



Plantebaseret Seafood

Tang og mikroalger som kilde til omega-3 fedtsyrer, protein og vitaminer i fremtidens fødevarer

Rapport: Plantebaseret Seafood – Tang og mikroalger som kilde til omega-3 fedtsyrer, protein og vitaminer i fremtidens fødevarer

April 2023

Copyright: DTU Fødevareinstituttet

Foto på forsiden: Colourbox

ISBN: 978-87-7586-011-1

Udarbejdet af

Adjunkt Ditte Baun Hermund

Redigeret af

Lektor Susan Løvstad Holdt, ph.d.-studerende Cecilie Bay Wirenfeldt og professor Charlotte Jacobsen

Rapporten findes i elektronisk form på adresserne:

www.food.dtu.dk

og

www.foodbiocluster.dk/viden

Rapporten er lavet på baggrund af initiativ fra Food and Bio Cluster Denmark og støttet af Danmarks Erhvervsfremmebestyrelse.

DTU Fødevareinstituttet

Kemitorvet

2800 Lyngby

Tlf.: +45 35 88 70 00

Fax +45 35 88 70 01

Om rapporten

Denne rapport henvender sig til danske fødevareproducenter, start-ups og andre, der har interesse for innovation af fødevarer. Hovedformålet er at sætte fokus på tang og mikroalger som kilde til nogle af de næringsstoffer, vi ellers kun ser i fisk og skaldyr. Rapporten giver en status på tang- og mikroalgeproduktionen i Danmark, hvilke produkter der er tilgængelige samt et perspektiv på mulighederne for at få tang og mikroalger til at blive en endnu større del af vores fødevareudvalg. Håbet er, at rapporten kan være til inspiration og sætte gang i innovationen med henblik på at producere sikre, sunde og bæredygtige produkter, som kan blive fremtidens svar på plantebaseret mad fra havet.

Trenden går imod flere plantebaserede fødevarer og færre animalske fødevarer. Derfor er det interessant at finde nye kilder til essentielle næringsstoffer såsom essentielle fedtsyrer og aminosyrer samt vitaminer og mineraler.

Både tang og mikroalger er rige på en lang række næringsstoffer, som er sammenlignelige med næringsstoffer fra eksempelvis kød og grøntsager. Tang og mikroalger vil desuden kunne bidrage til at komme nærmere målene om bæredygtig udnyttelse af vores ressourcer og fødevareproduktion.

Rapporten er lavet på baggrund af et initiativ fra Food and Bio Cluster Denmark (F&BCD) og finansieret af Danmarks Erhvervsfremmebestyrelse (Danish Board of Business Development). Rapporten er redigeret og udarbejdet i samarbejde med lektor Susan L. Holdt, ph.d. Cecilie B. Wirenfeldt og professor Charlotte Jacobsen. Hermed en stor tak til alle for jeres tid og bidrag.



"Som en del af den grønne omstilling skal vi spise mere plantebaseret. Målet er, at tang og mikroalger skal være en integreret del af vores kost – ikke som alternativ til fisk og skaldyr, men som en del af fremtidens fødevarer. Det vil vi på DTU Fødevareinstituttet opnå gennem innovativ forskning i tæt samarbejde med fødevareindustrien"

– Ph.d. Ditte Baun Hermund

Sammenfatning

I denne fokusanalyse giver vi en status på forskningsprojekter og initiativer indenfor dyrkning og anvendelse af tang og mikroalger til fødevarer. Formålet er at inspirere til nye initiativer på området for at få sat skub i innovation og etablering af en ny fødevaregruppe indenfor "plantebaseret" seafood. Vi kalder det "plantebaseret", selvom tang og mikroalger ikke er planter men hhv. fler- og encellede organismer, altså to typer af alger.

Overgangen fra animalsk til plantebaseret kost behøver ikke være på bekostning af smag og sundhed. På DTU Fødevareinstituttet forskes der i den blå biomasse og marine ressourcer. Det dækker alt fra bifangster såsom søstjerner til mikroalger. Men hovedformålet er, at vi skal blive bedre til at udnytte vores ressourcer og udvikle sunde, sikre og velsmagende fødevarer og ingredienser heraf. Tang og mikroalger er ideelle marine fødevarer, da deres næringssammensætning er meget lig den, vi ser i fisk og skaldyr.

Vi har fået mere viden om, hvilke tangarter der er interessante ift. næringssammensætning og smag, hvordan vi kan så og dyrke tang med forskellige dyrkningssystemer, samt hvordan høstning optimeres, og hvordan tangen ændrer sammensætning afhængig af sæson. Alt dette med henblik på at få det optimale udbytte af f.eks. protein.

Vi ved også nu, at det er muligt at udvælge, avle eller lave mutationer af mikroalger, alt sammen med det formål at optimere indholdsstofferne, f.eks. proteinindholdet. Ift. dyrkning af mikroalger er der behov for yderligere forskning i mulighederne for at udnytte industrielt procesvand som næringsmedie til fototrofe mikroalger.

Smag og udseende spiller en stor rolle for forbrugernes accept af nye plantebaserede fødevarer. Igennem processering, som bl.a. fermentering, forskes der i at gøre tang og mikroalger appetitlige. Derudover kan tilsætning af antioxidanter være med til at forhindre harskning og udvikling af uønsket smag og lugt i produktet under processering, som påvirker stabiliteten af f.eks. de umættede fedtsyrer, der er til stede i både tang og mikroalger.

