

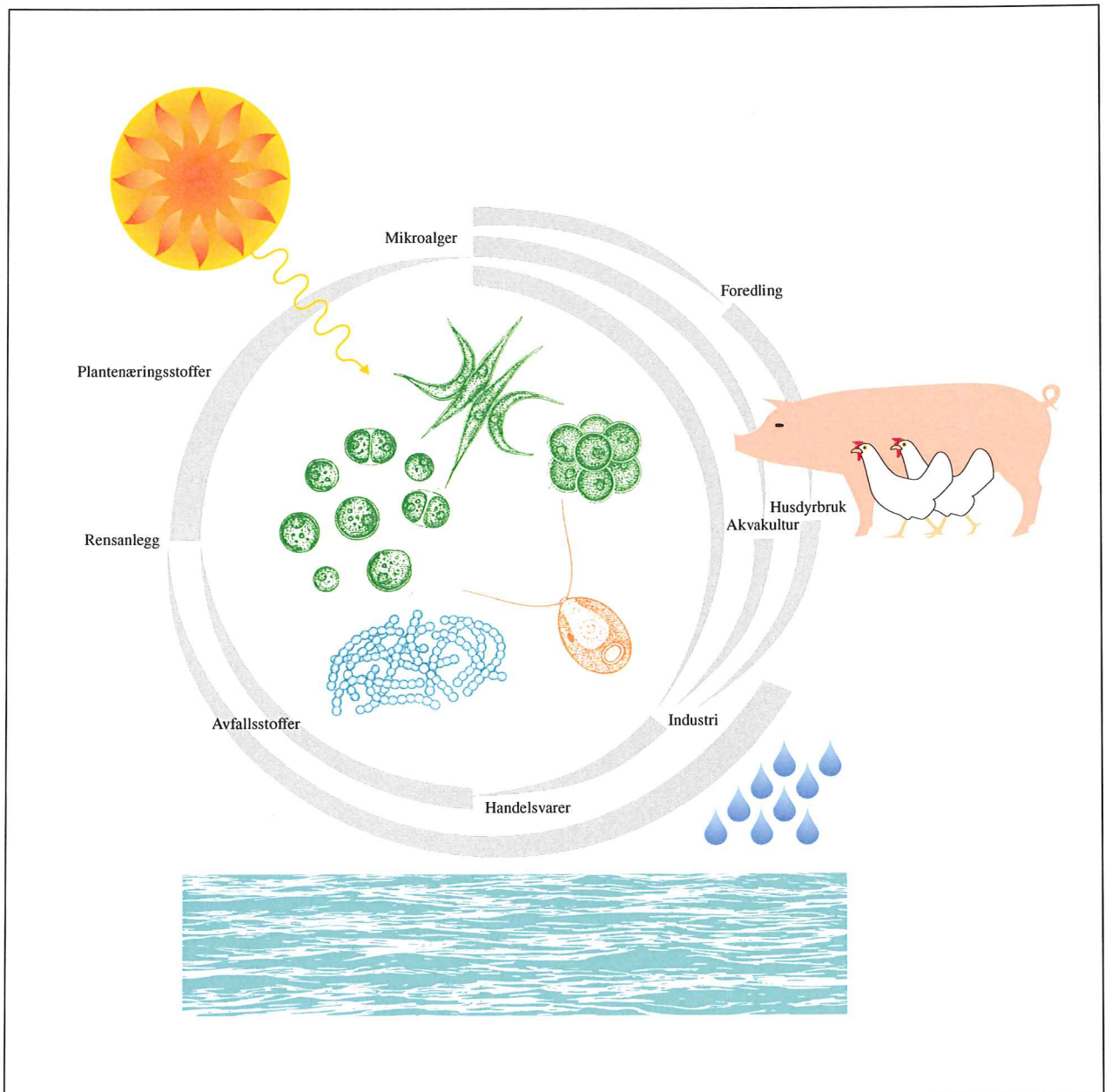
NIVA



RAPPORT LNR 4156/99

Algekulturateknologi til bruk i fremstilling av fôrkomponenter

FoU-Programmet Bioproduksjon og Foredling
Felleskjøpet Fôrutvikling
Norsk institutt for vannforskning



Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internet: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 37 29 50 55
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5
5008 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-NIVA A/S

9015 Tromsø
Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 77 68 05 09

Tittel Algekulturateknologi til bruk i fremstilling av førkomponenter	Løpenr. (for bestilling) 4156-99	Dato 29.12.1999
	Prosjektnr. Undernr. O-96261 E-96453	Sider Pris 40
Forfatter(e) <i>Torbjørn Auran, Felleskjøpet Fôrutvikling</i> Torsten Källqvist, NIVA <i>Håkon Langstrand, Felleskjøpet Fôrutvikling</i> Olav Skulberg, NIVA <i>Hallgeir Sterten, Felleskjøpet Fôrutvikling</i>	Fagområde Algekulturateknologi	Distribusjon
	Geografisk område	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Felleskjøpet Fôrutvikling	Oppdragsreferanse
---	-------------------

Sammendrag

Det ble i perioden 1997-1999 gjort teoretiske og eksperimentelle studier av mikroalgers egnethet som ingredienser i svinefôr og fjørfefôr. Et godt underbygget kunnskapsgrunnlag foreligger i faglitteratur som viser at et verdifullt proteintilskudd, forsyning med en eller flere essensielle aminosyrer samt nødvendige naturpigmenter kan besørges med mikroalger som førkomponenter. To mikroalger ble valgt ut til praktiske fôringsforsøk. Dette var NIVA *Selenastrum* (grønnalge) og NIVA *Oscillatoria* (blågrønnalge). Biomasse produsert med klonkulturer av disse algene ble kjemisk/ernæringsmessig karakterisert. Dyreforsøk med mink, slaktekylling og verpehøns ble utført ved Institutt for husdyrfag (NLH). Forsøk med smågris ble utført ved Felleskjøpet Rogaland Agder forsøksstasjon. NIVA *Oscillatoria* fremhevet seg med høyt proteininnhold og tilfredsstillende proteinfordøyelighet. De positive resultatene fremmer det videre utviklingsarbeidet med denne klonkulturen. NIVA *Selenastrum* var lite egnet som proteinfôrmiddel på grunn av lavt proteininnhold og liten fordøyelighet. Denne mikroalgen har et interessant stoffinnhold av karotenoider, og kan bli et viktig tilskudd i fôr til verpehøns. Den videre forskningsvirksomhet knyttet til algekulturateknologi i sammenheng med norsk fôrindustri, trenger å omfatte både produksjonssiden og ernæringsmessige studier. Den praktiske forsøksvirksomheten med algekulturateknologi vil bl.a. bli utført ved et anlegg for test- og pilotproduksjon av mikroalger i Slagen Energipark ved ESSO-raffineriet på Slagentangen i Vestfold. Dette AKT-ANLEGGET er nå under etablering

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Mikroalger 2. Husdyrfôr 3. Ernæring 4. Algekulturateknologi 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Microalgae 2. Fodder 3. Nutrition 4. Algal culture technology
--	--


Prosjektleder


Forskningsleder
ISBN 82-577-3769-0


Forskningsjef

Algekulturteknologi

**Algekulturteknologi til bruk i fremstilling av
fôrkomponenter**

**FoU-Programmet Bioproduksjon og Foredling
Felleskjøpet Fôrutvikling
Norsk institutt for vannforskning**

Forord

Mikroalgene utgjør en ressurs med betydelig potensiale for praktisk anvendelse. Blant de viktigste bruksområder for produktene er utnyttelsen som næringsmidler til dyr og mennesker.

Norges forskningsråd - Bioteknologiprogrammet, området Bioproduksjon og Foredling - har bidratt med midler til å utføre aktuelle undersøkelser som kan fremme utviklingen av algekulturteknologi i Norge. Denne rapporten behandler resultater av et forskningsprosjekt i regi av Felleskjøpet Fôrutvikling hvor mikroalgens egnethet som fôrtilskudd til bl.a. smågris, slaktekylling og verpehøns er studert.

Prosjektet ble gjennomført i et faglig samarbeid mellom Felleskjøpet Fôrutvikling og Norsk institutt for vannforskning.

Sentrale medarbeidere har vært

- Torbjørn Auran, Felleskjøpet Fôrutvikling
- Hallgeir Sterten, Felleskjøpet Fôrutvikling
- Håkon Langstrand, Felleskjøpet Fôrutvikling
- Torsten Källqvist, NIVA
- Olav Skulberg, NIVA

Nyttige faglige innspill til planleggingen ble gitt av Bjarne Oterholm, Bioteknologiprogrammet, som har deltatt i arbeidsmøter under fremføringen av prosjektet.

Det rettes takk til våre samarbeidspartnere for interesse og positiv medvirkning, og til Norges forskningsråd for den økonomiske støtten til forskningsarbeidet.

Trondheim, 29.12. 1999
Felleskjøpet Fôrutvikling

Oslo, 29.12.1999
Norsk institutt for vannforskning

Torbjørn Auran

Torsten Källqvist

Innhold

Sammendrag	6
Microalgae for animal consumption	9
1 Innledning	10
2 Gjennomføring	10
3 Fôrindustriens behov	11
3.1. Proteiner/aminosyrer	11
3.2. Fett og fettsyrer	12
3.3. Karbohydrater	12
3.4. Fargestoffer/pigmenter	12
3.5. Videreutvikling av eksisterende fôrprodukter	12
3.6. Nye produktmuligheter	13
4 Mikroalgenes egenskaper og kvaliteter	13
4.1. Generelt om mikroalger i ernæringsammenheng	13
4.1.1 Protein	13
4.1.2 Lipider	15
4.1.3 Karbohydrater	16
4.1.4 Pigmenter	17
4.1.5 Vitaminer	17
4.1.6 Aromastoffer	18
4.1.7 Toksiner	18
4.1.8 Nukleinsyrer	19
4.1.9 Antibiotika og beslektede stoffer	19
4.1.10 Probiotika	19
4.2. Noen praktiske vurderinger	19
4.3. Bakgrunn for valg av aktuelle algetyper	24
4.4. Mikroalger benyttet i prosjektet	25
5 Praktiske forsøk	29
5.1. Produksjon av algebiomasse	29
5.2. Innledende undersøkelser av fordøyelighet (mink)	30
5.3. Algebiomasse som fôr til slaktekylling og verpehøns	31
5.4. Algebiomasse i fôr til smågris	32
5.5. Prosesser for opparbeiding av algebiomasse til fôr	32
6 Muligheter for bruk av mikroalger i fôr	35
6.1. Generelt	35
6.2. Spesielt	35

7 Videre virksomhet	36
8 Referanser	36

Figurer

Aminosyresammensetning i NIVA <i>Selenastrum</i> (AnalyCen 1995).....	27
Aminosyresammensetning i NIVA <i>Oscillatoria</i> (Nordisk Analysecenter 1988).....	28
Aminosyresammensetning i <i>Spirulina</i> fra Earthrise Co (BT76b).	28
Fettsyresammensetning i NIVA <i>Oscillatoria</i> (AnalyCen 1995).	29
Produksjonsanlegg for <i>Spirulina</i> i California. (Earthrise Co.)	30
Effekten av forskjellige prosesseringer på <i>in vitro</i> fordøyelighet av grønnalgen <i>Scenedesmus obliquus</i> og blågrønnalgen <i>Spirulina</i> sp. 33	

Tabeller

Sammenlikning mellom stoffinnhold i vanlige næringsmidler og noen mikroalger.....	15
Stoffmengder av noen pigmenter i blågrønnalger. (Eksempel, arter i ordenen Oscillatoriales)	17
Eksempel på vitamininnhold i noen matvarer og mikroalger.....	18
Sammenliknende data for biologisk verdi (BV), fordøyelighetskoeffisient (DC) og netto proteinutnyttelse (NPU) hos ulike alger, casein og egg.	20
Eksempler på algeslekter med potensielle arter for anvendelse til produksjon av fôrstoffer	24
Eksempler på stoffinnhold – prosent av tørrstoff i utvalgte mikroalger for produksjonsformål.....	25
Stoffinnhold i mikroalgene som ble benyttet.	26
Effekt av enzym- og varmebehandling av grønnalgen NIVA <i>Selenastrum</i> på fordøyelighet av organisk stoff (EFOS) og nitrogen (EFN).	34
Effekt av enzym- og varmebehandling av blågrønnalgen NIVA <i>Oscillatoria</i> på fordøyelighet av organisk stoff (EFOS) og nitrogen (EFN).	34

Sammendrag

Forskningsvirksomhet under BIOTEKNOLOGIPROGRAMMET, Norges forskningsråd - området Bioproduksjon og Foredling - som ble administrert av Felleskjøpet Fôrutvikling og gjennomført 1996 i samarbeid med Norsk institutt for vannforskning, resulterte i en positiv bedømmelse av bruken av mikroalger til fremstilling av fôrkomponenter. På dette grunnlaget ble mikroalger som ingredienser i svinefôr og fjørfefôr tatt opp til forskningsmessig bearbeiding i prosjektet som rapporteres her. Arbeidet ble utført i perioden 1997-1999.

Foruten egen kompetanse ved Felleskjøpet Fôrutvikling og Norsk institutt for vannforskning, var det omfattende bruk av faglig bistand og laboratoriehjelp til oppgaveløsningen i prosjektet. Dette gjelder bl.a. samarbeid med Institutt for husdyrfag (NLH), Institutt for farmakologi, mikrobiologi og næringsmiddelhygiene (NVH) og Bioteknologisk institutt (Kolding, Danmark).

Norsk fôrindustri vil i første rekke kunne være tjent med fôrkomponenter fra mikroalger som kan:

- gi proteintilskudd til svinefôr og fjørfefôr,
- øke innhold av en eller flere essensielle aminosyrer,
- forsyne husdyr med nødvendige naturpigmenter som gir ønsket farge på produkter.

Protein. Proteininnholdet er gjennomgående høyt i mikroalger. Blågrønnalger har eksempler på arter med de høyeste proteinkonsentrasjoner som er kjent i naturlige fôrplanter (60-70% av tørrstoffinnhold). Dette er høyere andel enn i f.eks. korn (8-14%), fisk (15-20%), soyabønner (35%) eller tørrmelk (35%). Netto proteinutnyttelse bestemt i eksperimentelle biotester er om lag 62%. Mikroalger er fremtredende produsenter av essensielle aminosyrer (bl.a. valin, leucin, isoleucin, fenylalanin, tryptofan, treonin, lysin, histidin), men de er gjennomgående relativt fattige på svovelholdige aminosyrer (cystein, metionin). Mikroalger i slektene *Spirulina*, *Chlorella* og *Scenedesmus* blir f.eks. benyttet som høyverdig proteintilskudd i fôr på grunn av sitt innhold av essensielle aminosyrer.

Lipider. Lipidinnholdet i mikroalger kan variere mellom 1%-70% av tørrstoffet bestemt av art og dyrkingsbetingelser. Den kjemiske sammensetningen er hovedsakelig lik som for andre vegetabiliske oljer. Algelipider består gjerne av estere av glycerol og fettsyrer med uforgrenede hydrokarbonkjeder med et like antall karbonatomer. Lipidproduksjon basert på mikroalger hører til de mest interessante muligheter for en praktisk anvendelse av algekulturteknologi. Blågrønnalgene kan ha høyt innhold av flerumettede fettsyrer (25%-60% av totallipid). Mens grønnalgene er rike på α -linolsyre ($C_{18:3}$), er γ -linolsyre f. eks. den dominerende fettsyre i blågrønnalger. Tilstedeværelsen av disse fettsyrene er av viktighet for vurderingen av bruken av mikroalger i mat og fôr. Det kan nevnes at andelen av fri fettsyrer (FFA) - som har intens smak og lukt - er gjennomgående liten i mikroalger.

Karbohydrater. Mikroalgens innhold av karbohydrater kan variere mellom 20% og 45% på tørrstoffbasis. Stoffenes kjemiske sammensetning er bl.a. knyttet til genetiske forhold, fysiologiske faktorer og vekstbetingelser. Produksjon av monosakkarider som glukose, fruktose og galaktose kan ha praktisk betydning i ernæringsammenheng. Imidlertid er det stoffgruppen polysakkarider som får størst oppmerksomhet i industriell forbindelse.

Pigmenter. Mikroalger er viktige produsenter av et stort spektrum av fargestoffer. Deres aksessoriske pigmenter kan til dels bli dannet i større mengder enn primærpigmentene (klorofyllforbindelser). I praktisk sammenheng hører pigmentene i mikroalgene med blant de økonomisk mest interessante

produkter. Til disse regnes bl.a. karotenoider (0,1-2% av tørrstoff) og fykobiliproteiner (ca 30% av tørrstoff, blågrønnalger).

