

Spirulina - pionerorganismen i internasjonal algekulturateknologi

Av Gjert Knutsen

Dr. philos Gjert Knutsen er professor ved
Institutt for mikrobiologi, Universitetet i Bergen

Sammendrag

Utforskning de siste 20 årene av den spiralformede cyanobakterien *Spirulina*, har vist at den har mange helsefremmende egenskaper og at den inneholder mange medisinske viktige substanser, som f.eks. gamma linolensyre, vitaminer, virushekkere, B-caroten og fycocyanin. *Spirulina* forekommer naturlig i masseoppblomstringer blant annet i sodasjøer, som Chadsjøen i Afrika. Der har stammefolk og flamingoer spist *Spirulina* i uminnelige tider. Dette og omfattende toksikologiske undersøkelser, har vist at *Spirulina* er ufarlig å spise. Den er derfor blitt et populært kosttilskudd og helsekostprodukt med stadig stigende etterspørsel verden over. Dette har vært drivkraften i utvidelsen av produksjonen og dermed utviklingen av storskala sollysdrevne produksjonssystemer, "raceways", og prosesseringsmetoder for mikroalger. *Spirulinabiomassen* er det mest vellykkede av de svært få mikroalgeprodukter, som etter mange års forskning og store investeringer, har nådd markedet. Den

kan derfor med rette kalles "Pionerorganismen innen internasjonal algekulturateknologi". Årsproduksjonen på verdensbasis er nå ca 3000 tonn tørrstoff, og den foregår i mange land. *Spirulina* vokser best ved omkring 35° og den trenger bare lys, mineraler, natrium bikarbonat, vann, CO₂ og lys for å vokse. Hver "raceway" kan være opp til 4000 m² store, kulturdybden er 20 - 30 cm, og kulturen drives rundt i systemet ved hjelp av skovlhjul. Gjennomsnittlig daglig tørrstoffproduksjon er 15 - 20 g/m², dvs opptil 7000 kg per mål per år. Dette er direkte nyttbar biomasse, og en produktivitet som ligger langt over produktiviteten til soyabønner, mais og hvete. Biomasse i form av pulver kan i store kvanta kjøpes for ca. 55 kr/kg. Det finnes mange stoffer i *Spirulina* som kan ha et marked, og som kan fremstilles relativt rimelig ved en flerproduktutnyttelse av biomassen. I Norge foregår produksjonsrelatert forskning av *Spirulina* ved Institutt for mikrobiologi ved Universitetet i Bergen.

Tittelen på foredraget ble gitt meg av arrangørene av møtet. Virksomhetsområde som møtet handler om er kalt algekulturdyrknigsteknologi. Det er kanskje vel så riktig å kalle det for algebioteknologi, for emnet går jo langt ut over de rent dyrkningsmessige aspektene. Som all bioteknologi er algebioteknologien et forretningsområde. Det vil si en utnyttelse av organismene til fremstilling av produkter for et marked, eller utnytte dem i prosesser av kommersiell eller samfunnsmessig betydning. Med andre ord dreier det seg i virkeligheten om å komme fra alger til penger, ikke forskningspenger, men inntekter fra et marked. Men dette har ikke vært enkel å oppnå, og er det heller ikke fortsatt. Starten på algebioteknologien går helt tilbake til eksperimentene som Harder og von Witsch gjorde under den andre verdenskrigen med fettproduksjon i kiselalger til brensel og mat. Frem til idag har det på verdensbasis blitt brukt milliarder av kroner for å få frem produkter eller prosesser fra mikroalger for salg. Denne forskningen og utviklingen har vist at potensialet er stort, men av forskjellige grunner så har det i svært liten grad vært et kjøpevillig marked. Den kommersielle utnyttelsen av mikroalger har vært på et lavt nivå. Mest utbredt har algebruken vært i prosesser som akvakultur, hvor slike alger brukes som larve- og yngelfor i oppdrett av skjell, reker og fisk og innen vannrensingen. Der anvendes de blant annet som komponenter i kombinerte alge/bakteriesystemer, såkalte High Rate Oxidation Ponds.