Forskningen har hidtil hovedsageligt fokuseret på anvendelsen af tørrede produkter og ekstrakter, men der er stigende fokus på anvendelsen af frisk tang og mikroalger. Derfor bliver der nu forsket i fermentering og forskellige andre processeringsteknologier for at gøre produkterne mere appetitlige.

Man diskuterer også, om tang og mikroalger skal ses som et alternativ til fisk og skaldyr, eller om vi ved at lave en hel ny fødevarekategori eller måske endda to kategorier kan få større succes med at få nye tang- og mikroalgebaserede fødevarer på hylderne i Danmark.

Indhold

Om rapporten	1
Sammenfatning	2
1. Baggrund	4
1.1. Hvorfor tang og mikroalger?	4
1.2. Hvad er tang?	4
1.3. Hvad er mikroalger?	6
2. Dyrknings- og høstteknologier	7
2.1. Tang	7
2.1.1. Såning og dyrkning af tang	7
2.2. Mikroalger	8
2.2.1. Dyrkning af mikroalger	8
3. Tang og mikroalger som fødevarer	11
3.1. Kemisk næringsstofsammensætning	11
3.2. Fødevareanvendelse	12
3.3. Fødevarekvalitet og –sikkerhed	14
4. Processering af tang og mikroalger	14
4.1. Stabilisering af biomassen	14
4.1.1. Tørring af tang og mikroalger	14
4.1.2. Fermentering af tang	15
4.2. Udvindelse, valorisering og bioraffinering	16
5. Forbrugernes accept af nye fødevarer	18
5.1. Er tang og mikroalger grøntsager?	18
5.2. Velsmag er vigtig	18
6. Konklusion	19
7. Referenceliste	20

1. Baggrund

1.1. Hvorfor tang og mikroalger?

Fra fisk og skaldyr får vi mange af de vigtigste byggesten til en sund krop og velvære. Det er blandt andet essentielle aminosyrer, umættede langkædede fedtsyrer som omega-3-fedtsyrer, vigtige mineraler som selen, jod og magnesium samt B12- og D3-vitamin. Disse næringsstoffer får vi i dag hovedsageligt fra animalske fødevarer inklusive fisk. Men hvad nu hvis vi kunne få de samme vigtige næringsstoffer gennem ikke-animalske marine fødevarer med et langt mindre miljømæssigt aftryk, som samtidig lever op til FN's Verdensmål for bæredygtig udvikling af vores fødevareproduktion og brug af ressourcer? (<https://un.dk/da/om-fn/verdensmaalene/>)

Den 15. november 2022 rundede verdens befolkning 8 milliarder og den forventes at ramme 9,8 milliarder i 2050. Både globalt og nationalt er der stort fokus på at omlægge fødevareproduktionen for at opnå bedre udnyttelse af vores ressourcer, sikre større udbytte, øge folkesundheden samt reducere den menneskeskabte miljø- og klimabelastning (Bruno m. fl. 2019; EAT-lancet 2019). For at kunne følge med befolkningstilvæksten er der ifølge OECD-FAO Agricultural outlook (OECD/FAO 2019) en forventning om, at produktionen af fødevarer på land vil stige med 15 % i det kommende årti. Det skaber et stigende pres på den i forvejen begrænsede dyrkbare jord, ferskvand og fosfor. I Danmark bruger vi allerede mere end 60 % af landjorden på landbrug, hvoraf 80 % udelukkende anvendes til produktion af foder til husdyr (Danmarks Naturfredningsforening m. fl. 2020). En international ekspertrapport (EAT-Lancet 2019) påviser, at fødevareproduktion er den væsentligste årsag til, at jordens økosystemer ændres. Hovedkonklusionen er, at vi har akut brug for en global og koordineret forandring af vores fødevaresystemer.

En rapport fra DTU og Aarhus Universitet fra 2021 understreger, at Danmark har et stort potentiale for i langt højere grad at lade fødevarer fra havet såsom tang og muslinger dække vores næringsbehov. Det vil samtidig mindske fødevarernes CO₂-aftryk, understøtte den cirkulære bioøkonomi og bidrage positivt til havmiljø og klima (Petersen m. fl. 2021). Havet spiller i det hele taget en vigtig rolle for både fødevareforsyning og vores sundhed, og havet kan være nøglen til at finde bæredygtige løsninger for fremtidens fødevarer.

Vi skal spise mere fra bunden af fødenetværket og mindre fra toppen, hvis vi gerne vil spise mere bæredygtigt. Fisk ligger højt i det vi kalder fødenetværket (eller -pyramiden), hvorimod tang og mikroalger ligger i den nederste del. Hver gang vi bevæger os op i fødenetværket, går der fødevarer tabt, fordi den nederste del bruges til produktion af de fødevarer som ligger højere til f.eks. foder til husdyr.

Den rette næringssammensætning i fødevarer er ikke nok til at tilfredsstille forbrugerne, der ønsker fødevarer, som afspejler omtanke for naturen. Det kan være i form af en bæredygtig råvare eller den måde, fødevaren er produceret og forarbejdet på. Helst skal fødevaren være produceret på en bæredygtig måde uden udledning af CO₂ eller et højt energiforbrug. Samtidig skal maden smage godt og helst også ligne den, forbrugerne allerede kender. Erstatningsprodukter og især køderstatning er derfor blevet populære i Danmark. Men vi skal videre fra de meget forarbejdede erstatningsfødevarer og kigge på fremtidens fødevarer som en helt ny fødevarekategori, der f.eks. kan bestå af tang og mikroalger.