Vitaminer, aromastoffer, probiotika. Mikroalger utgjør en verdifull ressurs for vitaminer og aromastoffer av betydning for husdyrfôr. Bruk av mikroalger i sammenheng med mat/fôr har vist helseeffekter av probiotisk natur.

Antibiotika. I sammenheng med fôrindustriens behov for coccidiostatika i tilknytning til fjørfe-produksjonen bør alternative substanser fra mikroalger få oppmerksomhet.

Nukleinsyrer. Mikroalger har et betydelig lavere innhold av nukleinsyrer (4-6% av tørrstoff) sammenliknet med f.eks. bakterier og sopp som benyttes til fôrproduksjon.

Toksiner. Stoffer av denne natur innebærer behov for nøye oppfølging når det gjelder bruk av mikroalger til mat og fôr. Dette angår så vel valg av dyrkningsorganisme, som kontroll av produktene som fremstilles. Det er et relativt lite antall arter av mikroalger som er kjent for produksjon av toksiner. Hvis egnede mikroalger produseres og prosesseres på en forsvarlig måte, har man ikke erfart noen akutte eller kroniske toksiske effekter. Ved flergenerasjonsstudier har man ikke påvist negative effekter på reproduksjon eller avkommets kondisjon.

Praktiske vurderinger og erfaringer ved bruk av mikroalger til fôr er gjennomgått i rapporten. Resultater av en lang rekke fôringsforsøk med rotte, kylling, svin, drøvtyggere og fisk har vist at algeprotein har en høy næringsverdi, likeverdig eller bedre enn konvensjonelle planteproteiner. I tillegg til å gi proteintilskudd, bidrar mikroalger i fôr med fargestoffer som gir ønsket pigmentering av f.eks. eggeplomme. Bruken av mikroalger i fôr til fjørfe regnes som kanskje den mest lovende utnyttelsen av mikroalger. Det vises til mikroalgeproduksjon i et industrianlegg i Elbingerode (Tyskland) hvor tørket biomasse av *Chlorella* benyttes som fôr til kalkuner med positive resultater. Tilsetning av mikroalger i fôr til verpehøns kan også bidra til å øke innholdet av flerumettede fettsyrer i egg. Til dette formål benyttes utvalgte marine mikroalger som har et høyt innhold av eikosapentaensyre (EPA), som omdannes til docosahexansyre (DHA) i egg. Tilskuddet av n-3 fettsyrene fører hovedsakelig til en økning av DHA innholdet i eggeplommen.

Fôringsforsøk har vist stimulert immunaktivitet (øket fagocyt-aktivitet) hos kylling fôret med *Chlorella* (0,5% biomasse tilsatt kommersielt fôr). Tre ukers tilsetning av *Chlorella* (0,1% biomasse tilsatt kommersielt fôr) til verpende høner økte signifikant eggleggingskapasiteten og styrken på eggeskallet.

Drøvtyggere har evnen til å fordøye alger med cellevegger av cellulose slik at behandling av algebiomassen for å øke fordøyeligheten trolig ikke er nødvendig. Det rapporteres at storfe kan fôres direkte med flytende grønnalgekultur. På denne måten unngår man både høsting og forbehandling av algebiomassen. Denne fremgangsmåten er interessant i integrerte gårdsanlegg. Man kan tenke seg algeproduksjon i næringsrikt vann - for eksempel silosaft eller husdyrgjødsel - med direkte utnyttelse av algesuspensjonen som fôr til storfe.

Forsøkene referert til i rapporten viser at mikroalger i dyrefôr vil ha gunstig ernæringsmessig effekt på dyra, og at kostnadene mange ganger er fordelaktige sammenliknet med alternative fôringredienser. Forholdene vil selvsagt kunne variere betydelig for algeanlegg i ulike deler av verden, bl.a. avhengig av tilgang og pris på alternativt fôr. Økonomiske analyser inngår derfor som en viktig avklaring ved planlegging av produksjonsanlegg for mikroalger.

Grunnlaget for valg av aktuelle algetyper til fôrproduksjon blir behandlet. Høyt proteininnhold, god fordøyelighet, gunstig aminosyreinnhold og dekkende vitamininnhold er viktige egenskaper. Det er nødvendig at mikroalgene er enkle å dyrke under kontrollerte betingelser og er lite utsatt for sykdomsangrep og parasittisme.

To klonkulturer av mikroalger - betegnet henholdsvis NIVA *Selenastrum* og NIVA *Oscillatoria* - ble valgt ut til praktiske forsøk i prosjektet. Organismenes egenskaper - bl.a. kjemiske sammensetning i ernæringsammenheng - ble karakterisert og dokumentert. Biomasse av disse mikroalgene ble produsert i fotobioreaktorer på NIVA. Det ble dessuten benyttet kommersielt produsert *Spirulina* i forsøkene.

Innledende undersøkelser av fordøyelighet ble utført med mink ved Institutt for husdyrfag, NLH. Resultatene viste at NIVA *Selenastrum* er lite egnet som proteinfôrmiddel p.g.a. relativt lavt proteininnhold (35,2%) og for lav proteinfordøyelighet (54,2%). NIVA *Oscillatoria* har høyt proteininnhold og tilfredsstillende proteinfordøyelighet (82,2%), og virker derfor lovende som proteinkilde.

Det ble foretatt forsøk med algebiomasse som fôrtilsetning til slaktekylling og verpehøns. Ut fra produksjonsresultater med slaktekylling ser det ut til at algemasse av NIVA *Oscillatoria* kan være aktuell som framtidig proteinkilde i fôr til slaktekylling. Men det er behov for videre undersøkelser for å kartlegge årsaken til problemer knyttet til avføring med økende tilsetning av algemasse. Når det gjelder forsøkene med verpehøns, fremkom at økende tilsetning av algemasse av NIVA *Selenastrum* hadde klar effekt på plommefarge i egg. Xanthofyllet i denne algen ser ut til å bli like godt utnyttet som xantofyll fra råvarer som f.eks. maisglutenmjøl. Dette viser at mikroalger i framtida kan bli et viktig tilskudd i fôr til verpehøns.

Forsøk ble gjennomført for å teste bruken av algemasse av NIVA *Oscillatoria* som proteinråvarer i smågrisfôr. Konklusjonen ble at denne mikroalgen ser ut til å kunne være en aktuell proteinråvare i fôr til smågris. For å dokumenter effekten av denne råvaren bedre, bør det gjennomføres flere forsøk, og med høyere doseringer enn i dette forsøket.

Hensiktsmessige metoder for opparbeiding av algebiomasse til fôr ble prøvd ut i innledende forsøk. Tilgjengeligheten av proteiner og andre næringsstoffer i mikroalger varierer avhengig av bl.a. celleveggenes oppbygging. Proteinene i blågrønnalger, som har cellevegger bygget opp av peptidoglykan og lipopolysakkarider, utnyttes som regel effektivt av varmblodige dyr. For grønnalger, som har cellevegger hovedsakelig av cellulose, er utnyttelsen av proteiner derimot begrenset i enmagede dyr. Fordøyeligheten av grønnalger kan imidlertid forbedres ved prosesseringsteknikker som bryter opp celleveggene. Effekter av enzymer - og varmebehandling av NIVA *Selenastrum* og NIVA *Oscillatoria* er rapportert. Resultatene viser at positive virkninger for stofftilgang og fordøyelighet av næringsemner kan oppnås.

Oppgaver for den videre forskningsvirksomhet knyttet til algekulturteknologi i samarbeid med norsk fôrindustri trenger å omfatte både produksjonssiden og ernæringsmessige studier. Den praktiske forsøksvirksomheten med algekulturteknologi vil bli utført ved et anlegg for test- og pilotproduksjon av mikroalger i Slagen Energipark ved ESSO-raffineriet på Slagentangen i Vestfold. Dette AKT-ANLEGGET er nå under etablering.

Microalgae for animal consumption

The utilization of microalgae as source of foodstuff for livestock has internationally gained increasing interest. Generally it is not the intention to use the biomass as the sole source of feed, but as a supply with important nutrients to the basic diet. Since a major expense in animal production is in the feed, there is an incentive to find alternative high quality foodstuff to replace conventional sources. Considerations of this kind in Norway resulted in the project here reported, which was based on an initiative taken by Felleskjøpet Fôrutvikling.

Preliminary investigations were carried out using two strains of microalgae for the purpose, respectively NIVA *Selenastrum* (a green alga) and NIVA *Oscillatoria* (a blue-green alga). Feeding trials were conducted with poultry - chicken and laying hens - and piglets. The strain of NIVA *Selenastrum* had a low protein content (35,2%), and besides a low value for the net protein utilization (54,2%). However the content of carotenoids was satisfactory for giving a desirable colour on the egg yolk by xanthophylls. The strain NIVA *Oscillatoria* had a high protein content (>60%) and a high value for the net protein utilization (82,2%). The two strains will be used for further experiments in order to increase their content of the interesting nutritive compounds for animal feed. At the same time conditions for an effective production and harvesting of the microalgae will be followed up.

Title: Algal Culture Technology for production of components in farm animal feed

Year: 1999

Author: Auran., T., Källqvist, T., Langstrand, H., Skulberg, O & Sterten, H.

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: 82-577-3769-0

1 Innledning

Fotosyntetiske mikroorganismer utgjør en ressurs med betydelig potensial for praktisk utnyttelse. Mikroalgene har hittil i sammenheng med vannforskning hatt særlig interesse knyttet til undersøkelser av vannforekomster. Dette har bidratt til vesentlig kunnskap om mikroalger som nå kan benyttes til å løse forurensningsproblemer, nyttiggjøre avfallsprodukter og fremstille viktige varer for samfunnet. Forholdet innebærer positive muligheter for økonomisk utnyttelse av mikroalgene, og vil samtidig gi miljømessige forbedringer.

Algekulturt teknologi (AKT) går ut på å anvende mikroalger - prokaryote og eukaryote fotosyntetiske organismer - til å fremstille stoffer, eller i prosesser til spesielle formål. Internasjonalt har AKT blitt et omfattende interessefelt. Mikroalgene utgjør et nytt miljøvennlig produksjonsalternativ for essensielle varer basert på fremgangsmåter innordnet prinsippene trukket opp i Agenda 21 (The Rio Declaration on Environment and Development).

Under BIOTEKNOLOGI-PROGRAMMET, Norges forskningsråd - området Bioproduksjon og Foredling, ble det i 1995 foretatt undersøkelser bl.a. innenfor virksomhetsområdet til Felleskjøpet Fôrutvikling (NIVA 1996). Målsettingen var å vurdere muligheter for anvendelse av mikroalger som fôrtilskudd. Resultatene viste at det i første rekke ville være et proteinrikt produkt med lav bearbeidingsgrad som hadde hovedinteresse. Dessuten ville innholdet av fett/essensielle fettsyrer, pigmenter, strukturstoffer og vitaminer/mineraler være viktige i ernæringsmessig sammenheng. Produkter fra mikroalger som ingredienser i svinefôr og fjørfefôr ble vurdert som det primære anvendelsesområdet.

De aktuelle forutsetninger og muligheter som foreligger ble bedømt som positive for norsk fôrindustri. I samsvar med landbrukets renhetsstrategi vil dessuten biologisk fremstilte tilsetningsstoffer og næringsstoffer fra mikroalger være ettertraktet. På denne bakgrunn ble videreføringen av forskningen med mikroalger til fôrformål fremmet gjennom prosjektet som her blir rapportert.

2 Gjennomføring

Prosjektet har vært finansiert av Norges forskningsråd (området Bioproduksjon og Foredling - under Bioteknologi-programmet). Betydelig egenfinansiering ved de deltakende parter har dessuten inngått i virksomheten.

Oppgavene ble gjennomført i et faglig samarbeid mellom Felleskjøpet Fôrutvikling og Norsk institutt for vannforskning, og administrert av førstnevnte instans. Det har vært nødvendig med omfattende bruk av eksternt kompetanse og laboratoriehjelp til analyser og biotester. Spesielt i denne forbindelse kan nevnes:

Institutt for husdyrfag, Norges landbrukshøgskole, Ås
Bioteknologisk institutt, Kolding - Danmark

Institutt for farmakologi, mikrobiologi og næringsmiddelhygiene, Norges veterinærhøgskole, Oslo.

Resultatene fra prosjektet har - foruten i denne rapporten - vært fremlagt på konferanser og formidlet gjennom fagartikler. Noen viktige eksempler er:

Seminar i Norsk Vannforening, 11. november 1998, med tema "Fotosyntetiske mikroorganismer - anvendelse i algekulturteknologi". Oslo.

ICRO-UNESCO Workshop, Pannon Agricultural University, Ungarn. 11.-18.juni 1999.

8th International Conference on Applied Algology, Italia. 26.-29. september 1999.

I samarbeid med NRK-fjernsynet ble det laget et program i "Schrödingers katt" med hovedtema mikroalger til bioproduksjon/fôr etc. (sendt 16. september 1999).

3 Fôrindustriens behov

De husdyrfôrblandinger som FKF har produktansvar for er hovedsakelig basert på råvarer av norsk opprinnelse. De mest vanlige karbohydratråvarene er bygg, hvete og havre. Fettråvarer er i stor grad husdyrfett (destruksjonsfett), eller i enkelte tilfeller soyaolje og herdet marint fett. Proteinkravet i en fôrblending dekkes dels via proteininnholdet i karbohydratråvarene, men suppleres med rene proteinråvarer som fiskemel, fiskeensilasje og kjøttbeinmel som er norskprodusert. I tillegg kommer innslag av soya- eller rapsmel. Proteinråvarene har ofte et ikke ubetydelig innhold av fett, som samtidig er med på å tilfredsstille kravet til essensielle fettsyrer i fôrblendingene.

I tillegg til at de nevnte råvarene, som i hovedsak dekker en fôrblendings krav til energi og hovednæringsstoffene protein, fett og karbohydrater, vil de også langt på vei bidra til å dekke kravet til mineraler og vitaminer. Imidlertid varierer innholdet av mange mineraler og vitaminer sterkt i råvarene, slik at disse tilsettes i konsentrert form for sikkerhets skyld.

Andre tilsetningsstoffer som er vanlige, er rene aminosyrer. Disse brukes i de tilfeller der proteinråvarene ikke gir den ønskede aminosyreprofil. I tillegg brukes smak/aromastoffer (gris, hund, katt), syreregulatorer (gris og fjørfe), pigmentstoffer (fjørfe), coccidiostatika (fjørfe) og antioksydanter (hund, katt).

3.1. Proteiner/aminosyrer

Dyras behov for protein er egentlig et behov for aminosyrer. Det er omlag tyve aminosyrer som inngår i fôrsammenheng. Vi tar spesielt hensyn til de livsviktige aminosyrene (som dyra ikke produserer selv), og som det er størst fare for mangel på i en fôrblending basert på naturlige råvarer. Der de naturlige råvarene ikke dekker behovet, tilsettes rene, industrielt framstilte aminosyrer. Råvarer med høgt innhold av lysin, treonin, metionin og tryptofan er spesielt interessante til gris og fjørfe, da bruk av slike råvarer reduserer nødvendigheten av å supplere med rene aminosyrer.

Hos drøvtyggere brytes mesteparten av fôrproteinene ned i vomma for så å omdannes til mikrobeprotein. Dette mikrobeproteinet har en relativt stabil og god aminosyresammensetning, men

kan ikke helt dekke kuas behov for aminosyrer. Særlig ved høye ytelser, eller ved stort aminosyrebehov, må kua tilføres protein som ikke brytes ned i vomma, såkalt bypass-protein. Det er da viktig at vi bruker proteinråvarer som både har en gunstig aminosyreprofil og en lav nedbrytningsgrad. Det finnes idag kommersielle aminosyrer som er brukbart beskyttet mot vomnedbrytning.

3.2. Fett og fettsyrer

Fôrfettets kvalitet gjenspeiles ofte i fettkvaliteten hos dyra (slakte-, egg- og kvalitet på melk). Høgt innhold av flerumettede fettsyrer i fôret kan gi smaksfeil på sluttproduktet, da disse er lett oksiderbare. På en annen side er dette fettsyrer som karakteriseres som livsviktige, og som det er nødvendig å sikre behovet for. Spesielt gjelder forholdet linolsyre som er viktig til f.eks. fjørfe og hund/katt.