Bortsett fra noen ganske få nisje-

produkter, foreløpig av liten økonomisk betydning, er det kun fire mikroalgeprodukter som har slått gjennom og som har en viss betydning som salgsvare idag. Det er biomasse fra *Spirulina* og *Chlorella*-spesier, og β -caroten fra *Dunaliella salina* og carotenoidet astaxanthin fra *Haematococcus pluviialis*, den siste foreløpig i beskjedne grad. *D. salina* er en marin alge, mens de tre andre er ferskvannsalger. β -carotenet går til farmasøytisk industri og næringsmiddelindustrien, mens astaxanthinet brukes innen medisin og helse som antioksydant, og innen akvakultur til farging av laks. Dyrkingsteknikken for alle disse er stort sett ens.

Spirulina er en spiralformet filamentøs cyanobakterie (blågrønnalge). Filamentene, som er ca 8 μ m brede, er kjeder av enkeltceller. Spirallengden kan komme opp imot 1 mm, og kan dermed sees med blotte øye. *Spirulina* er fotoautotrof, dvs at den lever av mineral-salter, vann og CO₂ og utfører fotosyntese, akkurat som landplantene. Dens tilhørighet til sodasjøer gjør at den vokser optimalt i høy konsentrasjon av natrium bikarbonat. Som de fleste cyanobakterier er den følsom for sterkt lys, men den gjensidige skyggingen man får i tette kulturer reduserer denne fotoinhiberingen. Kommersielt er det for det meste *Spirulina platensis* som dyrkes, men også *Spirulina maxima* produseres. Det har vært en diskusjon om *Spirulinas* plassering i cyanobakteriesystematikken, og *S. platensis* er nå systemmessig kalt *Arthrospira platensis*. Dens egenskaper kommer jeg tilbake til.

For å forstå hvorfor *Spirulina* er blitt

et vellykket produkt, i all hovedsak som kosttilskudd benyttet av hundretusener verden over, må vi se både på *Spirulina*-historien og organismens egenskaper relatert til menneskehelsen.

Forløperne for *Spirulina* som algeprodukt, var den encelled grønnalgen *Chlorella*. Tilbake på 1950-tallet var den utgangspunktet for utvikling av mikroalger som encelleprotein. Det var store forhåpninger og stor forskningsinteresse for denne algen, som viste seg å ha mange viktige helsemessige egenskaper. Det var japanerne som først og fremst sto for den forretningsmessige utnyttelsen av *Chlorella* innen helsekostområdet. Japanske og taiwanesiske firma utviklet en produksjonsindustri for *Chlorella* basert på utendørs sollysdrevne dyrkingssystemer av anleggstypen som kalles "raceway" eller rundbanesystem. De produserte *Chlorella* for bruk over hele verden. Denne teknologien ble overført til dyrking av *Spirulina* og er siden blitt standardmetoden for slik produksjon.

Spirulina kom først i bruk fra slutten av 1960-tallet, og overtok etter hvert *Chlorellas* rolle som algen i helsekosten. *Spirulina* ble oppdaget og beskrevet allerede i 1827, så dens vitenskapelige liv er ganske langt. Men adskillig lenger er dens liv i ernærings-sammenheng. Det er både spennende og viktig å kjenne til den siden av historien også, viktig fordi den viser erfaringsmessig at *Spirulina* både er ufarlig å spise og at den kan være et viktig næringsmiddel. I en kortversjon er den slik:.