1.2. Hvad er tang?

Tang er ikke planter men flercellede alger, som er større end mikroalger, hvorfor de også kaldes makroalger. Tang har ingen rødder og ingen blomster, men kan holde sig fast på substrat/sten ved hjælp af hapterer, der kan ligne rødder, men fotosyntese og næringssalte optages over hele tangbiomassen. Tang kan være ned til få millimeter og op til flere meter lange. Tang opdeles i tre hovedkategorier; rødalger, grønalger og brunalger. Kategorierne er bl.a. inddelt efter deres ligheder i livscyklus og de farvestoffer, som er mest dominerende i tangen, men det betyder ikke, at det altid er

nemt at se forskel på de forskellige arter ud fra deres farve. Alle tangarter indeholder det grønne farvestof klorofyl, som bruges til at lave fotosyntese.

Tangs evne til at lave fotosyntese er afgørende for økosystemet i havet, og det udgør grundlaget for livet i havet. Tangens dannelse af ilt og kulhydrat gør dem til primærproducenter og første led i fødekæden, hvor havets dyr og dyreplankton spiser dem og danner grundlaget for videre liv i havet.

I Danmark har vi flere spiselige tangarter og ingen arter, der er giftige. De mest almindelige er:

- Sukkertang (*Saccharina latissima*)
- Blæretang (*Fucus vesiculosus*)
- Søsalat (*Ulva* sp.)
- Søl (*Palmaria palmata*)

Sukkertang og blæretang er begge brune tangarter, imens søsalat og søl er hhv. grønne og røde tangarter. På billedet nedenfor ses eksempler på disse fire typer tang. Der er stor forskel på næringssammensætningen og de bioaktive stoffer mellem de forskellige arter og også inden for hver type af tang. Tang er ikke bare tang – forskellene kan være lige så store som mellem bananer og broccoli.



Saccharina latissima
Sukkertang



Ulva spp.
Søsalat



Fucus vesiculosus
Blæretang

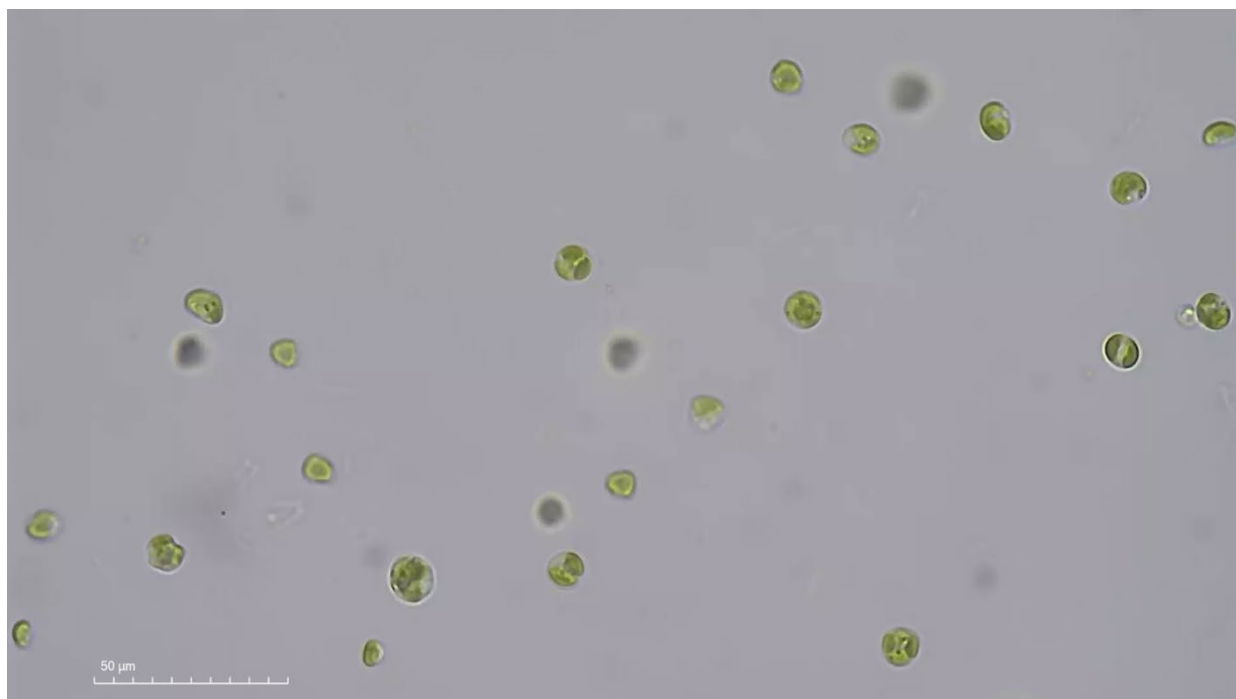


Palmaria palmata
Søl

Foto: DTU Fødevareinstituttet

1.3. Hvad er mikroalger?

Mikroalger er små mikroorganismer, som lever i vand og har evnen til at lave fotosyntese. Det inkluderer også nogle bakterier med evnen til at lave fotosyntese (blågrønalger eller cyanobakterier). De fleste mikroalgers vækst afhænger af lys og næringssalte, som de får fra det vand (salt eller ferskvand), de gror i. Nogle mikroalger kan gro uden fotosyntese og anvende organisk stof som energikilde (eller en blanding af fotosyntese og organisk stof). Mikroalger stammer typisk fra en eller få celler, som deler sig og bliver til flere. Under de rette betingelser kan man få mikroalger til at gro hurtigt og dele sig til store mængder biomasse på relativt kort tid. Mikroalger kan have forskellige former og farver, der kan studeres under mikroskop. Deres anvendelse afhænger af deres sammensætning, og de kan være egnede til både fødevarer, foder, kosmetik eller biobrændsel.