3.3. Karbohydrater

Storparten av dyras energibehov (bortsett fra hund/katt) dekkes via karbohydratinnholdet i fôret. Karbohydratdelen består av mange fraksjoner og hvor stivelse og fiber/trevler har en vesentlig betydning i husdyrnæringen. I tilfeller der de naturlige råvarene ikke dekker ønsket trevleinnhold, må rene trevleråvarer tilsettes. Det er videre funnet at enkelte oligosakkarider og beta-glukaner i fôr til smågris har bidratt til å styrke immunforsvaret.

3.4. Fargestoffer/pigmenter

Disse tilsettes fôr til eggleggende høner for å oppnå ønsket plommefarge. Dette gjelder i tilfeller der de naturlige råvarene ikke har et tilstrekkelig innhold av fargestoffer/pigmenter.

3.5. Videreutvikling av eksisterende fôrprodukter

Det produseres i Norge i overkant av 1,6 mill tonn kraftfôr til husdyr. Ca. 50 % av dette er fôr til storfe, ca 25 % er fôr til gris og ca 20 % er fôr til fjørfe. Resten fordeler seg på fôr til sau, geit, hest, hund og annet.

Produktutvikling innenfor dette området er en kontinuerlig prosess der en søker etter forbedringer ut fra bedriftens forretningsidé. På fôrsiden dreier det seg for tiden mye om kombinasjon av råvarer, prosess teknologi og ulike typer tilsetningsstoffer. Videre er fôrets hygieniske status aktuell på grunn av økt smittepress fra bl.a. salmonellabakterier (Enterobacteriaceae).

Produktutvikling i forhold til miljø har fått oppmerksomhet de senere år, både i sammenheng med forurensning fra husdyrholdet og når det gjelder å utnytte biprodukter fra næringsmiddelindustrien for å avhjelpe et miljøproblem.

I denne situasjon kan det argumenteres fra flere vinkler for bruk av algekulturateknologi til:

- å produsere næringsstoffer og tilsetningsstoffer for øvrig
- å redusere faren for salmonellasmitte som kan komme gjennom importerte fôrtilsetningsstoffer
- å «ta hånd om» den del av biproduktene som ikke kan brukes til fôr.

I framtidig videreutvikling av fôr til husdyr forventes algekulturteknologi, og produkter som fremstilles ved hjelp av algekulturteknologi, å være svært aktuelle å bruke.

3.6. Nye produktmuligheter

Det importeres i dag betydelige kvanta med tilsetningsstoffer og fôrråvarer (proteinmidler) som kan erstattes med algefremstilte fôrmidler og tilsetningsstoffer. En slik produksjon er uten tvil grunnlag for forretningsvirksomhet dersom de teknologiske forhold legges til rette for det. Fra vår side kjenner vi til at "algemel" i dag brukes som fargetilsetningsstoff i fôr til eggproduksjonen. I Norge bruker vi et stort kvantum av fargestoff kjemisk framstilt til "farging" av fiskekjøttet hos oppdrettslaks. Dette markedet venter svært på nye alternativer, da det nå nærmest er monopol på salget og dermed på prisen.

En nøktern vurdering med utgangspunkt i dagens kunnskaper er at følgende produkter/produksjoner i første rekke vil være relevante for algekulturteknologi:

- proteintilskudd til svinefôr og fjørfefôr
- aminosyreprodukt med spesiell høyt aminosyreinnhold av en eller flere av de essensielle aminosyrene
- fargestoff til farging av eggeplomme (et karotenoid som kan brukes til å gi godt fargepreg i oppdrettsfisk vil ha et stort marked).

4 Mikroalgenes egenskaper og kvaliteter

4.1. Generelt om mikroalger i ernæringsssammenheng

Bruk av mikroalger i ernæringsssammenheng har fått økende interesse i takt med forskningsresultater som er fremkommet om deres stoffproduksjon og egnethet (Soeder 1980). Mikroalgenes kjemiske sammensetning er inngående studert for noen viktige arters vedkommende som benyttes til industriell produksjon (Becker 1994). Det er imidlertid komplisert å beskrive mikroalgenes kvalitative sammensetning. Dette går delvis tilbake på at store ulikheter kan gjøre seg gjeldende gjennom mikroalgenes vekstfaser, og at miljøfaktorene som råder under oppdyrkingen av materialet som analyseres, kan gi vesenlige kvantitative forskjeller. Det er derfor nødvendig å ha godt presiserte forutsetninger for å frembringe representative verdier som belyser innhold av næringsstoffer i mikroalger. Bare noen hovedtrekk av den foreliggende kunnskapen er gjengitt i denne oversikt. Mikroalgenes potensial som mat og fôr til dyr er undersøkt i omfattende kjemiske og biologiske studier (Richmond 1990). De enkelte systematiske grupper av alger har karakteristiske særtrekk som er viktige for deres vurdering i anvendelse til mat og fôr (van den Hoek 1978).

Noen eksempler på mikroalgenes stofflige innhold i ernæringsssammenheng fremgår av **Tabell 1**, hvor en sammenlikning med tradisjonelle næringsmidler er gjort.

4.1.1 Protein

Mikroalgene har en praktisk interessant sammensetning når det gjelder hovedkomponenter som protein, fett og karbohydrater. Proteininnholdet er gjennomgående høyt i mikroalger. Blågrønnalger

har eksempler på arter med de høyeste proteinkonsentrasjoner som er kjent i naturlige fôrplanter (60-70% av tørrstoffinnhold). Dette er høyere andel enn i f.eks. korn (8-14%), fisk (15-20%), soyabønner (35%) eller tørrmelk (35%) (Richmond 1990).

I eksperimentelle biotester kan verdier for netto proteinutnyttelse bestemmes, noe som gir holdepunkter for vurderingen av aminosyre kvaliteten, fordøybarhet og opptak i organismen. Eggepulver har f.eks. høyeste verdi for netto proteinutnyttelse (94%), etterfulgt av melk (82%), fisk (80%), kjøtt (67%) og blågrønnalger (62%). I forbindelse med anvendelsen av mikroalger til fôr, er det viktig å skille mellom bruk til monogastriske og polygastriske vertebrater. Drøvtyggere kan fordøye mikroalger med cellulose i celleveggene. Blågrønnalgene mangler cellulose, og har peptidoglycan og lipopolysakkarider som veggmateriale. De kan derfor direkte fordøyas av monogastriske dyr. For mikroalger med cellulose i celleveggene kan en spesiell varmebehandling øke fordøyeligheten. Positive resultater er oppnådd i dyreforsøk hvor tørkede mikroalger ble benyttet som dyrefôr. Når det gjelder gris, ble det påvist en netto proteinutnyttelse på 65%, noe som er av samme størrelsesorden som for soyaekstrakt og fiskemel (Shelef & Soeder 1980). Men for full utnyttelse av proteinet er det gjerne nødvendig med en særskilt behandling av mikroalgene. I første rekke benyttes mekanisk, kjemisk eller enzymatisk behandling til å bryte ned celleveggene for å fremme proteintilgjengeligheten.

Av de tyve vanligste aminosyrene er det et lite antall som dyreorganismene ikke selv kan produsere i tilstrekkelige mengder. Disse essensielle aminosyrene må derfor tilføres gjennom fôret. Mikroalger er fremtredende produsenter av noen essensielle aminosyrer (bl.a. valin, leucin, isoleucin, fenylalanin, tryptofan, treonin, lysin, histidin), men de er gjennomgående relativt fattige på svovelholdige aminosyrer (cystein, metionin). Mikroalger i slektene *Spirulina*, *Chlorella* og *Scenedesmus* blir f.eks. benyttet som høyverdig proteintilskudd i fôr på grunn av sitt innhold av essensielle aminosyrer.

Proteinkvalitet blir et viktig kriterium for å velge ut mikroalger til anvendelse i fôr. Proteiners komplementerende virkning kommer også inn i vurderingen. Ulike proteiner fra flere mikroalger kan f.eks. utfylle hverandre med hensyn til aminosyrer. En kombinasjon av egnede mikroalger kan dermed gi et fullgodt proteinfôr. Samme tankegang benyttes ved utnyttelse av virkninger av proteinblandinger, enten det gjelder kombinasjon av animalsk protein med algeprotein, eller planteprotein med algeprotein.

I forsøk utført av NASA (USA) ble det f.eks. vist at aminosyreprofilen til blågrønnalgen *Cyanothece* (ATCC 51142) var vel balansert for menneskelig ernæring. De eneste aminosyrene som ikke var tilfredsstillende representert var cystein og metionin. Ved å kombinere denne blågrønnalgen med en proteinkilde som erter eller korn ble en fullverdig næring for et menneske oppnådd med hensyn til totalt innhold av aminosyrer (Schneegurt et al. 1995).

Tabell 1. Sammenlikning mellom stoffinnhold i vanlige næringsmidler og noen mikroalger. Verdiene angir % av tørrvektmateriale (Etter Becker 1994).

Materiale	Proteiner	Karbohydrater	Fett	Nukleinsyre
Gjærceller	39	38	1	-
Ris	8	77	2	-
Egg	47	4	41	-
Melk	26	38	28	-
Kjøtt	43	1	34	-
Soya	37	30	20	-
<i>Scenedesmus obliquus</i>	50-56	10-17	12-14	3-6
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	47	-	1,9	-
<i>Scenedesmus dimorphus</i>	8-18	21-52	16-40	-
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	48	17	21	-
<i>Chlorella vulgaris</i>	51-58	12-17	14-22	4-5
<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	57	26	2	-
<i>Spirogyra</i> sp.	6-20	33-64	11-21	-
<i>Dunaliella bioculata</i>	49	4	8	-
<i>Dunaliella salina</i>	57	32	6	-
<i>Euglena gracilis</i>	39-61	14-18	14-20	-
<i>Prymnesium parvum</i>	28-45	25-33	22-38	1-2
<i>Tetraselmis maculata</i>	52	15	3	-
<i>Porphyridium cruentum</i>	28-39	40-57	9-14	-
<i>Spirulina platensis</i>	46-63	8-14	4-9	2-5
<i>Spirulina maxima</i>	60-71	13-16	6-7	3-4,5
<i>Synechococcus</i> sp.	63	15	11	5
<i>Anabaena cylindrica</i>	43-56	25-30	4-7	-

4.1.2 Lipider

Lipidinnholdet i mikroalger kan variere mellom 1%-70% av tørrstoffet bestemt av art og dyrkingsbetingelser (Materassi et al. 1980). Den kjemiske sammensetningen er hovedsakelig lik som for andre vegetabiliske oljer. Algelipider består gjerne av estere av glycerol og fettsyrer med uforgrenede hydrokarbonkjeder med et like antall karbonatomer.

Lipidproduksjon basert på mikroalger hører til de mest interessante muligheter for en praktisk anvendelse av algekulturt teknologi. Systematisk tilhørighet av algestammen som benyttes, og dens næringskrav vil være medbestemmende for mengde og kvalitet av lipidutbyttet. Andelen av lipider kan økes ved variasjon av dyrkingsbetingelser. Produksjonen av langkjedete, flerumettede fettsyrer øker f.eks. under lave temperaturer (Tillmann et al. 1989). I kommersiell sammenheng er de flerumettede fettsyrene (PUFA) generelt, og de essensielle fettsyrene (EFA) mest etterspurt. I menneskets ernæring inngår de essensielle fettsyrene linolsyre, arakidonsyre, linolensyre samt eikosapentaensyre. Med unntak av linolsyre, er disse fettsyrene vanlig til stede i relativt små konsentrasjoner i kulturplanter og husdyr som benyttes til matproduksjon. Nettopp disse fettsyrene har imidlertid en rik forekomst i enkelte arter av mikroalger (Ahern et al. 1983, Olsen 1989).

Blågrønnalgene kan ha høyt innhold av flerumettede fettsyrer (25%-60% av totallipid). Mens grønnalgene er rike på α -linolsyre (C_{18:3}), er γ -linolsyre f. eks. den dominerende fettsyre i

blågrønnalger. Tilstedeværelsen av disse fettsyrer er av viktighet for vurderingen av bruken av mikroalger i mat og fôr. Det kan nevnes at andelen av fri fettsyrer (FFA) - som har intens smak og lukt - er gjennomgående liten i mikroalger.

En interessant forbindelse kan nevnes blant fettsyrene produsert av blågrønnalger. Det gjelder polyhydroksymørsyre (PHB). Dette er en naturlig forekommende polymerforbindelse som bl.a. tjener som karbonreserve i prokaryote organismer. Denne forbindelse kan bl.a. benyttes som en termoplastisk polymer og er biologisk nedbrytbar (Vincenzini et al. 1990).

Kiselalgene er kjent for sitt høye innhold av fettforbindelser (20-25% av celletørstoff). Genetisk betingede variasjoner i fettsyresammensetningen gjør seg gjeldende. Arter av ordenen Centrales har f.eks. et høyere innhold av dokosaheksansyre (DHA), sammenliknet med arter i ordenen Pennales. De sistnevnte har derimot høyere innhold av arachidonsyre (ARA) (Dunstan et al. 1994). Generelt inneholder kiselalgene relativt en stor del av eikosapentaensyre (EPA), og lite av andre langkjedede, polyumettede fettsyrer (LC-PUFA). Det ligger tilrette for å benytte kloner av kiselalger - typiske marine arter - til å fremstille et høyverdig produkt med rikt innhold av essensielle aminosyrer og fettsyrer, spesielt omega-3 fettsyrene EPA og DHA. Det kan nevnes at DHA er den ernæringsmessig viktigste fettsyren av marin opprinnelse. I praktisk forbindelse er det f. eks. et viktig moment at planteolje vil måtte anrikes med DHA for å kunne fullverdig erstatte marine fiskeoljer til akvakulturformål (bl.a. som fôr til laks, kveite).

4.1.3 Karbohydrater

Mikroalgens innhold av karbohydrater kan variere mellom 20% og 45% på tørrstoffbasis. Stoffenes kjemiske sammensetning er bl.a. knyttet til genetiske forhold, fysiologiske faktorer og vekstbetingelser (Lewin 1962). Produksjon av monosakkarider som glukose, fruktose og galaktose kan ha praktisk betydning i ernæringsammenheng. Imidlertid er det stoffgruppen polysakkarider som får størst oppmerksomhet i industriell forbindelse. Når det gjelder næringsmidler, er det flere stofflige egenskaper ved polysakkarider som er praktisk betydningsfulle (Jensen 1995).

Mikroalgens produksjon av ekstracellulære polysakkarider kan være betydelig ved ulike kombinasjoner av vekstbetingelser. Disse stoffene er vanlig bygget opp av monomerene D-glukose, D- og L-galaktose, 3-0 metylxylose, 3- og 4-0-metylgalaktose og D-glukuronsyre. Deres gjennomsnittlige molekylvekt er i området $4 \cdot 10^6$ dalton. Viskositeten til polysakkarider fra mikroalger er høy, og kan sammenliknes med produkter som anvendes i kommersiell forbindelse (Arad 1988). I fôr-sammenheng er det først og fremst de konsistensgivende egenskaper ved polysakkaridene som benyttes. De har f.eks. anvendelse som bindemiddel i våt- eller mjukfôr. Disse stoffenes fysiologiske betydning i fordøyelsesapparatet tiltrekker seg stadig større positiv oppmerksomhet.

Fykokolloider er det mest benyttede praktiske produkt som alger gir opphav til (alginat, agar, carragenan). De anvendes i industriell sammenheng på grunn av evne til å gi viskositet, gelstyrke og stabilitet til væskeblandinger, løsninger og emulsjoner. Bruksområdene er allsidige innenfor næringsmiddelindustrien. Det er fremdeles hovedsakelig makroalger som gir råstoff for fremstilling av fykokolloider av praktisk betydning (biopolymerer).

Beslektede polysakkarider produsert av mikroalger kan ha interesse i næringsmiddelsammenheng (f.eks. fortykningsmidler - stabilisatorer). Noen blågrønnalger produserer makromolekyler som kan anvendes innenfor flokkulering (f.eks. til klaring og oppkonsentrering av partikulært stoff i vann).

Blågrønnalgens innhold av karbohydrater fortjener spesiell oppmerksomhet i forbindelse med algekulturateknologi. Karbohydratinnholdet kan utgjøre 15-20% av tørrvekten, og består hovedsakelig av polymerer av glukose. Disse polysakkaridene kan til dels i betydelig grad skilles ut i vekstmediet (Filali Mouhim et al. 1993). Lipopolysakkarider kan utgjøre 1,5% av tørrvekten til blågrønnalgen. De består av karbohydrater (32%) og fettsyrer (14%) sammen med hovedsakelig ikke identifiserte

kjemiske forbindelser. Fettsyrekomponenten er kvantitativt forskjellig fra det som finnes i lipidene. Den høye andel av gammalinolensyre (GLA) er karakteristisk (Vonshak 1997).