I 1940 ble det vist at et næringsmid-

del kalt dihe av Kanemboufolket, som bodde rundt Chad-sjøen i Sentral-Afrika, besto av tørket *Spirulina platensis*. Det ble solgt på det lokale markedet, og det var produsert ved oppsamling av algen fra sjøen og soltørking. *Spirulina* i sjøen var også hovedmaten for flamingoene som levde der. Man hørte ikke mer om disse oppdagelsene før botanikeren Leonard i Den belgiske trans-saharaekspedisjonen i 1963 gjenoppdaget dihe på de innfødtes markeder rund Fort Lamy i Chad. Det franske petroleumsinstituttet grep nå fatt i *Spirulina platensis* og startet både forskning og utvikling for dens utnyttelse i humanernæringen. Deres kjemiske analyser viste blant annet at proteininnholdet var ekstremt høyt, opp til 68 % av tørrvekten, det høyeste i noen organisme som har vært undersøkt. Samtidig hadde denne forskergruppen under ledelse av Hubert Durand-Chastel, nå fransk senator, begynt å interessere seg for *Spirulina maxima*, som fantes i store mengder i et sodainndampingsanlegg i Texcocosjøen ved Mexico City. Det var ingen indikasjoner på at *Spirulina* ble brukt i det moderne Mexico, men historiegransking viste at i tiden omkring de spanske erobrerne i Mexico ble *Spirulina* høstet fra sjøen, tørket og solgt som mat. Her har vi altså to befolkningsgrupper over 10 000 km fra hverandre som hadde oppdaget og utforsket *Spirulina* uavhengig av hverandre, og over generasjoner benyttet den som næringsmiddel.

Franskmennene utviklet *Spirulina*-produksjonen i Texcocosjøen til verdens første og største kommersielle produk-

sjonsanlegg, som kom i drift på 1970-tallet. Indiske, japanske, europeiske, amerikanske og israelske forskere begynte også produksjonsforskning av *Spirulina* på slutten av 1960-tallet, og flere firma startet kommersialisering, deriblant det japanske Dainippon Ink & Chemicals, Earthrise Farms og Light Force, de to siste firmaene henholdsvis til pionerene Larry Switzer og Christopher Hill, i USA. Landsbysystemer ble også utviklet for å hjelpe sultende i utviklingsland, først og fremst av amerikaneren Ripley Fox og inderen Sesahdri. Forskningsresultater over et vidt felt av *Spirulinas* egenskaper kom fra universiteter og høyskoler over hele verden, og disse viste klart at *Spirulina* hadde et mangfold av helsebringende egenskaper. Noen av de involverte forskerne, spesielt Hill, Durand-Chastel og Fox, hadde vyer om at storstilt produksjon av *Spirulina* kunne redde mange av de millioner som dør av sult årlig. Men for å få dette til måtte man først vise at en industriell produksjon var mulig og lønnsom. I 1981 utbasunerte bladet The National Enquirer *Spirulina* som en magisk diettpille, brukertallet eksploderte over natten. Men boomen ga seg i 1983 og salget gikk drastisk ned, men allerede i 1987 begynte det å ta seg opp igjen. Siden den gangen har både produksjonsvolumet og antall seriøse produsenter steget, og idag produseres *Spirulina* mange steder i verden. Produksjonen for 1998 var forutsagt å bli ca 3000 tonn tørr biomasse, og for de kommende årene ventes en sterkt økende etterspørsel og produksjon. De aller fleste pro-

ducentene ligger innen 20 grader på begge sider av ekvator, for der finner man de beste solforholdene for *Spirulina*-dyrking. Blant produksjonslandene finner vi USA, Chile, Peru, Cuba, India, Israel, Burma, Spania, Japan, Taiwan, Bangladesh og Kina. Kina ser nå ut til å bli en av hovedprodusentene, og den kinesiske regjering har godkjent *Spirulina* som et offentlig næringsmiddel. Etter hvert som industrien har utviklet seg har der vært en parallell utviklingen og forbedring av metoder i alle ledd fra dyrking til markedsføring, og antall vitenskapelige og tekniske publikasjoner kommer i økende tempo. Det foreligger i dag flere bøker som handler om de fleste sider ved *Spirulinas* biologi, produksjon og anvendelse. Noen av dem finnes i litteraturlisten.