Mikroalge Nanocloropsis. Foto: DTU Fødevareinstituttet

Spirulina og *Chlorella* er nogle af de mest udbredte mikroalgearter, som normalt anvendes som kosttilskud. Man kan avle eller lave mutationer af mikroalger og dermed udvælge eller designe dem til at have højere indhold af protein eller en bestemt fedtsyre for at gøre dem endnu mere attraktive som fødevarer eller ingrediens. Næringssammensætningen afhænger i høj grad af mikroalgearten, og det kan derfor være en fordel at udvælge de mikroalgearter, som producerer et højt indhold af sunde fedtstoffer og vitaminer.

2. Dyrknings- og høstteknologier

2.1. Tang

2.1.1. Såning og dyrkning af tang

Forekomsten af tangarter forskellige steder i Danmark afhænger af næringssaltmængden og saltkoncentrationen i havet i et område. Tang trives generelt i det salte havvand. Nogle tangarter er mere tolerante over for lavt saltindhold, mens andre har tilpasset sig steder med lav saltkoncentration, som f.eks. i Østersøen. Tilpasningen sker dog typisk på bekostning af deres væksthastighed og størrelse. Uroligt hav med store bølger kan give nogle tangarter udfordringer, fordi de kan blive revet løs, mens andre arter er tilpasset disse områder. Nogle tangarter tåler udtørring og kan derfor også vokse på steder, hvor der er stor forskel på lav- og højvande. Tangsporer (frø) vil helst sætte sig på et substrat som f.eks. en musling, sten eller klippe og ses derfor oftest ved havnemoler og mindre ved sandstrande, hvis det ikke er i form af opskyl.

I Danmark er der blevet forsket bredt i tang fra sporedannelse og "såning" af små tang-babyer på reb og liner til både hav- og landbaseret dyrkning, tilførsel af næringssalte samt vækstdybde og -tæthed.

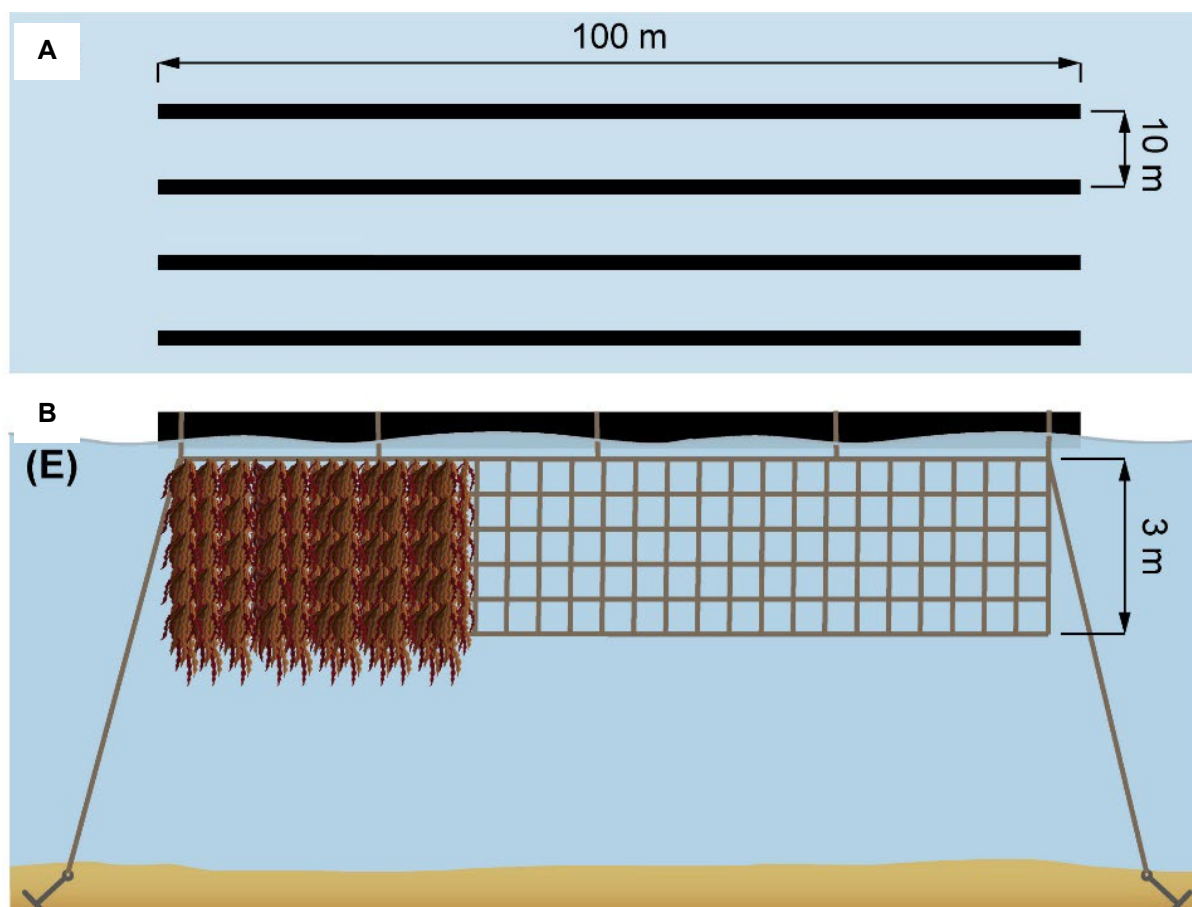
I 2020 udgav Mette Møller Nielsen og Peter Søndergaard Schmedes fra Dansk Skaldyrcenter (DTU Aqua) en manual til succesfuld dyrkning af søl i Danmark og Norge (Nielsen og Schmedes 2020). Selvom der med denne forskning er lagt nogle gode, solide grundsten for dyrkning af søl, så er dyrkningsmetoden endnu ikke helt optimeret, og metoden bør derfor undersøges, iagttages og videreudvikles, for at dyrkningen af søl kan komme helt i hus og være rentabel.