4.1.4 Pigmenter

Mikroalger er viktige produsenter av et stort spektrum av fargestoffer. Deres aksessoriske pigmenter kan til dels bli dannet i større mengder enn primærpigmentene (klorofyllforbindelser). I praktisk sammenheng hører pigmentene i mikroalgene med blant de økonomisk mest interessante produkter. Til disse regnes bl.a. karotenoider og fykobiliproteiner (PBP).

Mikroalger har gjennomgående et høyt innhold av karotenoider, fra 0,1 til 2% av tørrvekt. Men ved spesielle dyrkingsbetingelser kan dette stoffinnholdet i noen tilfeller økes til opp mot 14%. Samtidig er det en stor variasjonsrikdom av ulike karotenoider, større enn f.eks. i høyere planter. De enkelte artene har gjerne mellom fem til ti hovedtyper representert i cellene (bl.a. β -karoten, violaxanthin, neoxanthin, zeaxanthin, astaxanthin, lycopen og lutein).

Fykobiliproteiner - omlag 30% av tørrvekt i blågrønnalger - omfatter flere intenst fargede stoffer med høy molekylvekt (30.000-230.000 dalton). De er vannløselige forbindelser med karakteristisk fluoresens. Deres betydning kommersielt er bl.a. som naturlige fargestoffer i næringsmidler, medisiner og kosmetikk til avløsning av syntetiske produkter. Fluoresenssegenskapene har anvendelse innenfor en rekke diagnostiske tester.

Noen eksempler på pigmentinnhold i blågrønnalger er vist i **Tabell 2**. Tilsvarende som for andre fotosyntetiske organismer adapterer blågrønnalgene sine antenne-pigmenter til de fremherskende lysforhold. Dette innebærer mulighet bl.a. til å styre produksjonen av fykobiliproteiner (Sidler 1994).

Tabell 2. Stoffmengder av noen pigmenter i blågrønnalger. (Eksempel, arter i ordenen Oscillatoriales)

Pigment	per gram tørrvekt alger
Fykocyanin	150-200 mg
Klorofyll	11,5 mg
Karotenoider	3,7 mg
β -karoten	1,4 mg

4.1.5 Vitaminer

Det praktiske potensialet til mikroalgenes vitaminproduksjon er stort (Brown et al.1999) Anvendelsene omfatter ernæring både for mennesker og dyr. Blant vitaminene med særlig økonomisk interesse er f.eks. vitamin B₁₂ og vitamin E (tocopherol). Betakaroten (provitamin A) har sin høyeste konsentrasjon i enkelte blågrønnalger blant kjente nyttevekster.

Også mikroalgenes vitamininnhold varierer mye avhengig av artenes genetiske tilhørighet og dyrkingsbetingelser. Noen eksempler på vitaminer i vanlige næringsmidler og mikroalger er sammenstilt i **Tabell 3**

Tabell 3. Eksempel på vitamininnhold i noen matvarer og mikroalger. (Etter Becker 1994).

Stoff	RDI ¹⁾ (mg d ⁻¹)	Okselever	Spinat	<i>Spirulina platensis</i>	<i>Scenedesmus obliquus</i>	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>
Vitamin A	1,7	360	130	840	230	480
Thiamin (Vit. B ₁)	1,5	3	0,9	44	8	10
Riboflavin (Vit. B ₂)	2,0	29	1,8	37	36,6	36
Pyridoxin (Vit. B ₆)	2,5	7	1,8	3	2,5	23
Cobalamin (Vit. B ₁₂)	0,005	0,65	-	7	0,4	0,02
Vitamin C	50	310	470	80	20	-
Vitamin E	30	10	-	120	-	-
Nicotinat	18	136	5,5	-	120	240
Biotin	-	1	0,07	0,3	0,2	0,15
Folsyre	0,6	2,9	0,7	0,4	0,7	-
<i>d</i> -Ca-Pantothenat	8	73	2,8	13	16,5	20

¹⁾ **Anbefalt daglig inntak for voksent menneske**

Det er utført omfattende dyreforsøk som viser at mikroalgene utgjør en verdifull ressurs for praktisk talt alle ernæringsmessig viktige vitaminer (Becker 1994). Vitaminene inngår i gruppen av stoffer som forvaltningsmessig bl.a. behandles i begrepskategorien "functional food" (Zeisel 1999). Bruk av mikroalger med naturlig høyt vitamininnhold kan f. eks. inngå som en del av det daglige føringstilbudet. Gjennom et fast konsum vil spesielle helseeffekter kunne oppnås, eller viktige spesifikke kroppsfunksjoner kunne reguleres.

4.1.6 Aromastoffer

Sekundære stoffskifteprodukter av mikroalger, bl.a. knyttet til biosyntesevegen som fører til isoprenoide, hører til substanser med utpreget sensoriske kvaliteter (lukt, smak) (Skulberg 1988). Enkelte relevante forbindelser kan være interessante for anvendelse i sammenheng med næringsmiddelindustriens behov for naturlige aromastoffer (aromatorer). Stoffer i denne kategori er også viktige når det gjelder å gjøre fôrmidler tiltrekkende for husdyr.

4.1.7 Toksiner

Det foreligger en rekke undersøkelser som behandler toksinproduksjon hos mikroalger (Skulberg et al. 1993, Skulberg 1996). Erfaringene har vist at det er et relativt lite antall arter som besitter slike egenskaper. Blant dinoflagellatene ca 2000 beskrevne arter, er det f.eks. 20 arter som er kjent for å kunne ha toksinproduksjon. Tilsvarende gjelder for blågrønnalger. Det er beskrevet ca 2000 arter, av disse er <100 påvist å kunne ha toksinproduksjon (Skulberg et al. 1993).

Fykotoksinene omfatter stoffer - bl.a. polypeptider og alkaloider - med en rekke ulike giftvirkninger. De er til dels - f.eks. cyanotoksiner - med skadelige fysiologiske virkninger i meget lave doser (µg toksin/kg kroppsvekt).

Stoffer av denne natur innebærer behov for nøye oppfølging når det gjelder bruk av mikroalger til mat og fôr. Dette angår så vel valg av dyrkningsorganisme, som kontroll av produktene som fremstilles (Chorus & Bartram 1999).

4.1.8 Nukleinsyrer

Til vanlig i mat- og fôrsammenheng er det relativt høye stoffinnhold av nukleinsyrer (se **Tabell 1**). Dette er substanser som kan være negative i helsemessig sammenheng for mennesker og dyr.

Forholdet ble aktualisert for næringsmiddelindustrien da encelleprotein produsert av bl.a. sopp og bakterier ble tatt i bruk. Spesielt ved anvendelse av mikroalger til mat for mennesker viste det seg at konsentrasjoner av nukleinsyrer kunne være begrensende. Husdyr som f.eks. gris og fjørfe kan imidlertid tolerere høyere nivåer av nukleinsyrer enn mennesker, og når det gjelder fisk er nukleinsyre lite problematisk (Becker 1994).

Det kan fremheves at mikroalger har et betydelig lavere innhold av nukleinsyrer sammenliknet med bakterier og sopp (Se avsnitt 4.2).

4.1.9 Antibiotika og beslektede stoffer

En rekke sekundære stoffskifteprodukter av mikroalger er påvist å ha antibiotiske egenskaper. Relativt få forbindelser har imidlertid så langt fått nevneverdig praktisk betydning (Knutsen & Hansen 1997). Det er nå en sterkt økende forskningsinteresse knyttet til utprøving av nye forbindelser produsert av mikroalger (Kennedy & Hutchinson 1999). Behovet for aktuelle antibiotika er bl.a. fremkommet som et resultat av problemene med den tiltakende forekomst av antibiotika-resistente patogene mikroorganismer i behandlingen av infeksjonssykdommer.

Blågrønnalgene fremstår som en spesielt interessant ressurs for stoffer med antibiotiske virkninger (Goyal & Goyal 1998). Kategorier av biologiske effekter som beskrives, er av stor bredde, f.eks. antivirell, bactericide, fungicide, algicide, cytostatiske (Namikoski & Rinehart 1996, Schlegel et al. 1999).

I sammenheng med fôrindustriens behov for coccidiostatika i tilknytning til fjørfeproduksjonen bør f.eks. alternative substanser fra mikroalger få oppmerksomhet.

4.1.10 Probiotika

Betegnelsen probiotika er et begrep som omfatter flere anvendelser av mikroorganismer i sammenheng med helse/ernæring (Fuller 1997). Produkter av probiotika som markedsføres, blir tilskrevet mange forskjellige virkninger, f.eks. styrket motstandskraft mot infeksjonssykdommer, forbedret vekst og trivsel hos husdyr, øket utbytte av nytteprodukter (f.eks. egg, melk). Mange typer mikroorganismer inngår i de anvendte preparater, som blir dosert i form av bl.a. pulver, tablett eller pasta.

Det foreligger godt dokumenterte virkninger av probiotisk natur knyttet til bruk av mikroalger i sammenheng med mat/fôr (Fedkovic et al. 1993, Olsen 1989, Knutsen 1999). Bruk av mikroalger i produksjon av marin fiskeyngel har gitt bedret overlevelse og vekst, sammenliknet med ingen bruk av alger. Mikroalgene stimulerte sekresjon av fordøyelsesenzymmer, modifiserte bakteriesammensetninger i tarmen og bidro med næringsstoffer til fiskelarver (Reitan 1999).

4.2. Noen praktiske vurderinger

Mikroalger i ernæringsammenheng bidrar blant annet med fettstoffer, sukkerforbindelser, aminosyrer, proteiner, antioksydanter, immunstimulerende stoffer og pigmenter. Vurdert ut fra sin stofflige kvalitet og rolle i næringskjeden er mikroalgene spesielt interessante som ressurs. Vurdering av den praktiske bruk av mikroalger forutsetter imidlertid fôringsforsøk med ulike forsøksdyr for å klarlegge algebio-

massens fordøyelighet, proteinverdi, eventuelle toksiske egenskaper m.v. Disse forhold er til dels inngående behandlet i litteraturen (se f. eks. Becker 1986).

For å vurdere mikroalgenes egnethet som ingrediens i kraftfôr til enmagede dyr er bl. a. følgende forhold viktige:

- Innhold av proteiner/essensielle aminosyrer og fordøyelighet av disse.
- Innhold av fett/essensielle fettsyrer og deres fordøyelighet.
- Karbohydrater, sukker, stivelse, trevler, celleveggstoffer, glukaner.
- Pigmenter.
- Algenes bindeegenskaper.
- Vitaminer/mineraler.

De fleste mikroalger - med unntak for blågrønnalgene - har en cellevegg som gjør dem vanskelige å fordøye for ikke-drøvtyggere. Effektiv utnyttelse av disse algene krever derfor forbehandling for å bryte ned celleveggen. Dette kan gjøres ved kjemisk, enzymatisk eller varmebehandling (Becker 1994, Fleurence 1999). Tørking i tørketrommel (drum drying) gir for eksempel en positiv effekt for grønnalger som skal brukes til fôr. Når det gjelder blågrønnalger (f.eks. *Spirulina*) er imidlertid fordøyeligheten god også uten forbehandling.

Verdien av proteinet som næring blir bedømt ved å beregne ulike forhold fra fôringsforsøk, som regel med rotte:

PER : Protein Efficiency Ratio (weight gain/consumed protein)
 BV : Biological Value (absorbed N/total N intake)
 DC : Digestibility coefficient (proportion of food N absorbed by the animal)
 NPU : Net Protein Utilization

Resultater av en lang rekke fôringsforsøk med rotte, kylling, svin, drøvtyggere og fisk har vist at algeprotein har en høy næringsverdi, likverdig eller bedre enn konvensjonelle planteproteiner (Shelef & Soeder 1980, Becker 1986, Borowitzka & Borowitzka 1988).

I **Tabell 4.** er proteinverdier for alger sammenliknet med andre proteinkilder bestemt ved fôringsforsøk med rotte. Resultatene demonstrerer bl. a. betydningen av forbehandling for fordøyeligheten av grønnalgen *Scenedesmus*, og den positive effekten ved supplering med methionin.

Tabell 4. Sammenliknende data for biologisk verdi (BV), fordøyelighetskoeffisient (DC) og netto proteinutnyttelse (NPU) hos ulike alger, casein og egg. Samtlige forsøk er utført med 10% protein i dietten. (Fra Becker 1986).

Alge	Forbehandling	BV	DC	NPU
<i>Scenedesmus</i>	DD	80,8	81,4	65,8
<i>Scenedesmus</i>	sol-tørket	72,1	72,5	52,0
<i>Spirulina</i>	sol-tørket	77,6	83,9	65,0
<i>Spirulina</i>	sol-tørket + 0.3% methionin	79,5	91,9	73,0
<i>Chlorella</i>	protein ekstrakt	79,9	83,4	66,2
<i>Chlorella</i>	protein ekstrakt + 0.37% methionin	91,1	86,1	78,4
Casein		87,8	95,1	83,4
Egg		94,7	94,2	89,1

Det vil neppe være aktuelt å bruke mikroalger alene som fôr. Det er som tilskudd for å supplere andre fôringredienser som interessen ligger. Det er derfor vesentlig å undersøke hvordan mikroalger kan inngå for å gjøre konvensjonelle fôrtyper bedre. Flere undersøkelser har f. eks. vist at kombinasjon av alger (*Scenedesmus*, *Spirulina*) med korn (hvete, mais, ris) øker næringsverdien hos kornproduktene, og gir en fullverdig næring med hensyn til totalt innhold av aminosyrer.

Dersom et nytt råstoff skal tas i bruk som ingrediens i fôr, er det viktig å klarlegge eventuelle negative effekter. For algebiomasse kan slike effekter tenkes oppstå som følge av toksiske metabolitter som algene produserer, eller av skadelige stoffer (f. eks. tungmetaller og organiske miljøgifter) som akkumuleres i algebiomassen. Mikroalger har et stort potensiale til å adsorbere enkelte forurensningskomponenter fra vann. Det gjelder blant annet for tungmetall-ioner som har affinitet til negativt ladede grupper i algenes cellevegger. Dette forhold utnyttes praktisk for rensing av metallholdig avløpsvann ved hjelp av mikroalger. I fôrsammenheng kan algenes evne til å akkumulere metaller og andre miljøgifter være et problem dersom algene produseres i avløpsvann (Shelef et al. 1980).

Ved utnyttelse av mikroorganismer som proteinkilde kan et høyt nukleinsyreinnhold være et problem (se avsnitt 4.1.8). Algebiomasse inneholder imidlertid lite nukleinsyre (4-6%) i forhold til bakterier (20%) og sopp (8-12%). Nukleinsyreinnholdet i algebiomasse vil likevel kunne begrense den maksimale andelen av algebiomasse i fôr.

Hvis egnede mikroalger produseres og prosesseres på en forsvarlig måte, har man imidlertid ikke erfart noen akutte eller kroniske toksiske effekter. Ved flergenerasjonsstudier har man ikke påvist signifikante effekter på reproduksjon eller avkommets kondisjon. I fôr til kyllinger og høns kan alger inngå med opp til 5-10% som erstatning av soya eller fiskemel.

I tillegg til proteintilskuddet bidrar algene med pigmenter som gir pigmentering av eggeplomme. Becker (1986) vurderer tilsetning av alger til fjørfe som den mest lovende kommersielle utnyttelsen av algebiomasse. I Elbingerode i Tyskland har man startet prøveproduksjon av mikroalger (*Chlorella*) i et anlegg som benytter CO₂ fra en sementfabrikk som karbonkilde. Algene tørkes og benyttes som tilsetning i fôr til kalkuner. Resultatene er positive, og et større anlegg vil bli bygget for samme formål.

Forsøk med tilsetning av *Spirulina* i fôr til fjørfe viste at tilsetninger på mer enn 10% kunne gi redusert tilvekst i kylling. Langtidsforsøk med vaktel viste imidlertid at tilsetning av opp til 12% *Spirulina* ga økt fertilitet og samtidig økt plommefarge i eggene. (Ross & Dominy 1990).

Også *Chlorella* er blitt benyttet som kilde for pigmenter til å gi farge i eggeplomme og kjøtt. Gouveia et al. (1996) fant at effekten av pigmenter fra algene var sammenliknbar med tilsvarende kommersielle pigmenter.

