte greiner kan løsne og drive et stykke med strømmen. Den introduserte rødalgen *Dasyisiphonia japonica* (japansk strømgarn) har spredd seg raskt langs kysten av Europa ved hjelp av sporer og små greinfragmenter som kan drive langt. For de aller fleste av makroalgene sitt vedkommende skjer imidlertid spredningen av genene hovedsakelig ved hjelp av sporer og gameter som driver med strømmen. Sporer og gameter til makroalger er små, og er i størrelsesorden fra 5 til 160 µm (Santelices 1990). Sporer og gameter til de fleste brun- og grønnalger har flageller og har dermed en viss egenbevegelse. Noen viser også en fototaktisk respons, det vil si at de kan svømme ned mot bunnen eller opp mot lyset før de slår seg ned.

Spredning hos tare

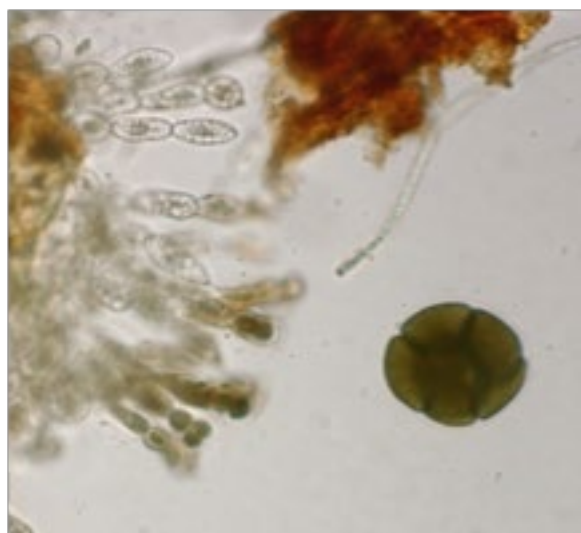
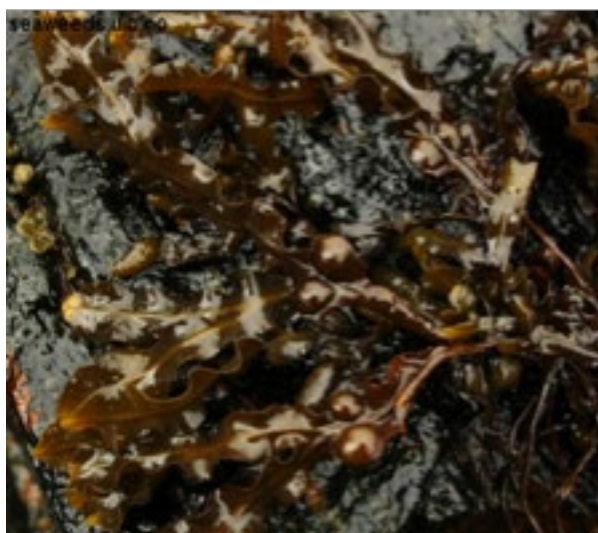
Spredningsenhetene hos tareplanter er sporene. Sporene er små, bare rundt 5 – 10 µm store. De har to flageller som gir dem en viss egenbevegelse. Sporene har også kloroplaster, det vil medføre at fotosyntesen kan kompensere for en svømmeaktivitet. Noen undersøkelser har vist at sporer fra tare kan svømme i opptil 120 timer (Reed et al. 1992), men sporenes evne til å slå seg ned og spire ble opprettholdt også etter at svømmeaktiviteten opphører. Dette medfører at sporene kan fraktes med strømmer i flere døgn før en eventuell spiringsevne forsvinner.

Sporene er generelt kortlevde da de ikke har noe beskyttende ytre skall som frø hos høyere planter. Hvor langt sporene kan spre seg vil avhenge av i alle fall to forhold; hvordan strømmønsteret er i et område og hvor stor egenvekt spredningsenheten har i forhold

A



B



Figur 3. Spredningsceller hos makroalger. A) Rødalgen året rødfluk (*Cryptopleura ramosa*) har tetrasporer, B) Brunalgen blæretang (*Fucus vesiculosus*) danner oogonium med 8 eggceller.

til sjøvannet. På grunn av størrelsen vil det være sterkt begrenset hvor langt de kan bevege seg ved hjelp av egenbevegelse, og spredningen vil være avhengig av strøm og vannbevegelse. Etter at sporene er sluppet fra morplanter blir de spredd over store avstander. Selv om en enkelt tareplante kan danne millioner av sporer vil fortyningen i vannmassen være kritisk. Undersøkelser har vist at for å danne nye sporofytter må 2 sporer lande nær hverandre. Om avstanden er mer enn 1 mm vil det være vanskeligheter for

spermatozoiden å finne og befrukte egget (Reed et al. 1991).