Produktet *Spirulina*

Suksessen til *Spirulina* som produkt slydtes for det aller meste de medisinske og helsemessige egenskapene, som etterhvert er meget godt dokumentert. Det er de hundretusner av fornøyde brukere verden over som har gjort *Spirulina* til en pioneralge innen storskala forretningsmessig produksjon av alger. Dens potensiale innen kjemikalieproduksjon, som akvakulturfor, og for fremstilling av medikamenter kan lettere realiseres nå når produksjonsteknologien er gjennomprøvet. Det gjelder også bruken i Den tredje verden. Det første rene kjemikalium av noen betydning fra mikroalger er det vannløselige blå bilepigmentet fycocyanin.

cyanin som er lett fremstilt fra *Spirulina*-biomassen. Det brukes som fargestoff for næringsmidler og innen bioteknologi og kosmetikk. I det følgende beskrives kort hovedtrekkene i den kjemiske sammensettingen av *Spirulina* og de viktigste egenskapene relatert til medisin og helse. Sammensettingen av alger avhenger mye av dyrkingsfor-

holdene, såsom temperatur, lystilgang og kulturmediets sammensetting. Men man kan likevel gi noen generelle verdier for *Spirulinas* innhold av forskjellige substanser.

Den grovere sammensettingen av *Spirulina*-biomasse sammenliknet med det man finner i egg (E) og melk (M), er slik tabellen viser.

Prosent av tørrstoffet.	Sp.	E	M
Protein	60-71%	47 %	26 %
Karbohydrater	13-16 %	4 %	38 %
Fett	6-7 %	41 %	28 %
Mineraler	8 %		
Nukleinsyrer	3-4,5 %		
Pigmenter, vitaminer og andre stoffer	2-3 %		

Det har lite for seg å sette opp detaljerte tabeller over sammensettingen av proteinene, fettsyrene og mineralene. Grundige analyse er gjort, og sammenstillinger finnes i den angitte litteraturen, så her gis bare noen generelle beskrivelser av egenskapene deres. Proteinene er grundig undersøkt mht sammensetting og biologiske verdi og inneholder alle de essensielle aminosyrene i en profil som er svært gunstig i forhold til våre aminosyrekrav. De har også høy biotilgjengelighet, blir godt utnyttet og er lettfordøyelige: Biologisk verdi er 70%, netto utnyttelse 54%, fordøybarhet 80% av caseinets verdier.

Fettsyrene er også godt studert. Som kjent er det to rekker av flerumettede fettsyrer, nemlig omega-3-serien og

omega-6-serien. *Spirulina* har 6-serien og er riket av alle kjente næringsmidler på den essensielle gamma linolensyre, GLA. Den er forstadium til en rekke stoffer som er viktige for metabolismen vår, såsom prostaglandiner, leucotriner og prostacycliner. Ved GLA-mangel er *Spirulina* en viktig kilde for denne fettsyren. Det må også nevnes at en svovelholdig fettsyre som finnes i *Spirulina*, hemmer infeksjon av HIV-virus i celler, og at American Cancer Institute har stoffet til klinisk prøving. Celleveggen til *Spirulina* er fri for ufordøyelig cellulose. Den inneholder i stedet lettfordøyelige karbohydrater og biomassen utnyttes av dyr og mennesker uten at det er nødvendig å knuse cellene.