Sammenlikning gjort av frysetørkret og ekstrudert *Spirulina* viste at det frysetørkede produktet gav størst effekt på plommefargen hos vaktler (Ross et al. 1994). Økt tilsetning av algeproduktet førte til sterkere farge på eggeplommene.

I Sverige selges produktet Grönalgmjöl (GAM) fra firmaet Algatech AB som fôrtilsetning til verpehøns. Produktet inneholder pigmentet astaxanthin fra grønnalgen *Haematococcus pluvialis*. I tillegg til å gi gulffarge til eggeplomme og skinn har astaxanthin, som alle karotenoider, antioksidativ effekt. I en spesiell studie har astaxanthin hatt 100 ganger større effekt enn beta-karoten (Lantmännens Foderutveckling AB).

Tilsetning av alger i fôr til verpehøns kan også bidra til å øke innholdet av flerumettede fettsyrer i egg. (Herber & van Elswyk 1995, van Elswyk et al. 1998, Abril & Barclay. 1998). Til dette formål benyttes fremst marine mikroalger som har et høyt innhold av eikosapentaensyre (EPA), som omdannes til docosahexansyre (DHA) i eggeplommen. Tilskuddet av n-3 fettsyrene førte hovedsakelig til en økning av DHA innholdet i eggeplommen. Tilsetning av store mengder marine alger (4,8%) førte til en viss reduksjon i egg og plommevekt hos de 24 uker gamle hønene (Herber & van Elswyk 1996).

Tre ulike kilder til n-3 fettsyrer, menhadenolje (fisk i sildefamilien); linfrøolje og marine alger, ble sammenliknet for å undersøke deres evne til å avsette n-3 fettsyrer i eggeplommen. Disse oljene hadde forholdsvis like DHA profiler, allikevel hadde de marine algene en mer effektiv avsetning i plommen enn fiskeoljen. Resultatene av forsøket antydte at det er flere n-3 fettsyre kilder som kan benyttes i fjørfefôr, men at fettsyreprofilen til eggeplommen kan variere avhengig av n-3 fettsyrekilden. (van Elswyk, 1997)

Et algeprodukt (DHA Gold) markedsføres som fôrtilskudd til verpehøns av Omega Tech Europe. Dette inneholder 8% DHA og anbefales inngå med 1,5-1,6% i fôret. Tilskuddet oppgis å øke innholdet av omega-3 fettsyrer i eggene ca. 5 ganger.

I Israel er det gjort forsøk med rødalgen *Porphyridium* sp. i kyllingfôr (Ginzberg et al. 1999). *Porphyridium* har høyt innhold av sulfaterte polysakkarider og flerumettede fettsyrer (bl. a. EPA og arakidonsyre (AA)). Tilsetning av 5 og 10% algebiomasse i kyllingfôret ga ingen effekter på vekst, antall egg eller vekt av egg. Men kyllinger som fikk alger, konsumerte 10% mindre fôr. Kolesterolnivået i serum var 11 resp, 28% lavere enn i kontrollgruppen ved de to nivåene av alger i fôret. I eggene fra høns som fikk algediett ble det registrert lavere kolesterolnivå og høyere innhold av AA, samtidig som plommefargen var sterkere.

Føringsforsøk fra Tsjekia viste stimulert immunaktivitet (øket fagocyt-aktivitet) hos kylling fôret med *Chlorella* (0.5% biomasse tilsatt kommersielt fôr). Tre ukers tilsetning av *Chlorella* (0,1% biomasse tilsatt kommersielt fôr) til verpende høner økte signifikant eggleggingskapasiteten og styrken på eggeskallet (Kotrbaček et al.1995).

Også forsøk med svin har vist at algebiomasse er en ingrediens av høy næringsverdi og egner seg godt som erstatning av soya-og fiskemel. Forsøk med *Spirulina* i fôr til smågris er bl.a. gjort i USA (Grinstead et al. 1999).

Fevrier & Seve (1975) undersøkte effekten av å erstatte soyamel med algeproteiner til slaktegris og purker. Algeproteinet ga en reduksjon i apparent fordøyelighet av fôret for smågris (12-42 dager). Veksten og utviklingen til grisene var likevel god, noe som ble forklart med at utnyttelsen av det fôret som ble absorbert var bedre for gruppen som fikk algeproteiner. Videre forsøk på purker gav grunnlag for å konkludere at bruken av mikroalger som proteinkilde kunne anbefales både til slaktegris og produksjonsdyr.

Et tysk føringsforsøk med algen *Chlorella* (1% biomasse tilsatt kommersielt fôr) til smågris fra 21 til 61 dag etter fødselen, viste at griser fôret med algebiomasse hadde bedre vekst, høyere kroppsvekt, bedre helse, vitalitet og mindre hudsykdom i forhold til kontrollgruppen. Kostnaden for tilsetning av *Chlorella* var 3.19 DM pr gris. Dette ble oppveid av en bedre vektøkning, som ble vurdert til 4,85 DM per gris. (Jahn et al. 1995).

Forsøk med bruk av *Spirulina* som en proteinkilde til fjørfe ble gjort allerede i 1975 (Blum & Calet). Forskerne fant den gang at slaktekyllingen utnyttet proteinet dårlig og at erstatning av mer enn 5% av tradisjonelle proteinkilder med algeproteinet førte til nedsatt vekst. Liknende forsøk gjort i 1990 (Ross & Dominy 1990) på White Leghorn og Hubbard hanekyllinger viste at algenivå over 10% ga en tendens til lavere vekst hos kyllingene. Forsøk gjort av de samme forskerne på tilsetning av 12 %

Spirulina i fôret til vaktler i verping viste ingen effekter på produksjonsresultatene til hønene, men en noe høyere fertilitet og sterkere plommefarge på eggene. Venkataraman et al. (1994) fant at erstatning av tradisjonelle proteinkilder med algeproteiner ikke førte til endringer i produksjonsegenskapene til slaktekyllingene. Heller ikke kjøttkvaliteten ble påvirket, men en noe mer intens farge ble registrert hos dyrene gitt algeprotein.

Fôring av gris med *Chlorella* de siste tre uker før slakting (7 g/individ/dag) reduserte signifikant kolesterolnivået i serum, øket antallet monocytter og forbedret enkelte kvalitetsparametre i kjøttet (pH, farge og vannbindingskapasitet). Algene hadde en positiv immuneffekt på dyra, og stimulerte deres stresskapasitet (Kotrbaček et al. 1995).

Muligheten for at mikroalger kan ha en positiv effekt på immunrespons hos slaktekylling har også vært undersøkt (Kotrbaček et al. 1994). Resultatene viste at aktiviteten til de hvite blodlegemene var høyere hos gruppen som fikk fôr tilsatt 0,5% biomasse fra *Chlorella vulgaris*. Quershi et al. (1996) undersøkte effekten av å tilsette *Spirulina* i fôret på immunrespons hos slaktekyllinger. Forskerne konkluderte med at en tilsetning av 10 000 ppm *Spirulina* i fôret kunne forsterke sykdomsresistensen til slaktekyllinger.

Det er videre vist at det blå fargestoffet C-phycoyanin stimulerer makrofagaktiviteten. Det er sannsynlig at små doser av C-phycoyanin kan øke motstandskraften mot infeksjoner hos varmblodige dyr. Stoffet antas dessuten å ha anti-betennelsesvirkning (Brown et al. 1995).

For drøvtyggere foreligger det mindre dokumentasjon, men disse har evnen til å fordøye alger med cellevegger av cellulose slik at preparering av algebiomassen for å øke fordøyeligheten trolig ikke er nødvendig. Det rapporteres fra Tsjekia at storfe er fôret direkte med flytende grønnalgekultur. På denne måten unngår man både høsting og forbehandling av algebiomassen. Denne fremgangsmåten er interessant i integrerte gårdsanlegg hvor man kan tenke seg algeproduksjon i næringsrikt vann - for eksempel silosaft eller husdyrgjødsel - med direkte utnyttelse av algesuspensjonen som fôr til storfe. Forsøk med alger med høyt innhold av omega-3 fettsyrer i fôr til kyr er bl.a. utført for å studere effekten på vekst og fôrinntak (Franklin et al. 1998).

Forsøkene referert til viser at mikroalger som dyrefôr vil ha gunstig ernæringsmessig effekt på dyra, og at kostnadene mange ganger er fordelaktige sammenliknet med alternative fôringredienser. Forholdene vil selvsagt kunne variere betydelig for algeanlegg i ulike deler av verden, og avhengig av tilgang og pris på syntetisk fôr. Økonomiske analyser inngår derfor som en viktig avklaring ved planlegging av produksjonsanlegg for mikroalger.

En eventuell driftsform i norsk landbruk kan være å foreta ekstensiv algeproduksjon på gårdsbruk, med næring fra husdyrgjødsel eller silosaft. Resirkulering av næringssalter fra husdyrgjødsel ved produksjon av alger blir gjort flere steder (f.eks. Lincoln et al. 1993), og det er gjort forsøk med å bruke algene fra slike anlegg til fôr (Harrison et al. 1986).

4.3. Bakgrunn for valg av aktuelle algetyper

Kriterier for utvelgelse av algearter til fôrproduksjon vil primært ta utgangspunkt i næringsbehov. Generelt vil da følgende egenskaper stå fremst:

- høyt proteininnhold
- god fordøybarhet
- gunstig aminosyreinnhold
- dekkende vitamininnhold.

Samtidig er det nødvendig å ha tilgang på algearter som er enkle å dyrke under kontrollerte betingelser, som er konkurransedyktige overfor andre mikroalger og dessuten er lite utsatt for sykdomsangrep og parasittisme (van Vuren & Grobbelaar 1982). Det er en rekke arter som peker seg ut som interessante i sammenheng med utprøving til produksjon av fôr. I **Tabell 5** er det gitt noen eksempler på slekter med slike organismer.

Tabell 5. Eksempler på algeslekter med potensielle arter for anvendelse til produksjon av fôrstoffer

Blågrønnalger CYANOPHYCEAE	Rødalger RHODOPHYCEAE	Gullalger CHRYSOPHYCEAE	Gulgrønnalger XANTHOPHYCEAE	Kiselalger BACILLARIOPHYCEAE
Nostoc	Porphyridium	Monochrysis	Botryococcus	Cyclotella
Oscillatoria			Monodus	Nitzschia
Spirulina			Tribonema	Phaeodactylum
Synechococcus				Skeletonema
Synechocystis				Synedra

Kryptomonader CRYPTOPHYCEAE	Panserflagellater DINOPHYCEAE	Øyealger EUGLENOPHYCEAE	Grønnalger CHLOROPHYCEAE
Cryptomonas	Gymnodinium	Euglena	Chlamydomonas
Rhodomonas	Peridinium		Chlorella
			Coelastrum
			Haematococcus
			Scenedesmus
			Selenastrum

I praktisk sammenheng har arter av grønnalger og blågrønnalger vært i første rekke av oppmerksomhet som utgangspunkt for fôrproduksjon. Grønnalger, (f.eks. *Scenedesmus*, *Chlorella*, *Coelastrum*) er enkle å dyrke under kontrollerte betingelser (Setlák et al. 1970, Becker 1994). Blågrønnalger (f.eks. *Spirulina*) har et stoffinnhold som er særlig gunstig i ernæringsmessig sammenheng (Vonshak 1997).

Det er grunn til å understreke at bare et innledende forskningsarbeid foreløpig er gjort for å undersøke muligheter til utnyttelse av alger til fôrproduksjon. Det betyr f.eks. at mange andre arter enn de som er nevnt, også trenger å bli prøvd ut i slik sammenheng. Utvikling innenfor bioteknologi åpner dessuten for muligheten til å kombinere egenskaper mellom organismer, som er gunstige vurdert ut fra et produksjonsmessig synspunkt (Cresswell et al. 1989, Bryant 1994).

Valg av algearter til fôrproduksjon vil i et praktisk tilfelle bl.a. videre bli bestemt på grunnlag av følgende to forhold:

- forutsetninger som angår de lokale muligheter for å etablere dyrkingsanlegg
- økonomiske sider ved tilgang på alternative fôrstoffer, og markedspris på

ferdige produkter i sammenheng med kvalitet og mengde.

Tatt i betraktning det store antall mikroalger som det er kunnskap om, er det gode sjanser til å finne en art som egner seg til forsøksvirksomhet i en aktuell situasjon.

De kjemiske hovedbestanddelene i algebiomasse kan variere mye avhengig av hvilken art det gjelder, og under hvilke miljøfaktorer produksjonen har foregått. I **Tabell 6** er det gitt noen eksempler på stofflig sammensetning i noen av de blågrønnalger og grønnalger som er mest benyttet i ernæringsmessig sammenheng.

Tabell 6. Eksempler på stoffinnhold – prosent av tørrstoff i utvalgte mikroalger for produksjonsformål. (Sammenstilt fra Richmond 1990, og egne data)

Organisme	Protein	Lipider	Karbohydrater	Nukleinsyre
BLÅGRØNNALGER				
<i>Spirulina platensis</i>	46 - 50	4-9	8-14	2-5
<i>Spirulina maxima</i>	60-71	2-7	12-20	3-5
NIVA BT76	60	7	9	-
GRØNNALGER				
<i>Chlorella vulgaris</i>	51-58	14-22	12-17	4-5
<i>Scenedesmus</i> sp.	50-56	12-14	10-17	3-6

4.4. Mikroalger benyttet i prosjektet

Strategi ved valget av mikroalger til praktisk utprøving tar utgangspunkt i kjennskapet til den stofflige sammensetning, men også i mulighetene til å kontrollere vekstbetingelser som gir høyt utbytte av de interessante komponenter. I NIVAs kultursamling er det f.eks. kloner av mikroalger som kombinerer næringsmessig viktige stoffskifteprodukter med egnethet for massedyrking (Skulberg 1994).

Etter vurdering av algenes sammensetning og egnethet for produksjon ble det valgt ut to mikroalger – NIVA *Selenastrum* (CS59) og NIVA *Oscillatoria* (BT76) for praktiske forsøk i prosjektet. Begge mikroalgene er isolert fra norske lokaliteter og inngår i NIVAs kultursamling. I tillegg ble det skaffet algebiomasse fra en kommersiell produsent av blågrønnalgen *Spirulina* (Eartrise Co, California) til fôringsforsøk med gris og slaktekylling, som krevde større kvanta enn hva som under de rådende forhold kunne produseres ved NIVA. Dette sistnevnte materialet er i undersøkelsen gitt betegnelsen BT76b.

Tabell 7. Stoffinnhold i mikroalgene som ble benyttet.