Undersøkelser av spredning hos stortare (*Laminaria hyperborea*) er foretatt av Fredriksen et al. (1995). De fant at stortare kan spres minst 200 m fra en stående populasjon. Undersøkelser av andre arter har vist lavere spredning, butare (*Alaria esculenta*) hadde en spredning begrenset til rundt 10 m (Sundene 1962). Anderson og North (1966) fant at nye sporofytter

basert på sporespredning fra en enkelt plante av *Macrocystis pyrifera* var begrenset til 4 m, mens det ved en etablert populasjon var det ingen reduksjon i tettheter av nye sporofytter innenfor 30 m fra morpopulasjonen. Reed et al. (1988) fant en spredning opptil 4 km i tarearten *Pterygophora californica*, basert på spredning av sporer.

Spredning av gener og populasjonsgenetiske forhold

Bradbury et al. (2008) har gjort en sammenstilling av data fra forskjellige studier av ulike marine organismer, og sammenholdt verdier av Fst (et mål på genetisk ulikhet mellom populasjoner) med antall dager de ulike organismetyperne har et planktonisk stadium. Makroalger og sjøgress var slått sammen i denne studien, og hadde i snitt det laveste antall dager i spredningsfasen (under 10 dager). Sammen med flerbørstemakk var dette den gruppen som hadde høyest Fst-verdier i snitt. Dette betyr at sammenlignet med de fleste andre marine organismegrupper kan makroalger generelt vise stor genetisk forskjell mellom populasjoner. Dette støttes av en annen litteratur-studie av Durrant et al. (2014) der det ble vist en klar sammenheng mellom avstand og grad av genetisk isolasjon hos populasjoner av makroalger, og at populasjoner så nær hverandre som 50 km kunne vise relativt stor grad av genetisk isolasjon. For enkeltarter er det vist at utvekslingen av gener kan være svært begrenset selv over korte avstander. For sagtang (*Fucus serratus*) som er vanlig forekommende i strandsonen i Norge, påviste Coyer et al. (2008) en svært liten effektiv populasjonsstørrelse og klar nedgang i allele-diversitet over en 8-års-periode i et lokalt område på Vestlandet.

Det er gjort en del populasjonsgenetiske arbeider på tare i Frankrike. I et nyere arbeid har Robuchon et al. (2014) undersøkt genetisk struktur og grad av spredning eller isolasjon mellom populasjoner av stortare (*Laminaria hyperborea*) og fingertare (*L. digitata*) langs kysten av Bretagne. De påviste en minimumsavstand for genetisk isolasjon mellom populasjoner av fingertare som var under 1 km, mens minimumsavstanden de fant for stortare var mellom 10 og 15 km. De fant videre at spredningen av gener var generelt begrenset mellom populasjoner av begge arter, og at populasjoner mer enn 10-15 km fra hverandre generelt hadde stor grad av genetisk isolasjon. De fant en mindre grad av

genetisk isolasjon mellom stortarepopulasjoner enn fingertarepopulasjoner, noe som kan skyldes at stortare har en større sporeproduksjon enn fingertare, samt at sporene hos stortare blir frigjort høyere oppe fra bunnen enn hos fingertare. Begge disse faktorene kan øke spredningen av sporer og dermed transporten og spredningen av gener. Det er også vist av Alberto et al. (2011) for tarearten *Macrocystis pyrifera* fra California at sporespredning og transport av gener var klart korrelert med dominerende strømrretning, samt at den sesongmessige variasjonen i mengde sporer produsert i populasjonene påvirket omfanget av genspredningen.

Det er ikke gjort populasjonsgenetiske undersøkelser av tarepopulasjoner i Nord-Europa. Undersøkelser av tarepopulasjoner som er gjort i Frankrike og USA viser imidlertid samme mønster; en klart økende genetisk isolasjon med økende distanse mellom populasjoner, og at strømmønsteret og rekkevidden av sporespredningen er mest innvirkende for spredning av gener mellom populasjoner. Med bakgrunn i de arbeidene som er gjort på *Laminaria* spp. i Bretagne er det sannsynlig at det også i Nord-Europa og Norge er en begrenset spredning av gener mellom relativt nærliggende populasjoner.