Karbohydratene i *Spirulina* er relativt dårlig undersøkt. Der er stivelse som opplagsnæring, samt celleveggskarbohydrater og varierende mengder slimstoffer. Det er ganske nylig vist at *Spirulina* inneholder et vannløselig sulfatholdig polysakkarid, kalt spirulan. Det er en sterk hemmer av infeksjoner av flere virustyper, såsom Herpes simplex virus, human cytomegalovirus, meslingvirus, kusmavirus, influenza A virus, og HIV-1. Et annet polysakkarid er vist å stimulerer reparasjon av stråleskadet DNA

Pigmentene i *Spirulina*, dvs klorofyll a, carotenoider og fycocyanin, er alle knyttet til fotosyntesen. Innholdet av alle tre er vanligvis svært høyt, men det kan variere ganske sterkt med dyrkingsforholdene. Klorofyll virker aseptisk og det stimulerer bloddannelsen hos dyr og mennesker. β -caroten og de andre carotenoidene er antioxydanter. Spesielt er β -carotenet påaktet i denne sammenhengen, men dets rolle som forstadium til vitamin A er også av stor betydning. β -caroten er vidt undersøkt for mulige virkninger mot kreft. β -caroten foreligger både som trans-isomer og cis-isomer, og det er vist at cis-isomeren er den mest biologisk aktive og at *Spirulina* har mye av denne formen. Vannekstrakter fra *Spirulina* og *Dunalilla* hemmer indusert munnhulekreft hos hamster, og induserte svulster forsvinner. Tilsvarende resultater har man fått med β -caroten. Videre er det vist at β -caroten stimulerer den kjemiske signalgangen mellom cellene i kroppen.

Med sitt relativt høye innhold av β -

caroten er *Spirulina* en viktig kilde som vitamin-A-forstadium. Vitamin-A-efekten av *Spirulina* er dokumentert ved helbredelse av en svært utbredt øyensykdom hos barn i India. Fycocyanin stimulerer bloddannelse, styrker immunsystemet, og det har hemmende virkning på kreftceller. Det kan også nevnes at pigmentet inngår som en komponent i et patentert antistulstpreparat.

Vitaminer. *Spirulina* er rikt utstyrt med vitaminer. Men det spesielt interessante er det høye innholdet av vitamin B12, og som gjennom biotilgjengelighetstester har vist at *Spirulina* virkelig er en god B12-kilde.

Mineralsammensetningen vil lett variere med dyrkingsforholdene og med mineralinnholdet i vekstmediet. Jerninnholdet er ganske høyt og jemet er bundet til forskjellige proteiner. Polyaminer. *Spirulina* er rik på disse stoffene, som blant annet er vist å skjerme DNA i cellene fra degenerering, og dermed virke mot aldringsprosessene.

I tillegg til virkninger på organismen av enkeltstoffer som finnes i *Spirulina*, beskriver litteraturen mange virkninger som ikke henføres til bestemte stoffer, det jeg vil kalle helehetsvirkninger. Styrking av immunsystemet er allerede nevnt. *Spirulina* er entydig en kraftig styrker av dette, noe som er vist i undersøkelser med en rekke dyreslag. Styrkingen finner sted både av det hormonbaserte systemet og det cellebaserte. Foringsundersøkelser viser at selv små mengder *Spirulina* bygger opp begge systemene. Produksjonen av antistoffer og cytokiner økes slik at

infeksjonsfaren nedsettes. I det cellebaserte systemet forbedres T-cellene, makrofagene, B-cellene og drepe-cellene til å virke optimalt på tross av ytre stresspåvirkninger fra toksiner og infeksjoner.

I kliniske undersøkelser er det også funnet at inntak av *Spirulina* reduserer kolesterolinnholdet i serum etter kort tids bruk, og at åreforkalkninger også minker. Når det gjelder forgiftning og stråling fra kjernekraftulykker har forskningen vist at behandling med *Spirulina* har gunstige virkninger. Tester utført ved Instituttet for strålingsmedisin i Minsk i Hviterussland, viste at *Spirulina* førte til utskillelse av radioaktive stoffer fra kroppen. Barn som hadde fått store mengder radioaktive stoffer i seg etter Tsjernobylulykken fikk redusert cesium-innholdet ved inntak av *Spirulina*.