Sukkertang er en af de mest succesfulde tangarter at dyrke. Når man dyrker disse, laver man sporeliner, der får tangen til at vokse til bittesmå tangplanter i et indendørs kontrolleret miljø, hvorefter man sætter tanglinerne ud i havet, hvor tangen vokser sig stor på linerne/rebene. Man kan købe såliner, som er klar til at blive sat ud, men det er også muligt selv at lave såliner for at holde omkostningerne nede.

Udvikling af dyrkningssystemer til tangdyrkning på Færøerne, som sikrer dyrkning af sukkertang både horisontalt og vertikalt, er noget af det, forskere indtil videre har haft størst succes med. I 2019 udgav Urd Bak fra DTU Fødevareinstituttet en ph.d.-afhandling om bl.a. såning og dyrkning af tang på Færøerne, som har revolutioneret den måde, tang kan dyrkes på (Bak 2019).

MACR-systemet er udviklet til kultivering af tang på åbent hav, hvor man i modsætning til det kystnære dyrker fra 0 til 10 meters vanddybde. Her bliver tangen høstet fra båd – delvist manuelt – og der er mulighed for flere høstninger på samme tangline tre år i træk. Sukkertangen kan beskæres/høstes to gange årligt tre år i træk, mens fingertang kan høstes én gang om året to-tre år i træk. For sukkertang estimerer man produktionsudbyttet til at være 29 tons frisk tang pr. hektar. Flere høstninger pr. år samt genhøstning på samme tangliner giver store ressourcemæssige besparelser og kan være med til at holde udgifterne nede. Sukkertang dyrkes på en anden måde opskaleret i Danmark.

I Danmark ses der langt mindre udbytte end i både Norge og på Færøerne, og det højst rapporterede estimerede produktionsudbytte af sukkertang dyrket på liner på 1 til 5 meters dybde er 7,1 tons frisk tang pr. hektar (Marinho m. fl. 2015). Boderskov m. fl. (2023) beskriver, hvordan man med netsystemer (Figur 1) frem for liner (samt beskæring) kan øge produktionsudbyttet af sukkertang i Danmark.



Figur 1. Netsystem til dyrkning af sukkertang i Danmark. A: set oppefra, B: set fra siden under havoverfladen (modificeret fra Boderskov m. fl. 2023)

Nogle få firmaer i Danmark producerer og høster tang, eksempelvis Dansk Tang (dansk tang.dk), Aurelis (aurelisfood.com) og Maripure. Derudover har firmaet Pure Algae (purealgae.dk) specialiseret sig i tangdyrkning på land. De tilbyder deres teknologi til virksomheder, som vil udvide deres produktion, for eksempel ved at dyrke tang på spildevand fra fødevarerproduktion. Det giver fødevarer virksomheden et nyt produkt, samtidig med at det mindsker deres udledning af spildevand, og dermed bidrager det til den cirkulære bioøkonomi i virksomheden.

Læs mere om dyrkning og høst af tang i "Videnssynthese om blå biomasse" fra DTU og Århus Universitet fra 2021 (Petersen m. fl. 2021), eller få indsigt i dyrkning af sukkertang via Dansk Skaldyrsceneters e-learning (DTU Aqua 2023). Ydermere har Boderskov og Krause-Jensen (2022) gennemgået litteratur om tang, og hvordan det påvirkes af lys, næringssalte og temperatur i danske farvande, som giver indblik i, hvordan disse faktorer påvirker vækst og næringssammensætningen af forskellige tangarter i Danmark.

2.2. Mikroalger

2.2.1. Dyrkning af mikroalger

Nogle mikroalger er fototrofe og kan dyrkes i fotobioreaktorer (jf. foto) med konstant tilførsel af lys, CO₂ og næringsstoffer (hovedsageligt nitrogen og fosfor), hvor de er i stand til at omdanne CO₂ og næringsstofferne til protein og andre næringsstoffer. Andre mikroalger er heterotrofe og kan dyrkes i en "fermentor" uden lys men kræver tilførsel af kulstof i form af sukker.

Danmark har en lang tradition for bioteknologiudvikling, bl.a. til produktion af enzymer. Det er teknologier, som kan overføres til mikroalgeproduktion og dermed skabe basis for udvikling af en ny

industri herhjemme, som kan måle sig med den udvikling, der har været i resten af Europa de sidste 10 år (Araujo m. fl. 2021).

Der er på nuværende tidspunkt kun meget få aktive producenter af mikroalgedyrkning i Danmark. Aliga Aps er en af de danske mikroalgaeproducenter, som producerer mikroalger (*Chlorella*) til fiskefoder og fødevarer (<https://aliga.dk/>). Aliga dyrker proteinrige mikroalger i en fermentor uden lys. Den proteinrige mikroalge-biomasse anvendes uden forarbejdning, dvs. at protein ikke ekstraheres fra algebiomassen, som anvendes direkte til foder og fødevarer.