Man må sannsynligvis skille mellom prosesser som virker inn på spredning av gener mellom etablerte populasjoner, og prosesser som er en del av en rekoloniseringsprosess. På grunn av den store dødeligheten av de ulike rekrutterings-stadiene i etablerte makroalgepopulasjoner er den totale spredningsrekkevidden av en sporesky sannsynligvis mindre enn genspredningen den fører til mellom nærliggende etablerte populasjoner. Etter den siste istiden i Europa fikk man for eksempel en relativt rask kolonisering av de «tomme» nordlige områdene av en del makroalger, fra sørlige overlevelsesområder. Hos noen makroalger finnes det fremdeles gensignaturer som viser at haplotype-diversiteten minker nordover, sannsynligvis som følge av en rask kolonisering av noen haplotyper («gen surfing»). Under en rekolonisering av et større område, for eksempel gjenvekst av tare etter kråkebolle-nedbeiting, kan man tenke seg en tilsvarende prosess i liten skala der overlevelsen til etablerte tarerekrutter er større enn den vil være i en etablert tarevegetasjon, noe som påvirker genspredningen inn i området.

Forholdet mellom populasjonsgenetikk og økologisk funksjon

Selv om en kan påvise en begrenset utveksling av gener mellom populasjoner, er det ikke uten videre sikkert at populasjonene har utviklet ulike egenskaper med hensyn til fysiologi, morfologi eller økologisk funksjon. De markørene som brukes for å påvise populasjonsgenetiske forskjeller er normalt nøytrale, dvs at de i liten grad er påvirket av seleksjon. Dersom det er stor grad av isolasjon mellom populasjoner kan imidlertid forskjeller i egenskaper utvikle seg over tid. Det må da også finnes et seleksjonspress som favoriserer ulike egenskaper. Under slike forhold kan det skje raske seleksjoner i makroalgepopulasjoner selv over relativt korte avstander. For eksempel viste Coyer m. fl. (2011) at populasjoner av sagtang i et fjordsystem i Nord-Norge viste signaturer på sterk seleksjon langs en 12 km lang salinitetsgradient.

Konklusjon

I forbindelse med pågående og planlagte prosjekter med dyrking av tare langs norskekysten er det viktig å få kartlagt spredningsrekkevidden av gener mellom populasjoner, for å unngå en potensiell og uønsket spredning av ulike økotyper eller genetiske varianter mellom regioner. Tare-artene representerer den viktigste habitatdannende vegetasjonstypen i det marine miljøet. Mens det er relativt mye tilgjengelig kunnskap om den økologiske rollen tare spiller i kystsonen, er det svært lite kunnskap om spredning av gener mellom populasjoner og genetiske tilpasninger til ulike miljø langs kysten. Om en slik spredning av gener finner sted er det usikkert om dette vil gi seg utslag i forskjellige fysiologiske tilpasninger, som for eksempel økt veksthastighet eller endrede konkurransefortrinn. Med bakgrunn i studier som er gjennomført i Frankrike og USA er det imidlertid grunn til å anta at spredning av gener mellom tarepopulasjoner kan være relativt geografisk avgrenset også langs norskekysten, og at det kan være artsspesifikke forskjeller. Dette kan undersøkes ved å kartlegge genetisk struktur av populasjoner i et avgrenset område ved hjelp av mikrosatellitt-analyser. Det er i neste omgang viktig å undersøke funksjonelle tilpasninger hos tare til ulike voksesteder.

Hvor langt kan man trygt flytte en tare-art? Man kan ta utgangspunkt i Fjordkatalogen og si at innenfor en fjord vil det ikke være noen problemer. Når det gjelder mer lokale forflytninger har man så å si ingen dokumenterte effekter i naturlige miljø. Noen studier har vist at lokale stedegne genetiske varianter finnes hos tare, men hvorvidt disse innehar genetiske egenskaper som kan virke hemmende på populasjoner av samme art eller andre arter i et nytt område vites ikke. Dette er en kjent problemstilling for bl. a rømt oppdrettslaks og genetisk påvirkning på ville laksebestander. Det er imidlertid all grunn til å følge et føre- var-prinsipp for utsetting av tare på nye lokaliteter inntil tilstrekkelig kunnskap om populasjonsgenetisk struktur hos arten foreligger. Det er vanskelig å sette begrensninger på hvilke avstander man kan flytte tare fra et sted til et annet. Spredningen av eventuelle sporer vil foregå i de øvre vannlag drevet av en estuarin sirkulasjon, og med det man har av kunnskap om spredningsdistanser er det snakk om relative korte distanser.

Man kan tenke seg andre modeller, slik som en inndeling av kysten i 26 sektorer (Brattegaard og Holte 1977), hvor man sier at tare kun kan flyttes innenfor en sektor. Det er imidlertid få argumenter som kan støtte opp om verken den ene eller den andre av disse modellene. Så lenge man ikke vet noe om hvilke genetiske forskjeller de enkelte populasjoner innehar og om slike forskjeller kan manifestere seg i økologiske problemstillinger, velger vi her å legge oss på et føre-var-prinsipp, som henstiller til taredyrkere om i størst mulig grad å benytte materiale fra lokale områder. Med tanke på eventuelle økotypetilpasninger til det lokale forhold vil man sannsynligvis oppnå den største økningen i biomasse over tid ved bruk av stedegne populasjoner – hvis det er dette som er målet.