Parameter	Enhet	CS59 (a)	CS59 (b)	BT76 (a)	BT76 ©	BT76 (d)	BT76b (e)
Zink Zn	mg/kg	17		7,7			30
Kopper Cu	mg/kg	8,7		7,7			12
Selen Se	mg/kg	-		0,02			
Jern Fe	mg/kg	700					
Magnesium Mg	%	0,19		0,22			0,4
Natrium Na	%	0,47		0,22	0,03		0,9
Kalium K	%	0,65		0,84	2,45		1,4
Kalsium Ca	%	0,29		0,41	0,59		0,7
Fosfor P	%	0,59		0,62	1,08		0,8
Klorid Cl	%	<0.1	0,11	0,11	0,65		
Råprotein N*6.25	%	38,4	49,2	54,2	67,5	66,4	60
Væxttråd/Trevler	%	10,7	9,4	1,7	0,2		
Fett Soxhlet	%		3,1				
Vann	%	4,6		8,2	4,8	4,3	
Xanthofyll	mg/kg	3200	3400	690			
Zeaxantin	mg/kg	130		212			
Lutein	mg/kg	1200		4			
Zeaxantin-Lutein	mg/kg	1330		216			
Beta-karoten	mg/kg	230		880			
Vitamin A	µg/g	<0.0003					<0.0003
Vitamin D2	µg/g	<0.006					<0.006
Vitamin D3	µg/g	0,39					0,51
Vit. E(a-tokoferol)	µg/g	72,2					311
Vit. E(b-tokoferol)	µg/g	<2					13,4
Vit. E(g-tokoferol)	µg/g	<0.016					5,28
Vit. E(d-tokoferol)	µg/g	<0.016					<0.016

(a) analysert av Nordisk Analytesenter 1988

(b) analysert av AnalyCen 1995

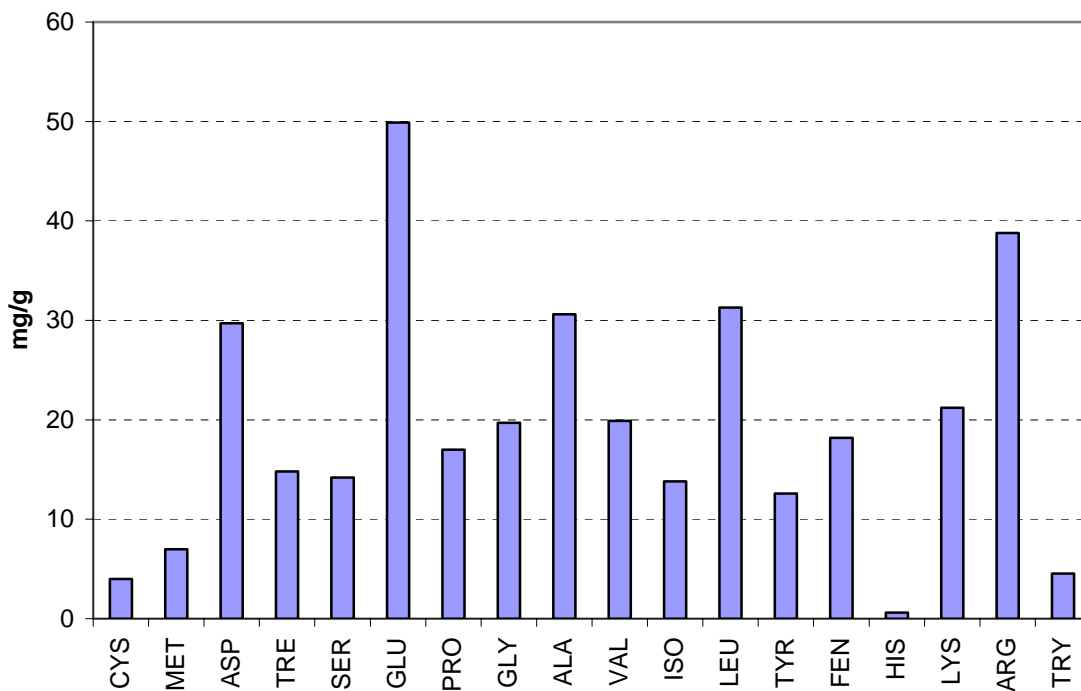
© analysert av AnalyCen 1998

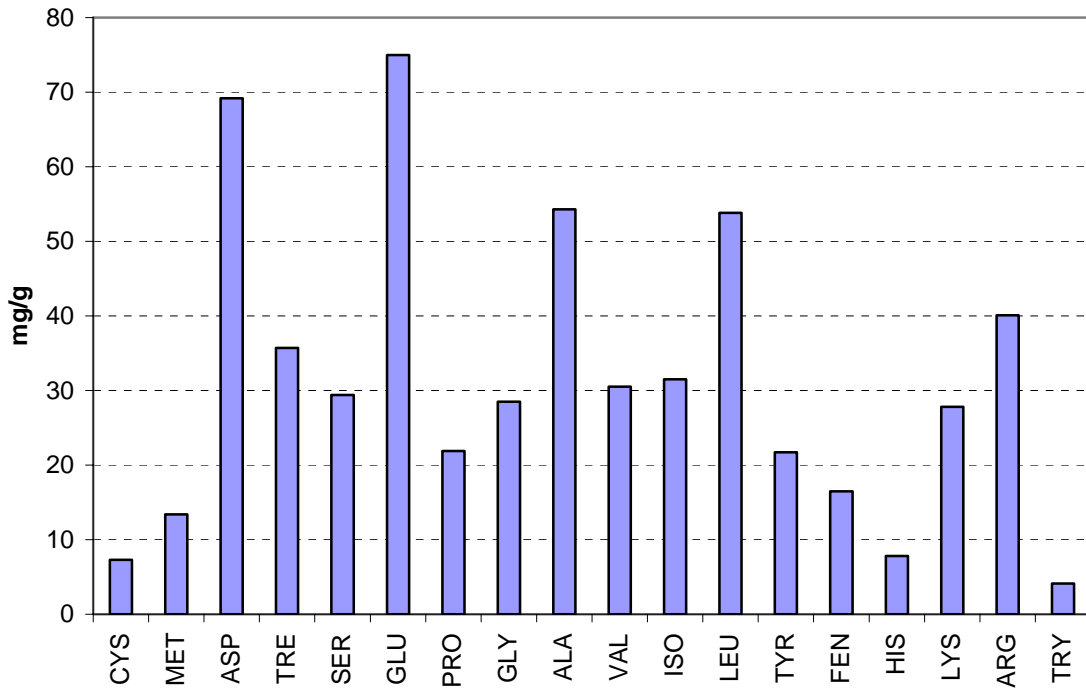
(d) analysert av Eurolysine 1999

(e) analysert av Earthrise

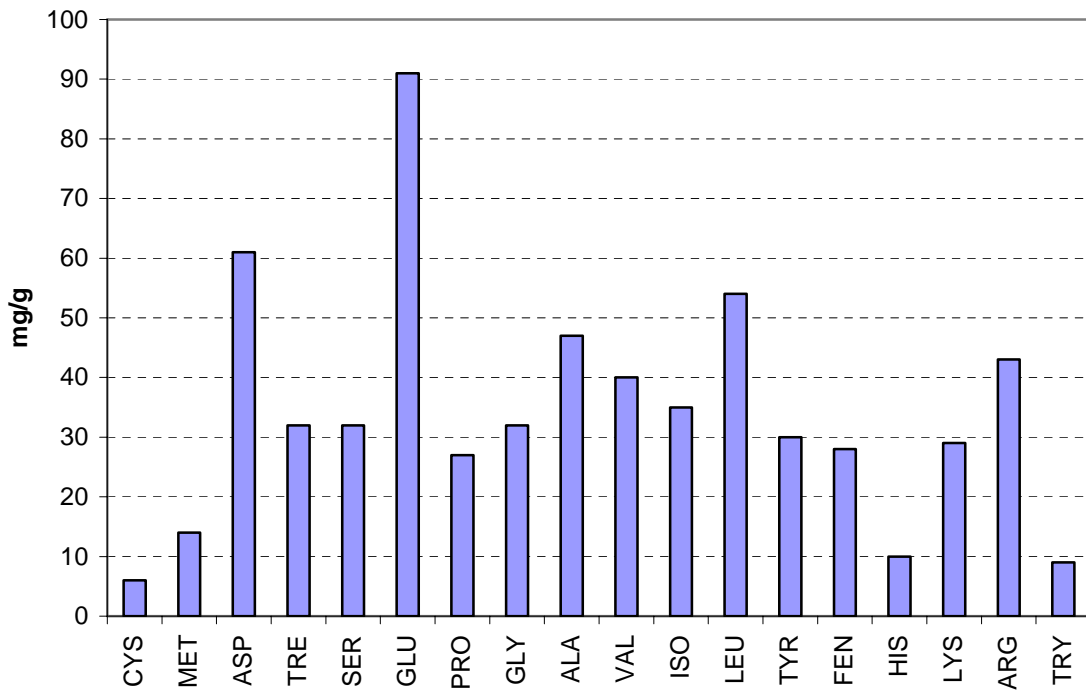
Tabell 7 (fortsatt) enhet: mg/g

Parameter	CS 59	CS59	BT76	BT76	BT76	BT76	BT76b
Cystein	4	1,23	7,3	3,8	3,7	6	6
Metionin	7	3,45	13,4	10,3	13,7	14	14
SUM	11,1	4,68	20,3	14,2	17,4	20	20
Asparaginsyre	29,7	15,97	69,2	62,8	59,0	66,9	61
Treonin	14,8	7,15	35,7	25,4	27,0	29,9	32
Serin	14,2	7,83	29,4	23,4	22,5	29	32
Glutaminsyre	49,9	24,59	75,0	63,8	71,9	97	91
Prolin	17	9,67	21,9	15,5	18,0	-	27
Glycin	19,7	9,89	28,5	23,5	26,7	30,7	32
Alanin	30,6	18,1	54,3	40,7	46,7	44,4	47
Valin	19,9	10,79	30,5	26,5	31,4	38,6	40
Isoleucin	13,8	6,77	31,5	25,9	30,3	34,8	35
Leucin	31,3	16,69	53,8	42,3	46,6	53,8	54
Tyrosin	12,6	4,93	21,7	20,4	24,6	25,1	30
Fenylalanin	18,2	9,52	16,5	21,4	23,7	27,2	28
Histidin	0,6	3,39	7,8	7,5	8,3	9,7	10
Ornitin	0,7			0			
Lysin	21,2	12,2	27,8	22,6	27,5	29	29
Arginin	38,8	23,55	40,1	35,2	37,4	49,9	43
Hydroxyprolin	<0.05			0			
Tryptofan(BRC)	-	4,55	4,1	-	6,8		9
Ammoniakk	2,6			4,5			

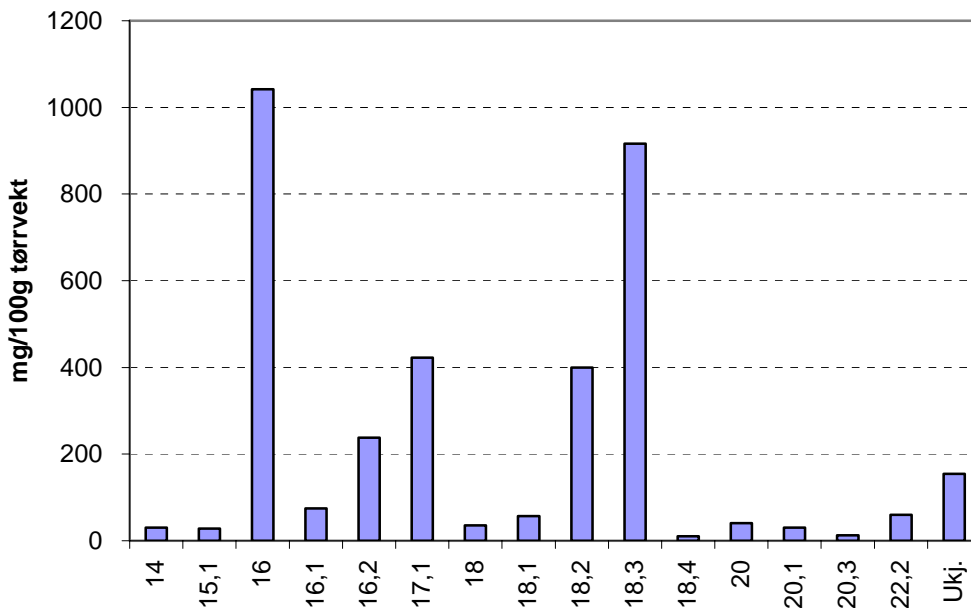
**Figur 1.** Aminosyresammensetning i NIVA *Selenastrum* (AnalyCen 1995).



Figur 2. Aminosyresammensetning i NIVA *Oscillatoria* (Nordisk Analysesenter 1988)



Figur 3. Aminosyresammensetning i *Spirulina* fra Earthrise Co (BT76b)



Figur 4. Fettsyresammensetning i NIVA *Oscillatoria* (AnalyCen 1995).

5 Praktiske forsøk

5.1. Produksjon av algebiomasse

Grønnalgen NIVA *Selenastrum* ble dyrket i en kunstlysreaktor av paneltypen, hvor algekulturen sirkulerer i kanaler inne i doble akrylplater (se **Figur 5.a**). Luft/CO₂-blanding tilføres i bunnen av reaktorplatene. Et vekstmedium laget av uorganiske salter og destillert vann blir dosert kontinuerlig mha. en pumpe, og produsert algekultur høstes ved overløp. Produksjonen i reaktoren var ca. 10 g algebiomasse/døgn. Algebiomassen ble oppkonsentrert ved sentrifugering og frysetørket. Frysetørket materiale ble oppbevart ved -20 °C inntil det ble brukt i forsøk.

Blågrønnalgen NIVA *Oscillatoria* ble produsert i en 230 l sylindrisk reaktor med innvendig belysning fra fire lysstoffrør (se **Figur 5.b**). Produksjonen skjedde semikontinuerlig ved at ca. 1/3 av kulturvolumet ble tappet av og erstattet med nytt vekstmedium 1-2 ganger/uke. Algene ble oppkonsentrert ved sedimentering og siling gjennom duk, og deretter frysetørket.

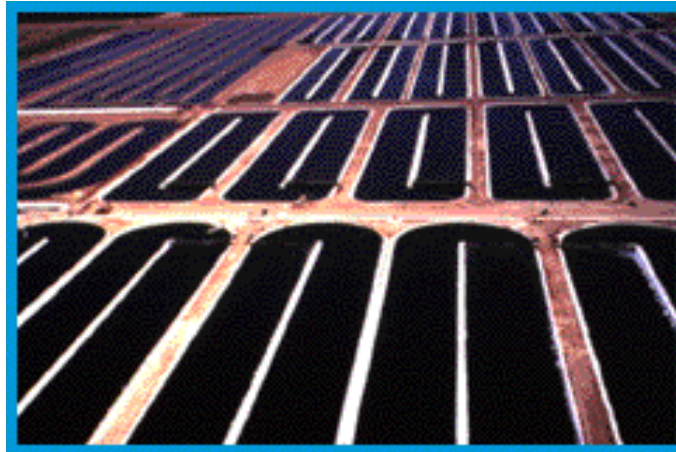
**Figur 5.**

a. Panelreaktor benyttet for produksjon av grønnalgen NIVA *Selenastrum*



b. Sylinderreaktor benyttet for produksjon av blågrønnalgen NIVA *Oscillatoria*

Spirulina ble produsert av Earthrise Co. i California. Dyrkingen foregår utendørs i store grunne dammer (Se **Figur 6**).

**Figur 6.** Produksjonsanlegg for *Spirulina* i California. (Earthrise Co.)

5.2. Innledende undersøkelser av fordøyelighet (mink)

Som fôrmiddel er algemasse interessant på grunn av et forholdsvis høyt innhold av protein. Et viktig kriterium i vurdering av fôrmidler er næringsinnhold, og ikke minst fordøyelighet av de ulike næringsstoffer. Mink er ofte brukt for å undersøke fordøyelighet i proteinråvarer fordi den har kort tarm med rask passasjehastighet, og er derfor sensitiv i rangering av proteinkilder i forhold til fordøyelighet. Minkfordøyelighet er også et godt mål på fordøyelighet hos andre enmagede husdyr (gris, fjørfe).

Ved Institutt for husdyrfag, NLH, ble det gjennomført fordøyelighetsforsøk med mink der algemasse produsert på basis av to ulike algetyper ble benyttet (Institutt for Husdyrfag 1999a). Disse var grønnalgen NIVA *Selenastrum* (CS59) og blågrønnalgen NIVA *Oscillatoria* (BT76) Fordøyelighet ble bestemt indirekte ved regresjonsmetode der en brukte fire ulike innblandingsnivå av de to algemassetypene. Forsøkene ble gjennomført etter standard metode og det inngikk 32 minkhanner i hvert forsøk.

Forsøkene ble gjennomført uten problemer bortsett fra løs gjødselkonsistens hos dyr som fikk algemasse i fôret. Utslaget var størst hos dyr som fikk NIVA *Oscillatoria*, mens gjødselkonsistensen var mer seigtflytende ved bruk av NIVA *Selenastrum*. I og med at alle dyr som fikk algemasse fikk dårlig gjødselkonsistens, tyder det på at den eller de kjemiske forbindelser som forårsaker symptomene er svært potente og virker selv i små mengder.

Reell fordøyelighet av protein (N) og aminosyrer var lav for NIVA *Selenastrum*, mens NIVA *Oscillatoria* viste betydelig høyere fordøyelighet av protein og aminosyrer. NIVA *Oscillatoria* ga minkfordøyelighetsverdier på linje med Bioprotein (Norferm) som regnes som en god proteinkilde.

Metodikken ga dårlig grunnlag for å beregne fettfordøyelighet, i og med at algemassen hadde et lavt fettinnhold, og dermed bidro med relativt lite fett i totalrasjonene.

En fant negativ karbohydratfordøyelighet for begge algetypene. Dette tyder på at en stor del av karbohydratene er ”ikke stivelses polysakkarider” som mink har svært dårlig evne til å fordøye.