Da mikroalgedyrkning stadig er på et meget tidligt stadie i Danmark, er det svært at estimere, hvor mange tons biomasse en mikroalgeindustri i Danmark kan bidrage med inden for en nær fremtid. Christopher Jensen (CEO NatuRem Bioscience) oplyste i forbindelse med en matchmaking-event i Plantebaseret Videnscenter, at deres produktion af mikroalger forventeligt vil være på markedet i storskala i 2022. Virksomheden er pt. i gang med at opskalere teknologien til pilotskala og samarbejder med flere danske vidensinstitutioner og fødevarer virksomheder med støtte fra Innovationsfonden (DVF 2021).

I samspil mellem industri og universiteterne er vi kommet et skridt nærmere en gunstig mikroalgeproduktion i Danmark, bl.a. til produktion af protein. I forskningsprojekter er der hidtil blevet beskrevet en mikroalgeproduktion (åbne og lukkede systemer fra Danmark og Holland) med et udbytte på 8-19 tons protein pr. hektar pr. år, hvor proteinindholdet i biomassen var 47-57 % af tørvægten. I projektet ReMAPP (Resource Efficient Microalgae Protein Production) (ReMAPP 2023), der er finansieret af Innovationsfonden, tester man f.eks. på Teknologisk Institut dyrkning af mikroalger i lange plastikposer. Indtil videre viser forsøgene, at der kan etableres en årlig produktion af 40 tons mikroalgebiomasse pr. hektar med 50 % proteinindhold (tørvægt) (Petersen m. fl. 2021).

Med den høje væksthastighed og mulighed for vertikal og horisontal dyrkning kan mikroalgedyrkning potentielt set sætte nye standarder hvad angår proteinproduktions effektivitet pr. areal. Til sammenligning har mikroalger op til 20 gange mere protein end soja pr. arealenhed. Mikroalgernes evne til at lave fotosyntese kan bidrage til at producere CO₂-neutrale fødevarer. Derudover er det også muligt at få mikroalger til at vokse på industrielt næringsrigt procesvand og dermed reducere såvel energiforbrug som omkostninger til rensning af spildevand.



Fotobioreaktor. Foto: DTU Fødevareinstituttet

For at forbedre algestammernes robusthed, væksthastighed og biotilgængelighed af næringsstoffer er det nødvendigt at forske i og implementere selektive avls- og forædlingsprogrammer. . Derudover kræves udvikling og implementering af storskala-fermenteringsteknologi og kulstofkilder til heterotrof dyrkning af alger samt nyere og mere effektive fotobioreaktorer til dyrkning af fototrofe mikroalger. Der er også behov for yderligere forskning i mulighederne for at udnytte industrielt procesvand som næringsmedie til fototrofe mikroalger.



Savtang (*Fucus serratus*). Foto: DTU Fødevareinstituttet

3. Tang og mikroalger som fødevarer

Plantebaserede fødevarer og alternativer til kød og mælkeprodukter er velkendte i supermarkedet, mens plantebaserede alternativer til fisk og skaldyr ikke er så udbredte.

Som alternativ til opdrættede eller fangede fisk og skaldyr produceres der i USA "fishless" fisk ved cellekultivering, som både smager, ligner og har konsistens som fisk og har en næringssammensætning, der ligner fisk. I Tyskland laver man f.eks. BettaFish (bettafish.co), der er et tunlignende produkt, som det vi kender fra dåsetun, ud af tang. Dette produkt er tilgængeligt i de fleste supermarkeder i Tyskland.

Tang og mikroalger har en unik næringssammensætning, som er meget lig den, vi ellers kun ser i fisk og skaldyr. Spørgsmålet er bare, om vi vil lave forarbejdede erstatningsfødevarer, som dem fra USA og Tyskland, eller om vi skal være mere fremadskuende og anskue tang og mikroalger som ingredienser eller fødevarer i sig selv.

I det følgende kigges der på, hvad tang og mikroalger kan bidrage med til vores kost, og netop hvilke anvendelsesmuligheder der er for disse fødevarer.

3.1. Kemisk næringsstofsammensætning

Den kemiske sammensætning i tang varierer mellem tangarter, sæson og geografisk placering (Holdt og Kraan 2011). Tang har et lavt kalorieindhold, bl.a. pga. dens høje indhold af komplekse kulhydrater og lave fedtindhold. De komplekse kulhydrater består af flere sukre sat sammen som en lang kæde, bl.a. cellulose, som man også kender fra planter. Tang har også unikke polysakkarider som agar (rød tang), ulvan (grøn tang) og fucoidan (brun tang), som ikke findes andre steder end i tang. Vi kender dem også som kostfibre – altså ikke-fordøjelige fibre, der fremmer en sund fordøjelse.