Referanser

- Alberto F, Raimondi PT, Reed DC et al. 2011. Isolation by oceanographic distance explains genetic structure for *Macrocystis pyrifera* in the Santa Barbara Channel. *Molecular Ecology* 20: 2543–2554.
- Anderson EK, North WJ 1966. In situ studies of spore production and dispersal in the giant kelp *Macrocystis*. *Proceedings from the fifth international seaweed symposium*. 5:73–86.
- Brattegard T, Holthe T 1997. Distribution of marine, benthic macro-organisms in Norway. Research report for DN Nr 1997 – 1.
- Bellona 2009. Dyrking av makroalger. Et hav av muligheter. Arbeidsnotat 40 s. http://bellona.no/imagearchive-no/binary_files_attachments/fil_Arbeidsnotat_Makroalger.pdf
- Bradbury IR, Laurel B, Snelgrove PVR, Bentzen P, Campana SE 2008. Global patterns in marine dispersal estimates: the influence of geography, taxonomic category and life history. *Proc. R. Soc. B* 275, doi: 10.1098/rspb.2008.0216.
- Coyer J, Hoarau G, Sjøtun K, Olsen JL 2008. Being abundant is not enough: a decrease in effective population size over eight generations in a Norwegian population of the seaweed, *Fucus serratus*. *Biology Letters* 4: 755–757.
- Coyer JA, Hoarau G, Pearson G et al. 2011. Genomic scans detect signatures of selection along a salinity gradient in populations of the intertidal seaweed *Fucus serratus* on a 12 km scale. *Marine Genomics* 4: 41–49.
- Durrant HMS, Buridge CP, Kelaher P et al. 2014. Implications of macroalgal isolation by distance for networks of marine protected areas. *Conservation Biology* 28: 438–443.
- Fredriksen S, Sjøtun K, Lein TE, Rueness J 1995. Spore dispersal in *Laminaria hyperborea* (Laminariales, Phaeophyta). *Sarsia* 80: 47–54.
- Futsæter G, Rueness J 1985. Metode for kontroll av livssyklus, krysningsforsøk og masseproduksjon av sporofytter i kultur av *Laminaria saccharina* (L.) Lamour. Delrapport fra prosjektet *Eksperimentelle undersøkelser av potensielt anvendbare marine makroalger (NTNF)*. 23 s.
- Reed DC, Amsler CD, Ebling AW 1992. Dispersal in kelps: Factors affecting spore swimming and competency. *Ecology* 73: 1577–1585.
- Reed DC, Laur DR, Ebling AW 1988. Variation in algal dispersal and recruitment: The importance of episodic events. *Ecological Monographs* 58: 321–335.
- Robuchon M, Le Gall L, Mauger S, Valero M 2014. Contrasting genetic diversity patterns in two sister kelp species co-distributed along the coast of Brittany, France. *Molecular Ecology* 23: 2669–2685.
- Santelices B 1990. Patterns of reproduction, dispersal, and recruitment in seaweeds. *Oceanography and Marine Biology. Annual Review* 28:177–276.
- Sundene O 1962. The implications of transplant and culture experiments on the growth rate and distribution of *Alaria esculenta*. *Nytt magasin for Botanikk* 9: 155–174.

Miljødirektoratet

Telefon: 03400/73 58 05 00 | **Faks:** 73 58 05 01

E-post: post@miljodir.no

Nett: www.miljodirektoratet.no

Post: Postboks 5672 Sluppen, 7485 Trondheim

Besøksadresse Trondheim: Brattørkaia 15, 7010 Trondheim

Besøksadresse Oslo: Grensesvingen 7, 0661 Oslo

Miljødirektoratet jobber for et rent og rikt miljø. Våre hovedoppgaver er å redusere klimagassutslipp, forvalte norsk natur og hindre forurensning.

Vi er et statlig forvaltningsorgan underlagt Klima- og miljødepartementet og har mer enn 700 ansatte ved våre to kontorer i Trondheim og Oslo, og ved Statens naturoppsyn (SNO) sine mer enn 60 lokalkontor.

Vi gjennomfører og gir råd om utvikling av klima- og miljøpolitikken. Vi er faglig uavhengig. Det innebærer at vi opptre selvstendig i enkeltsaker vi avgjør, når vi formidler kunnskap eller gir råd. Samtidig er vi underlagt politisk styring. Våre viktigste funksjoner er at vi skaffer og formidler miljøinformasjon, utøver og iverksetter forvaltningsmyndighet, styrer og veileder regionalt og kommunalt nivå, gir faglige råd og deltar i internasjonalt miljøarbeid.