Ut fra forsøkene kan en konkludere at NIVA *Selenastrum* er lite egnet som proteinfôrmiddel p.g.a. lavt proteininnhold (35,2%) og for lav proteinfordøyelighet (54,2%). NIVA *Oscillatoria* har høyt proteininnhold (>60%) og tilfredsstillende proteinfordøyelighet (82,2%), og virker derfor lovende som proteinkilde.

5.3. Algebiomasse som fôr til slaktekylling og verpehøns

Algen NIVA *Oscillatoria* ble testet ut som proteinkilde i forsøk med slaktekylling med 0, 2, 4 og 8 % fra 7 til 35 dagers alder. (Institutt for husdyrfag 1999b). Forsøksfôret ble produsert ved FôrTek på Ås og skulle i utgangspunktet være likt med hensyn på næringsinnhold. Analyser av forsøksfôret viste lavere innhold av protein, natrium og klor i kontrolleddet, som kan ha påvirket produksjonsresultatene negativt. For øvrige ledd var det små forskjeller mellom analyseverdiene.

Produksjonsresultater fra forsøket med NIVA *Oscillatoria* viser at alle ledd med algemasse kom bedre ut sammenliknet med kontrolleddet både for tilvekst og fôrutnytting. Det var derimot ingen klare forskjeller mellom ledd med ulike nivå med algemasse for disse egenskapene. Dette bildet blir også bekreftet av slakteundersøkelsene som viser høgere slakteprosent, mindre buk fett og større andel brystfillet på ledd med algemasse. Målinger av reinhet i kyllingburene tyder på at økende tilsetning av algen NIVA *Oscillatoria* gir økende problem med tilgrising av bur.

Ut fra produksjonsresultatene i dette forsøket ser det ut til at algemasse kan være aktuell som framtidig proteinkilde i fôr til slaktekylling, men at det er behov for videre undersøkelser for å kartlegge årsaken til problemer med blaut/klebrig avføring med økende tilsetning av algemasse.

Algen NIVA *Oscillatoria* ble videre testet i forsøk med haner for å bestemme innhold av omsettelig energi. Innholdet av algemasse i rasjonen måtte reduseres til 15 % for å få hanene til å ta opp fôret, og energibestemmelsene er derfor beheftet med en viss usikkerhet. Resultatene fra forsøket viser at alge NIVA *Oscillatoria* har et energiinnhold tilsvarende 12,71 MJ OE pr kg vare.

Algen NIVA *Selenastrum* ble testet som kilde til plomme farge i fôr til verpehøns med 0 - 0,5 – 1,0 og 1,5 % innblanding. Også dette forsøksfôret ble produsert ved FôrTek på Ås. Analyser for innhold av xanthofyll viser noe høgere innhold i kontrolleddet, mens det var godt samsvar for øvrige ledd.

Resultater fra målinger av plommefarge viser at økende tilsetning av algen NIVA *Selenastrum* har klar effekt på plommefarge i egg. Xanthofyllet i denne algen ser ut til å bli like godt utnyttet som xanthofyll fra råvarer som f.eks. maisglutenmjøl, og dette viser at alger i framtida kan bli et viktig tilskudd til plommefarge i fôr til verpehøns.

5.4. Algebiomasse i fôr til smågris

Proteinråvarer er kostbare i Norge og foruten kjøttbeinmel, fiskemel og fiskeensilasje har vi ikke mange alternativer når det gjelder norske proteinråvarer. I forsøkene hvor vi undersøkte minkfordøyelighet i algemasse fant vi god proteinfordøyelighet i algemasse basert på algetypen NIVA *Oscillatoria*. Derfor gjennomførte vi et forsøk der vi testet denne blågrønnalgen som proteinråvare i smågrislefôr (Felleskjøpet Fôrutvikling 1999).

Det ble produsert 3 forsøksfôrblandinger som tilsvarte FORMAT Kvikk (kommersielt smågrislefôr) mht næringsinnhold. En blanding fungerte som kontroll og inneholdt ikke algemasse. I forsøksblandingene ble det tilsatt hhv 2% og 4% algemasse. Alle forsøksfôrblandingene ble balansert mht energi- og næringsinnhold.

Forsøket ble gjennomført i smågrisrommet ved FKRA. Smågrisene ble føret etter appetitt fra automat i hele forsøksperioden, som strakk seg fra avvenning til 35 dager etter avvenning.

Det var generelt relativt lav tilvekst i dette forsøket. Forholdet kan skyldes at dyrene hadde lav startvekt, og at det var det andre forsøket i ny forsøksstasjon. Som regel vil det være problemer i forbindelse med innkjøring av nye lokaler. Derfor må også resultatene tolkes med forsiktighet.

Når en ser på daglig tilvekst både som reell og relativ, så kan det tyde på at leddet med 4% algemasse har gitt best resultat. Den lave tilveksten i ledd 2 med 2% algemasse kan skyldes et noe lavere fôropptak, samt at dette leddet har hatt problemer den første uka i forsøket.

Med hensyn til fôrutnyttelse så kom leddet med 4% algemasse best ut. Fôrutnyttelsen i de øvrige leddene var omtrent lik når en ser på hele forsøksperioden. En skulle forvente at leddet med 2% algemasse skulle gi en bedre fôrutnyttelse enn kontrollleddet, sett i lys av resultatene på leddet med 4% algemasse. En forklaring på dette kan være den "knekken" dette leddet har fått i første uka etter innsett. For øvrig var også fôropptaket i dette leddet langt lavere enn i de øvrige leddene.

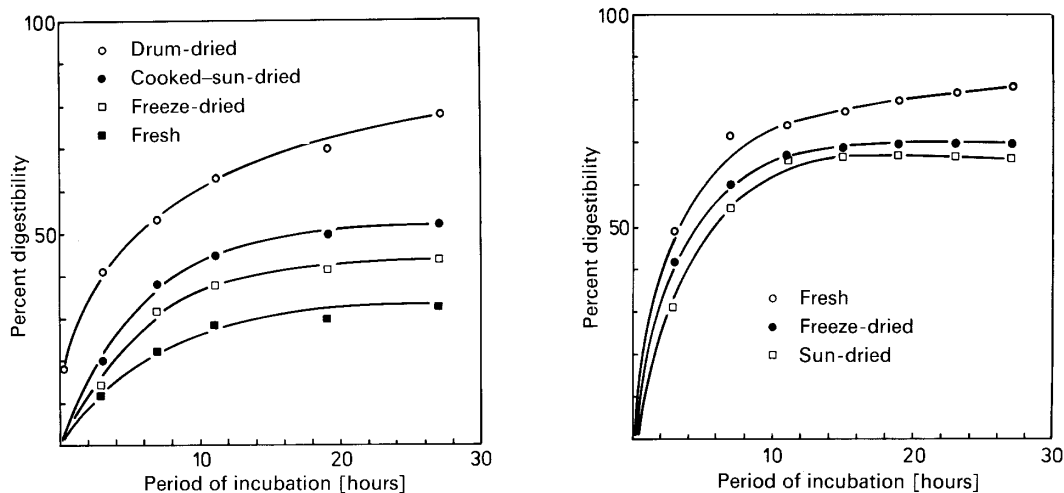
Med hensyn til gjødselkonsistens og diaréer, så fant vi ingen forskjeller mellom leddene. Det var generelt god gjødselkonsistens i alle forsøksleddene. Gjødsel ble noe mørkere i de leddene hvor det inngikk algemasse, uten at det er noe problem.

Konklusjonen av dette forsøket er at algemasse ser ut til å kunne være en aktuell proteinråvare i fôr til smågris. For å dokumentere effekten av denne råvaren bedre, bør det gjennomføres flere forsøk, og med høyere doseringer enn de vi hadde i dette forsøket.

5.5. Prosesser for opparbeiding av algebiomasse til fôr

Tilgjengeligheten av proteiner og andre næringsstoffer i mikroalger varierer avhengig av bl.a. celleveggenes oppbygging. Proteinene i blågrønnalger, som har cellevegger bygget opp av peptidoglykan og lipopolysakkarider, utnyttes som regel effektivt av varmblodige dyr. For grønnealger, som har cellevegger hovedsakelig av cellulose, er utnyttelsen av proteiner derimot begrenset i

enmagede dyr. Fordøyeligheten av grønnalger kan imidlertid forbedres ved prosesseringsteknikker som bryter opp celleveggene. Dette kan skje ved mekanisk behandling, varmebehandling eller enzymatisk behandling. Mest benyttet i storskalig produksjon av grønnalger til fôr eller ernæring er varmebehandling i forbindelse med tørking. Ved trommeltørking utsettes algene for en meget rask temperaturøkning som fører til at cellene sprenes. Denne prosessen synes å gi bedre fordøyelighet enn langsommere tørking (f.eks. soltørking) eller frysetørking. **Figur 7** viser hvordan fordøyeligheten av protein, målt ved en *in vitro* metode, påvirkes av forskjellige prosesseringsteknikker for hhv. en grønnalge (*Scenedesmus obliquus*) og en blågrønnalge (*Spirulina* sp.). (Becker 1994).



Figur 7. Effekten av forskjellige prosesseringsmetoder på *in vitro* fordøyelighet av grønnalgen *Scenedesmus obliquus* (til venstre) og blågrønnalgen *Spirulina* sp. (til høyere). Fordøyeligheten er målt med et pepsin/trypsin enzymsystem. (Fra Becker 1994).

I prosjektet ble *in vitro*-undersøkelser av noen prosesseringsteknikker utført på de to algetypene som er benyttet i de innledende foringsforsøkene med mink, dvs. grønnalgen NIVA *Selenastrum* (CS59) og blågrønnalgen NIVA *Oscillatoria* (BT76). Undersøkelsene ble utført ved Bioteknologisk Institutt i Kolding, Danmark (1999).

Undersøkelsene omfattet behandling med 5 enzymprodukter samt hydrotermisk behandling (ekstrudering). Enzymbehandlingene ble utført ved 40 °C i to timer. Varmebehandlingen skjedde i en varmeovn hvor tynne sjikt av våt algebiomasse ble tørket ved rask oppvarming ved to ulike temperaturer.

Fordøyeligheten av organisk stoff og råprotein ble målt ved inkubering med pepsin etterfulgt av pancreatin og en blanding av fiberspaltende enzymer. Etter filtrering ble oppløst organisk stoff og nitrogen bestemt i filtratet. Enzymfordøyelig organisk stoff (EFOS) og nitrogen (EFN) ble beregnet ved å sammenlikne innholdet av tørrstoff, aske og nitrogen i prøven, med oppløst organisk stoff og nitrogen i filtratet.

Resultatene fra testene med grønnalgen NIVA *Selenastrum* er vist i **Tabell 8**. De enkelte resultatene er merket med en bokstav, slik at resultater med samme bokstav i samme kolonne er ikke signifikant (95%) forskjellige målt med analysemetodens nøyaktighet. Resultatene viser at varmebehandling og behandling med enzymproduktet Grindamyl ga den beste fordøyeligheten av organisk stoff. Alle behandlinger resulterte i en økning av nitrogenfordøyeligheten. Her var noen av enzymbehandlingene mest effektive.

I følge rapporten fra Bioteknologisk Institutt er det overraskende at resultatene er så forskjellige for organisk stoff og nitrogen. Beregningene indikerer at alt annet organisk stoff enn proteinene er ufordøyelig etter noen av prøvebehandlingene. En forklaring kan være at cellulasetene har vært tilstrekkelig effektive til å bryte opp huller i celleveggene, og gi adgang for de proteolytiske enzymene, men ikke effektive nok til å gi noen nevneverdig nedbrytning av cellulosen til fordøyelige karbohydrater.

Tabell 8. Effekt av enzym- og varmebehandling av grønnalgen NIVA *Selenastrum* på fordøyelighet av organisk stoff (EFOS) og nitrogen (EFN).

	EFOS (%)	EFN (%)
Råvare (frysetørket)	39,5 a	60,6 a
Cellulast 2 g/kg	40,3 a,b	86,9 e
Viscozym 2 g/kg	43,1 ab	86,9 e
Grindamyl 2g/kg	46,2 bc	83,2 d
Cellulast + Viscozym 1+1 g/kg	39,5 a	82,6 d
Cellulast + Grindamyl 1+1 g/kg	35,9 a	84,6 d
Varmebehandling 300 °C	48,4 c	69,6 d
Varmebehandling 500 °C	50,5 c	69,6 b

Tilsvarende resultater fra forsøkene med NIVA *Oscillatoria* er vist i **Tabell 9**.

Her var fordøyeligheten av den ubehandlede (frysetørkede) algebiomassen høyere enn for NIVA *Selenastrum* eller hhv. 68% for EFOS og 84,8% for EFN. Likevel ga samtlige behandlinger en økning av fordøyeligheten av organisk stoff. Best resultat ble oppnådd med enzympreparatet Novozym. For nitrogen, hvor fordøyeligheten i utgangspunktet var høyere, er forskjellene mindre mellom de ulike behandlingene. Best resultat ga varmebehandlingen i 500 °C oven, mens tilsvarende behandling ved lavere temperatur ikke ga noen effekt.

Tabell 9. Effekt av enzym- og varmebehandling av blågrønnalgen NIVA *Oscillatoria* på fordøyelighet av organisk stoff (EFOS) og nitrogen (EFN).

	EFOS (%)	EFN (%)
Råvare (frysetørket)	68,0 a	84,8 ab
Neutrased 0,2 g/kg	75,0 bc	82,1 a
Neutrased 2g/kg	81,2 d	87,5 bc
Novozym 2 g/kg	85,8 e	87,2 b
Neutrased + Novozym 1+1 g/kg	77,0 c	89,0 c
Varmebehandling 300 °C	72,9 b	81,9 a
Varmebehandling 500 °	78,3 cd	92,9 d

6 Muligheter for bruk av mikroalger i fôr

De teoretiske og praktiske undersøkelser som ble utført i dette prosjektet gir grunnlag for noen hovedsakelige betraktninger om bruk av mikroalger i sammenheng med ernæring i dyrehold.

6.1. Generelt

Det foreligger et faglig godt underbygget kunnskapsgrunnlag om mikroalger som ressurs for utnyttelse i fôr. Dette gjelder arter som er egnet for massekultur, deres ernæringsmessige kvaliteter, samt effektive produksjonssystemer og høstingsmetoder. Basert på disse forutsetninger finner det internasjonalt sted en utvikling med å realisere mulighetene til praktiske/økonomiske løsninger. I første rekke er det foreløpig innenfor akvakultur den mest omfattende anvendelsen av mikroalger til fôr er virkeliggjort. Som utgangspunkt for fremstilling av spesifikke verdistoffer i fôrsammenheng har imidlertid også utvalgte arter fått betydelig økonomisk interesse til industriell produksjon.

Det tegner seg to sentrale utviklingsretninger for algekulturteknologi innenfor landbruk/akvakultur når det gjelder fôrmidler til dyrehold:

- en ekstensiv produksjon av mikroalger i småskala kultursystemer (akvakulturanlegg, gårdsanlegg, rensenanlegg etc.)
- en konsentrert, intensiv produksjon for industriformål på fôrsiden i storskala kultursystemer.

6.2. Spesielt

Basert på de foreliggende holdepunkter/kriterier med hensyn til egnethet for produksjon og ernæringsmessige forhold, ble to mikroalger valgt ut til praktiske forsøk i prosjektet. Dette var NIVA *Selenastrum* (grønnalge, CS 59) og NIVA *Oscillatoria* (blågrønnalge, BT76). Begge disse mikroalgene eksisterer som klonkulturer, og de er isolert fra norske lokaliteter.

Resultatene av den utførte biologiske og kjemiske karakteriseringen av disse mikroalgene dokumenterte gunstige kulturtekniske og ernæringsmessige sider. Mikroalgene kunne - via høsting og frysetørking - benyttes som et algemjøl til fôringsforsøk.

NIVA *Oscillatoria* fremhevet seg med høyt proteininnhold og tilfredsstillende proteinfordøyelighet. De innledende fôringsforsøkene med slaktekylling og smågris, ga positive resultater som fremmer det videre utviklingsarbeidet med denne klonkulturen.

Når det gjelder NIVA *Selenastrum* var den lite egnet som proteinfôrmiddel på grunn av lavt proteininnhold og liten fordøyelighet. Imidlertid hadde denne mikroalgen et interessant stoffinnhold av karotenoider. Resultatene av foringsforsøkene med verpehøns viste klar effekt av xanthofyll på plommefargen i egg. Konklusjonen er at denne klonkulturen kan bli et viktig tilskudd for plommefarge i fôr til verpehøns.