Toksikologiske undersøkelser

Mange vil kanskje spørre hvor sikkert det er å spise *Spirulina*. Først og fremst kan man vise til Kanemboufolkets og Aztekernes erfaringer. Men det kreves nok mer kunnskap enn dette. Det er derfor viktig å kunne vise til de svært mange undersøkelser med *Spirulina* på dyr, utført for å påvise mulig akutt og kronisk giftighet. Undersøkelsen til Chamorro fra 1980 er den mest omfattende som er publisert. Korttids- og langtids-studier med rotter av subakutt og kronisk giftighet, reproduksjon, melkeproduksjon, mutagenisitet, foste-
rutvildning (3 generasjoner over 3 år),

organvekter, histopatologi, analyser av blod, urin, serumprotein og noen enzymer, ga denne konklusjonen: "None of the many parameters looked for showed any variations that might have been caused by the feeding of the three algal diets." Professor Becker, som omtaler disse og andre undersøkelser som støtter fullstendig opp under dette i sin bok *Microalgae biotechnology and microbiology* fra 1994, konkluderer slik: "Studies on acute or chronic toxicity failed to reveal any evidence that would restrict the utilization of properly processed algal material, and it is quite unlikely that further studies will disclose any toxic potential of the alga described here."

Produksjonsteknologi

For produksjonen av mikroalger i kommersiell skala trengs det i tillegg til næringskomponentene også et industrielt dyrkingssystem, samt utstyr for høsting og prosessering. Ved denne biomasseproduksjon er hovedbegrensingen vanligvis lysenergi. Alle de andre faktorene kan ganske uproblematisk fremskaffes i tilstrekkelige mengder og konsentrasjoner. Av kostnadmessige grunner må man basere seg på sollyset, og dette er grunnen til at det aller meste av algeproduksjonen foregår i de solrikeste områdene. Det aller meste av *Spirulina* dyrkes i "raceways", grunne dammer som minner om løpebaner. De er langstrakte med buete ender og et midtskille, og hvor kulturen drives rundt med en fart på ca 30 cm/s ved hjelp av skovlhjul. Dammene er kledd

med plasmembraner, og er 1000 - 4000 m² store, og med kulturdybder på 20 - 30 cm. Optimumstemperaturen for *Spirulina* er ca 35°, og på grunn av filamentstørrelsen er den letthøstelig, både ved filtrering og sentrifugering. Og med påfølgende fleretrinns vask og tørking fås det salgbare produktet. I den kommersielle produksjonen tørkes algene til pulver vanligvis ved sprøyte-tørking, som ved tørrmelkproduksjon, eller ved trommeltørking til flak. I sjeldnere tilfeller ved frysetørking. I butikene foreligger *Spirulina* både som pulver, tabletter, kapsler og flak. Under gunstige betingelser kan den gjennomsnittlige dagsproduksjonen over året være ca 15 - 20 g tørrstoff per kvadratmeter. Det er en årsproduksjon på hele 6000 - 7000 kg tørrstoff/mål, mot 400, 700 og 600 kilo tørrstoff for henholdsvis hvete, mais og soyabønner. Sammenliknet med vanlige landbruksprodukter er *Spirulina* altså disse langt overlegen mht produktivitet. Og dens biomasse er uten røtter, stengler og andre unyttige deler, og med opptil 70 % protein. I motsetning til de nevnte plantene høstes *Spirulina* gjennom hele året. Produksjonsmetoden er også meget miljøvennlig når en ser på det relativt lave vannforbruket og de små avfallsmengdene. Det er bare en håndfull alger som kan greie å opprettholde en monokultur i utendørsanlegg, heriblant er *Spirulina platensis* og *Dunaliella salina*. Grunnen til dette er deres spesielle næringstoleranser, *Spirulina* som krever høy bikarbonatkonsentrasjon og *Dunaliella* som vokser godt ved svært høy saltkonsentrasjon. Både Chad-

sjøen og Texcocosjøen er sodasjøer med høye bikarbonatkonsentrasjoner og høy pH, og stort sett vokser ingen andre alger under slike forhold ved optimumstemperaturen for *Spirulina*. I produksjonsprosessen gjenskapes slike forhold for å kunne holde produksjonen fri for konkurrenter.