Tabel 1. Næringsstofsammensætning i brune, røde og grønne tangarter, som kan findes i Danmark (%tørvægt) (Holdt og Kraan 2011)

	Brune tangarter <i>Sukkertang</i> <i>Savtang/blæretang</i>	Røde tangarter <i>Søl</i>	Grønne tangarter <i>Søsalat</i>
Fedt, total	0,3-2,1 % 0,5-3,1 %	0,2-3,8 %	0,3-1,6 %
Protein, total	3-21 % 1,4-17 %	8-35 %	4-44 %
Kulhydrat, total	38-61 % 62-66 %	38-74 %	15-65 %
- Heraf kostfibre	36 %	35-39 %	38 %
Indeks for essentielle aminosyrer*	66 -	-	37-39
Linolensyre (C18:3, n-3) (% af total lipid)	0,8-3,9 % 3,4 %	-	4,4-7,1 %
Eicosapentansyre (EPA, C20:5, n-3) (% af total lipid)	5,4-16 % 3,6 %	47 %	1 %
Docosahexaensyre (DHA, C22:6, n-3) (% af total lipid)	- -	-	0,8 %

*EAA index: Andelen af essentielle aminosyrer i protein relativt til den mængde man finder i æg

Mikroalger og tang er lovende nye kilder til ikke-animalsk protein. Især mikroalger kan have et højt proteinindhold, eksempelvis kan *Chlorella* indeholde op til 60 % protein af tørvægten. Man ser ingen andre ikke-animalske proteinkilder med samme høje proteinindhold pr. kg råvare.

Proteinerne fra tang og mikroalger består af alle ni essentielle aminosyrer, som dækker behovet for at producere de proteiner, som er nødvendige for, at vores krop kan fungere. Det er unikt og ikke noget, man finder i samme omfang i hverken frugt, grøntsager eller bælgrugter.

Brune tangarter har et højere indhold af essentielle aminosyrer sammenlignet med røde og grønne tangarter (Holdt og Kraan 2011). Det kan ses på indekset for essentielle aminosyrer (EAA) for brune tangarter (sukkertang, EAA-indeks = 66) (Tabel 1), som siger noget om andelen af essentielle aminosyrer i protein relativt til den mængde, man finder i æg, som ligger på 100 i EAA-indekset.

Normalt er planteprotein svært at fordøje og optage, fordi det ofte er bundet til andre ufordøjelige komponenter i planten, som kun kan optages, hvis planten forarbejdes, og forbindelsen nedbrydes. Det samme gør sig gældende for mikroalger. Mikroalger skal også forarbejdes for at øge biotilgængeligheden af det protein, som kan optages i kroppen, for eksempel med enzymbehandling. Det afhænger dog meget af mikroalgearten; hos nogle af arterne er cellevæggene så tykke, at enzymer ikke virker, og dermed kan næringsstofferne ikke gøres tilgængelige for optagelse i kroppen.

Både tang og mikroalger indeholder nogle af de samme langkædede flerumættede omega-3-fedtsyrer (såsom EPA og DHA), som man også finder i fisk og skaldyr. De er især vigtige for hjernen og hjertet. I Tabel 1 ses, at selvom fedtindholdet i tang er lavt, kan op til 47 % i søl og mellem 5,4 og 16 % af fedtsyrerne være EPA (Holdt og Kraan 2011). Man har også fundet op til 4 % lipid i sukkertang pr. tørvægt, hvoraf ca. 50 % var flerumættede fedtsyrer inkl. EPA.

Mikroalger har et generelt højere fedtindhold end tang og ligger normalt mellem 20 og 50 % (tørvægt), mens arter som *Chlorella* spp. kan indeholde omkring 42 % EPA og DHA af den totale fedtsyremængde (Calixto m. fl. 2016). Andre mikroalgearter, som *Dunaliella salina*, *Nannochloropsis oceanica* og *Nannochloropsis limnetica*, kan producere D₃-vitamin, som normalt syntetiseres i vores hud via sollys (UVB stråling). Ljubic m. fl. (2021) viste hvordan netop disse tre mikroalger fik forøget D₃-vitaminindhold efter at være udsat for UVB stråling (15 kJ/m²/dag i 3 dage). Det blev foreslået at disse UVB-behandlede mikroalger kunne være en ny bæredygtig kilde til D₃-vitamin og andre fedtopløselige vitaminer.

3.2. Fødevarer anvendelse

Vi har haft tradition for at spise tang i Norden helt tilbage fra vikingetiden, og søl er nævnt i den islandske saga "Egils saga". Men med industrialiseringen forsvandt vores traditioner for at spise tang, og vi bevægede os længere og længere væk fra at sanke i naturens spisekammer. I dag anvendes tang hovedsageligt til produktion af stabilisatorer såsom alginat og karageenan.

En række tangarter og mikroalgearter er godkendt til fødevarer i EU og indenfor Novel Food (EC 2015/2283). Novel Food omfatter alle fødevarer, som ikke har været anvendt til humankonsum i EU før 15. maj 1997 (da det første Novel Food-regulativ kom (EC 258/97)).

Mikroalger sælges hovedsageligt som kosttilskud og som fødevarer ingrediens. De mest almindeligt anvendte arter er *Spirulina* og *Chlorella* spp., men der er i øjeblikket godkendt flere arter til det europæiske fødevaremarked og indenfor Novel Foods. For tang er der en del arter på markedet, som egentlig ikke har den fornødne certificering. Nogle af de populære produkter er tangflager (som snack og til brug som ingrediens), tangpesto, salt og krydderi og tang anvendt i øl samt tang, der indgår i de finere restauranters menu.

Hos CP Kelco i LI Skensved produceres der bl.a. karageenan fra *spinosum* (*Eucheuma denticulatum*), der anvendes som stabilisator i bl.a. tangpasta, flødeskum på dåse, is og syltetøj. Der findes andre røde tangarter som indeholder karageenan-lignende polysaccharider med lignende funktionalitet, nemlig gaffeltang (*Furcellaria lumbricalis*), som man førhen høstede i Danmark og brugte til at producere furcellaran som stabilisator tilbage i 1960'erne. Men pga. overhøstning forsvandt gaffeltangen, og dermed også produktionen, fra Danmark.