7 Videre virksomhet

De innledende kulturstudier av bl.a. NIVA *Selenastrum* og NIVA *Oscillatoria* og de praktiske fôringsforsøkene - med slaktekylling og verpehøns, henholdsvis smågris - ga lovende resultater for anvendelsen av disse mikroalgene som fôrkomponenter. Det planlegges nå videreføring av forskningsvirksomheten for å klarlegge faglige og praktiske forutsetninger for en effektiv fremstilling av fôrstoffer basert på disse mikroalgene. Arbeidet vil bli ført frem parallelt med ernæringsmessige studier og biologiske fôringsforsøk for å kunne formulere fôrprodukter hvor bestanddelene av mikroalger inngår på optimal måte. Spørsmålsstillinger som trenger oppmerksomhet omfatter bl.a. de energigivende næringsstoffene, fordøyelse og absorpsjon, mineralstoffer og sporstoffer samt vitaminer.

Et annet forhold som ikke er studert i dette prosjektet, men som, ifølge utenlandske rapporter, er interessant, er innvirkningen av mikroalgetilskudd på immunresponsen på husdyr. Dette bør undersøkes i samarbeid med veterinærhøgskolen.

Da samspillet mellom endogene vekstbetingelser og miljøfaktorer i stor grad bestemmer den kvalitative sammensetning av algebiomassen, vil eksperimentelle undersøkelser belyse valgmuligheter blant dyrkingsbetingelser som gir godt utbytte. Likeledes er høstingsmetoder og prosessering av biomassen avgjørende forutsetninger både for produktenes godhet og lønnsomhet i fremstilling. Disse forhold vil bli tatt opp i arbeidet som skal utføres. For å sikre tilgang på nødvendige kvanta av mikroalger til eksperimentering, utprøving av produkter og dyreforsøk, vil oppskalering av algekulturreaktorer bli foretatt.

Vi vil vurdere, sammen med aktuell industripartner, muligheten for kommersiell utnyttelse av kunnskaper ervervet i dette prosjektet.

Den praktiske forsøksvirksomheten knyttet til algekulturteknologi vil bli konsentrert om et anlegg for test- og pilotproduksjon av mikroalger på Slagen Energipark ved ESSO-raffineriet på Slagentangen i Vestfold. Dette AKT-ANLEGGET er nå under etablering

8 Referanser

Abril R & Barclay W 1998. Production of docosahexaenoic acid-enriched poultry eggs and meat using an algae-based feed ingredient. *World Rev Nutr Diet* 83:77-88.

Ahern, T. J., Katoh, S. & Sada, E. 1983. Arachidonic acid production by the red algae *Porphyridium cruentum*. *Biotechnology and Bioengineering* 25: 1057-1070.

Arad, S. 1988. Production of sulfated polysaccharides from red unicellular algae. In: *Algal Biotechnology*, eds. T. Stadler, J. Mollion, M.C. Verdus, Y. Karamanos, H. Morvan & D. Christiansen, pp. 65-87. Elsevier Applied Science Publ.

Becker, E.W. 1986. Nutritional properties of microalgae: potentials and constraints. In: Richmond, A. (ed.): *Handbook of microalgal mass culture*. CRC Press, Inc., Boca Raton Fl. pp. 339-419.

- Becker, E.W. 1994. Microalgae. Biotechnology and Microbiology. Cambridge Studies in Biotechnology 10, Cambridge University Press, Cambridge. 293 pp.
- Bioteknologisk institut 1999. Mikroalger – procesudvikling (STK J.nr. 361/99, s. nr. 96261). Rapport, Kolding 22 juni 1999, 12 s.
- Blum, J.C. & Calet, C. 1975. Food value of spiruline algae for growth of the broiler-type chicken. Ann. Nutr. Aliment. 29(6): 651-74.
- Borowitzka, M. & Borowitzka, L.J. (eds.) 1988. Micro-Algal Biotechnology. Cambridge University Press, Cambridge. 477 pp.
- Brown, I.I., Karakis, S.G., Filippova, T.O., Sarkisova, S.A., 1995. " The Physiological Effects of c-phycoyanin Crude Extract Obtained from *Spirulina platensis* overproducing Strain G-27". Lecture on Biotechnology of Microalgae, Workshop, Berlin, 11-12 September, 1995.
- Brown, M.R.; Mular, M.; Miller, I.; Farmer, C. & Trenerry, 1999. The vitamin content of microalgae used in aquaculture. J. Appl. Phycol., 11: 247-255.
- Bryant, D.A. 1994. The Molecular Biology of Cyanobacteria. - Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 881 pp.
- Chorus, I. & Bartram, J. 1999. Toxic cyanobacteria in water. World Health Organization. E & FN Spon, London. 416 pp.
- Cresswell, R.C., Rees, T.A.V. & Shah, N. (eds.) 1989. Algal and Cyanobacterial Biotechnology. Longman Scientific & Technical, Essex. 341 pp.
- Dunstan, G.A., Volkman, J.K., Barrett, S.M., Leroi, J-M. & Jeffrey, S.W. 1994. Essential polyunsaturated acids from 14 species of diatoms (Bacillariophyceae). Phytochem. 35: 155-161.
- Fedkovic, Y., Astre, C., Pingnet, F., Gerber, M., Ychow, M. & Pujol, H. 1993. Spiruline et cancer. In: F. Doumenge, H. Durand-Chastel, A. Toulemont (eds.) Spiruline, algue de vie. Bulletin de l'Institut océanographique, Monaco. Numéro spécial 12: 117-132.
- Felleskjøpet Fôrutvikling 1999. Algebiomasse og BioPlus 2B i fôr til smågris og effekt på tilvekst, fôrutnyttelse og helse. FKF-Rapport 16.08.99, 7s.
- Fevrier, C. & Seve, B. 1975. Incorporation of a spiruline (*Spirulina maxima*) in swine food. Ann. Nutr. Aliment 29(6):625-50. (in French)
- Filali Mouhim, R., Cornet, J.-F., Fontana, T., Fournet, B. & Dubertret, G. 1993. Production, isolation and preliminary characterization of the exopolysaccharide of the cyanobacterium *Spirulina platensis*. Biotechnol. Lett. 15: 567.
- Fleurence, J. 1999. The enzymatic degradation of algal cell walls: a useful approach for improving protein accessibility? J. Appl. Phycol. 11: 313-324.
- Franklin, S.T., D.J. Schingoethe & R.J. Baer, R.J. 1998. Production and feed intake of cows fed diets high in omega-3 fatty acids from unprotected and ruminally protected algae. Journal of Dietary Science 81 (suppl. 1): 353.

- Fuller, R. 1997. Probiotics. Applications and practical aspects. Chapman & Hall, London. 212 pp.
- Ginzberg, A., Cohen, M., Sod Moriah, U., Shani, S. & Arad(Malis), S. 1999. Feeding chickens with biomass of red microalgae. Proceedings at 8th International Conference on Applied Algology. Algae and Human Affairs in the 21th Century. 26. Sept. – 1. October, Montecatini Terme, Italy.
- Gouveia, L., Veloso, V., Reis, A., Fernandes, H., Novais, J. & J. Empis 1996. *Chlorella vulgaris* used to colour egg yolk. Journal of the Science of Food and Agriculture 70 (2): 167-172.
- Goyal, D. & Goyal, S.K. 1998. Biotechnological potential of microalgae. In: B.N. Verma, A.N. Kargupta & S.K. Goyal (eds), Advances in Phycology, pp. 1-21. APC Publications Pvt. Ltd., New Delhi.
- Grinstead, G.S., Tokash, M.D., Goodband, R.D., Nelssen J.L., Sawyer J.T., Maxwell C.J. & Stott, R.D. 1999. Evaluation of *Spirulina platensis* in diets for weanling pigs. Journal of Animal Science 77, (suppl. 1), 63.
- Harrison, M.D., Walker, W.R., Lincoln, E.P. & Combs, G.E. 1986. Performance of growing-finishing swine feed diets containing algae produced on swine lagoon effluent. Nutrient Reports International 33 (5): 769-776.
- Herber, S.M. & van Elswyk, M.E. 1995. Algae as poultry ration supplement for the production of omega-3 fatty acid rich eggs. Poultry Science 74, suppl. 1, p. 193.
- Herber, S.M. & van Elswyk, M.E. 1996. Dietary marine algae promote efficient deposition of n-3 fatty acids for the production of enriched shell eggs. Poultry Science 75 (12): 1501-1507.
- Institutt for husdyrfag 1999a. Fordøyelighet av algeprodukter. NLH-rapport, 31.03.99, 11 s.
- Institutt for husdyrfag 1999b. Algemasse som fôr til slaktekylling og verpehøns. NLH-rapport, 26.08.99, 27 s.
- Jahn, S., Thieme, H.-J. & Sparborth, D. 1995. "Investigations of Economic Efficiency of *Chlorella* Biomass in the Piglet Production". Lecture on Biotechnology of Microalgae, Workshop, Berlin, 11-12 September, 1995.
- Jensen, A. 1995. Production of alginate. In: Algae, Environment and Human Affairs. Eds. W. Wiessner, E. Schnepf & R.C. Starr., Biopress Ltd., Bristol., pp. 79-92.
- Kennedy, J. & Hutchinson, C.R. 1999. Nurturing nature: engineering new antibiotics. Nature Biotechn. 17: 538-539.
- Knutsen, G. & Hansen, K. 1997. From sea to test: Search for bioactive substances from marine microalgae and cyanobacteria. In: Y. Le Gal & A. Muller-Fenga (eds.) "Marine microorganisms for industry". pp. 169-178. IFREMER. ISBN 2-905434-94-5. Plouzené.
- Knutsen, G. 1999. *Spirulina* - pionerorganismen i internasjonal algekulturt Teknologi. VANN 34(1): 62-70.
- Kotrbaček V, Halouzka R, Jurajda V, Knotkova Z & Filka J 1994. Increased immune response in broilers after administration of natural food supplements. Vet Med (Praha) 39(6):321-328. (In Czech)

- Kotrbaček, V., Doucha, J., Filka, J. & Lívanský 1995. "Physiological Effects of Chlorococcal Algae on the Organism of Animals". Lecture on Biotechnology of Microalgae, Workshop, Berlin, 11-12 September, 1995.
- Lewin, R.A. (ed.) 1962: Physiology and Biochemistry of Algae. Academic Press, New York. 929 pp.
- Lincoln, E.P., Crawford, J.J.W. & Wilkie, A.C. 1993. *Spirulina* in animal agriculture. Bulletin de l'Institut océanographique, Monaco, No.Spec. 12: 109-115.
- Materassi, R., Paoletti, C., Balloni, W. & Florenzano, G. 1980. Some considerations on the production of lipid substances by microalgae and cyanobacteria. In: Algae Biomass, eds. G. Shelef & C.J. Soeder, pp. 619-626. Amsterdam: Elsevier/North Holland Biomedical Press.
- Namikoshi, M., & Rinehart, K.L. 1996. Bioactive compounds produced by cyanobacteria. J. Indust. Microbiol 17: 373-384.
- NIVA 1996. Algekulturt Teknologi – anvendelse innenfor virksomhetsområdene til Norske Potetindustrier og Felleskjøpet Fôrutvikling. NIVA rapport O-95081-95094, 93 s.
- Olsen, Y. 1989. Cultivated Microalgae as a source of Omega-3 Fatty Acids. In: Fish, Fats and your Health. Proceedings of the International Conference on Fish Lipids and their Influence on Human Health. pp. 55-61. Svanøy Foundation, Norway.
- Qureshi, M.A., Garlich, J.D. & Kidd, M.T. 1996. Dietary *Spirulina platensis* enhances humoral and cell-mediated immune functions in chickens. Immunopharmacol. Immunotoxicol. 18(3):465-76. (in French).
- Reitan, K.J. 1999. Mikroalger og akvakultur. VANN, 34(1): 45-54.
- Richmond, A. 1990. Large scale microalgal culture and applications. - Progress in Phycological Research 7: 269-330.
- Ross, E. & Dominy, W. 1990. The nutritional value of dehydrated blue-green algae *Spirulina platensis* for poultry. Poultry Science 65 (5): 794-800.
- Ross, E., Puapong, D.P., Cepeda, F.P. & Patterson, P.H. 1994. Comparison of freeze-dried and extruded *Spirulina platensis* as yolk pigmenting agents. Poult. Sci. 73(8):1282-1289.
- Schlegel, I.; Doan, N.T.; de Chazal, N. & Smith, G.D. 1999. Antibiotic activity of new cyanobacterial isolates from Australia and Asia against green algae and cyanobacteria. J. Appl. Phycol. 10 (5): 471-479.
- Schneegurt, M. A., Arieli, B., McKeehen, J. D., Stephens, S. D., Nielsen, S. S., Saha, P. R., Trumbo, P. R. & Sherman, L. A. 1995. Compositional and toxicological evaluation of the diazotrophic cyanobacterium, *Cyanothece* sp. strain ATCC 51142. Aquaculture 134: 339-349.
- Setlík, I., Sust, V. & Málek, I. 1970. Dual purpose open circulation units for large scale culture of algae in temperate zones. Basic design considerations and scheme of pilot plant. - Algol. Stud. (Trebson). 1: 111-164.
- Shelef, G. & Soeder, C.J. 1980. Algae biomass, production and use. Elsevier/North-Holland Biomedical Press, Amsterdam. 852 pp.

- Shelef, G., Y. Azov, R. Moraine & G. Oron 1980. Algal mass production as an integral part of wastewater treatment and reclamation system. In: Shelef, G. & C.J. Soeder (eds.): Alga biomass. Elsevier/North Holland Biomedical Press, Amsterdam, pp. 162-203.
- Sidler, W.A. 1994. Phycobilisome and phycobiliprotein structures. In: "The molecular biology of cyanobacteria" D. A. Bryant (ed.) Advances in photosynthesis. Volume 1. pp. 139-216. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Skulberg, O.M. 1988. Chemical ecology and off-flavour substances. Wat. Sci. Technol. 20 (8/9): 167-178.
- Skulberg, O.M. 1996. Toxins produced by cyanophytes in Norwegian inland waters - health and environment. In: J. Låg (ed.) Chemical data as basis of geomedical investigations. The Norwegian Academy of Science and Letters, Oslo, pp. 197-216.
- Skulberg, O.M. 1994. *Oscillatorialean* cyanoprokaryotes and their application for algal culture technology. - Arch. Hydrobiol./Suppl. 105, Algological Studies 75: 265-278.
- Skulberg, O.M., Carmichael, W.W., Codd, G.A. & Skulberg, R. 1993. Taxonomy of Toxic Cyanophyceae (Cyanobacteria). In: Algal Toxins in Seafood and Drinking Water. Ed. J.R. Falconer, pp. 145-164. Academic Press Ltd., London.
- Soeder, C.J. 1980. Massive cultivation of microalgae: Results and prospects. Hydrobiologia 72: 197-209.
- Tillmann, U., Baumann, M.E.M. & Aletsu, L. 1989. Distribution of carbon among photosynthetic end products in the bloomforming Arctic diatom *Thalassiosira antarctica* Comber. Polar Biol. 10: 231-238.
- van den Hoek, C. 1978. Algen, Einführung in die Phykologie. Georg Thieme. Verlag, Stuttgart. 481 pp.
- van Elswyk M.E. 1997. Comparison of n-3 fatty acid sources in laying hen rations for improvement of whole egg nutritional quality: a review. Br. J. Nutr. 78 (suppl 1): 61-69.
- van Elswyk, M.E., Ashford, A.L., Barclay, W.R. & Abril, J.R. 1998. Marine microalgae is safe in laying hen rations up to five times the recommended inclusion rate. Poultry Science 77 (suppl. 1): 41.
- Van Vuren, M.M.J. & Grobbelaar, J.U. 1982. Selection of algal species for use in open outdoor mass culture. - Water SA 8 (2): 86-91.
- Venkataraman L.V., Somasekaran T., Becker E.W. 1994. Replacement value of blue-green alga (*Spirulina platensis*) for fishmeal and a vitamin-mineral premix for broiler chicks. Plant. Br. Poult. Sci. 35(3):373-81.
- Vincenzini, M., Sili, C., DePhilippis, R., Ena, A. & Materassi, R. 1990. Occurrence of poly- β -hydroxy-butyrate in *Spirulina* species. J. Bacteriol. 172: 2791.
- Vonshak, A. 1997. *Spirulina platensis* (*Arthrospira*). Physiology, cell-biology and biotechnology. Taylor & Francis, London. 233 pp.
- Zeisel, S.H. 1999. Regulation of nutraceuticals. Science 285: 1835-1855.