Kvaliteten på produktet avhenger av kvaliteten på vannet og kjemikaliene som brukes. Ren luft over kulturene og lite nedbør er også avgjørende momenter. Videre er seriøsiteten i produksjonsopplegget, dvs anvendelse av kontrollrutiner og nøye overvåking av algekvalitet og anleggsfunksjon av største betydning for suksess. I tonnkvanta kan man idag få kjøpt *Spirulina*-biomasse som pulver for ca 55 kr per kilo.

Anvendelse av *Spirulina* innen romfart undersøkes blant annet av NASA, som tenker seg den brukt i livsoppholdelsessystemer ved lange romferder. Men de største utfordringene når det gjelder *Spirulina* er idag realiseringen av ideene om å bruke den for å redde verdens underernærte barn fra sultedøden. Detaljerte planer for dette er frem satt av Dr. Fox gjennom flere år, og de er beskrevet i hans bok "Spirulina: Production & potential". Regjeringen i Bangladesh har allerede tatt skritt for å gjennomføre dette i eget land

Det er klart vist i denne gjennomgåelsen at det er som kosttilskudd og helsekost for et stadig voksende marked at *Spirulina* er blitt pionerorganismen i den internasjonale algebio-teknologien. Det er i dette markedet den høyeste prisen til bruker oppnås. Ved utviklingen av produksjonsteknikken

har produksjonsprisen gått ned, og det skulle nå være mulig gjennom flerproduktutvinning fra en og samme biomasse å skape andre rimelige produkter, dersom et marked finnes for dem.

I henhold til programmet var hensikten med møtet også å gjøre kjent hvem som arbeider innen algebioteknologien i Norge. Jeg vil derfor til slutt nevne at vi i Algeforskningsgruppen ved Institutt for mikrobiologi ved Universitetet i Bergen, de siste 10 årene har forsket på forskjellige sider av *Spirulinas* produksjonsrelaterte biologi. Flere hovedfagsstudenter har tatt sine oppgaver på denne organismen, og doktorgradsstudent Kjetil Aursland arbeider med regulering av enzymet superoxid dismutase i den. Min egen erfaring med *Spirulina* skriver seg ellers fra ialt 10 månedes forskningsopphold ved et bioteknologifirma på Hawaii som dyrket *Spirulina* i kommersiell skala. I Algegruppen arbeider også 1. amanuensis Svein Rune Erga, 2 ingeniører og 6 hovedfagsstudenter, ialt 10 personer. Utenom *Spirulina* forsker og underviser vi innen generell algefysiologi, alges økofysiologi og algebioteknologi.

Anbefalt litteratur

- Algal and Cyanobacterial Biotechnology. 1989. Ed Cresswell, RC., TAV. Rees og N. Shah John Wiley & Sons Inc., New York
- Becker, E.W. 1994. Microalgae. Biotechnology and microbiology. Cambridge Univesity Press. Cambridge.
- Belay, A. Y. Ota, K Miyakawa, og H. Shimamatsu. 1993. Current knowledge on potential health benefits of Spirulina. Journal of Applied Phycology, 5, 235-241.
- CRC Handbook of Microalgal Mass Culture. 1986. Ed Richmond, A CRC Press, Inc. Boca Raton. Florida.
- Fox, RD. 1996. Spirulina: Production & potential. Edisud. Aix-en-Provence. Frankrike. Micro-algal biotechnology. 1988. Ed. Borowitzka, MA og IJ. Borowitzka. University Press. Cambridge.
- Spirulina, algae of life. 1993. Ed. Doumenge, F., H Durand-Chastel og A. Toulemont. Bulletin de l'Institut Oceanographique. Monaco. No Special 12.