De seneste år har man (gen)fundet gaffeltang, og høstpotentialet er på 6000 tons våd vægt årligt. DTU Fødevareinstituttet har undersøgt potentialet for at genoptage udnyttelsen af gaffeltang (personlig reference Susan L. Holdt). Protein udvundet fra gaffeltang kan bl.a. anvendes som proteinkilde i de plantebaserede seafood-produkter og dermed bidrage med essentielle aminosyrer.



Chlorellapulver. Foto: Colourbox

Den høje næringsværdi og de sundhedsmæssige fordele ved tang og mikroalger er velkendte og veldokumenterede (Barkia m. fl. 2019; Torres-Tiji m. fl. 2020). Anvendelsen af tang og mikroalger i plantebaseret seafood giver god mening, da nogle af de smage, man også finder i fisk og skaldyr, er de samme. Søl har f.eks. mange af de aromaer, man forbinder med seafood (López-Pérez m. fl. 2017).

Afhængig af processering og forarbejdning kan både smag og funktionelle egenskaber såsom stabiliserende evne eller antioxidante egenskaber af tang og mikroalger udnyttes i fremtidens plantebaserede seafood-produkter. Christopher Jensen (CEO NatuRem Bioscience) har udtalt, at mikroalger har stort potentiale som ingrediens i plantebaserede fiske- og skaldyrprodukter og nævner også produkter som plantebaserede alternativer til blæksprutter, kaviar, fiskesovs, dips og mousser (DVF 2021).

Smag og udseende spiller en stor rolle, når det kommer til forbrugernes accept af nye plantebaserede fødevarer. Til de fødevarer, hvor dannelsen af harske smagsstoffer er problematisk, kan tilsætning af antioxidanter være en fordel. F.eks. kan antioxidanter forhindre klorofyl i mikroalger i at reagere med ilt og på den måde forhindre dannelsen af harske smagsstoffer og at næringsstoffer går tabt. Det forsker man i på KU Food og til dels også på DTU Fødevareinstituttet. Der er også muligheder i at kigge på processering efter høst og andre måder at stabilisere mikroalgebiomassen på.

De fleste stammer af *Chlorella* er meget kraftigt grønne og har en stærk lugt og smag af alge. 4BETTERLIFE (<https://www.4betterlife.dk>) sælger *Chlorella* som proteinrigt pulver og ingrediens til fødevarer. Deres produkt er baseret på en *Chlorella* stamme, som er mere neutral i smag, lugt og farve og ikke danner klorofyl. At en "bleg" *Chlorella* ikke har samme kraftige algesmag som den grønne stamme kan skyldes en kombination af tilstedeværelsen af klorofyl, som, når det absorberer lys, reagerer stærkt med luftens ilt til en reaktiv iltform, der kan gå direkte ind og danne harske smagsstoffer ud fra en reaktion med bl.a. protein og omega-3-fedtsyrer. Ved denne reaktion mister man også disse næringsstoffer. Dog sker der også enzymatiske processer i mikroalger efter høst, som er med til at frigøre fedtsyrerne (lipolyse) og gøre dem mere sårbare over for oxidation.

3.3. Fødevarer kvalitet og -sikkerhed

De gode hygiejniske standarder i kystnære danske farvande bevirker, at den mikrobiologiske kvalitet af tang høstet i danske farvande generelt er god (Fødevarestyrelsen 2017). Men forureninger eller opkoncentrering af potentielle toksiske elementer (PTE) i havet, hvor tang vokser, eksempelvis fra arsen, bly, kviksølv eller kadmium, kan give problemer ift. den kemiske fødevarer sikkerhed. Derfor er det væsentligt at holde øje med PTE'er i tang, og hvordan indholdet varierer afhængig af tangtype, sæson eller lokalitet. Det er også væsentligt at skelne mellem organiske og uorganiske forbindelser, især når det handler om den potentielle toksicitet. For arsen er det specielt uorganisk arsen, man er mest bekymret for, og i tang finder man hovedsageligt de organiske forbindelser. Man er i gang med at undersøge toksiciteten af de organiske forbindelser, såsom arsenolipider og arsenosukre, da deres toksicitet og betydning for fødevarer sikkerheden endnu ikke er helt kortlagt (EFSA 2009; Monteiro m. fl. 2019).

Jod er også et problem i nogle af de brune tangarter. I sukkertang er jodindholdet så stort, at man vil få den mængde jod, man behøver på en dag, ved at spise, hvad der svarer til størrelsen på et spinatblad. Det er bekymrende, da både for lidt og for meget jod kan føre til struma (overaktiv skjoldbruskkirtel), som kan forstyrre stofskiftet. Forskning har dog vist, at kortvarig dypning af tangen i 60 til 80 °C varmt vand vil få næsten alt jod til at gå over i vandet, uden at det påvirker hverken indholdet af omega-3-fedtsyrer eller aminosyrer (Nielsen m. fl. 2020). Nyere forsøg har vist, at samme metode med 45 °C varmt vand har lignende effekt. Det er væsentligt, at der arbejdes videre på at reducere og fjerne PTE'er, som giver en stor sundhedsmæssig risiko.

Der er altid en risiko for at introducere nye allergener med nye fødevarer, især når det er proteinkilder. Hvis vi i højere grad vil indtage protein fra tang og mikroalger gennem vores kost, skal vi være opmærksomme på eventuelle allergiske reaktioner.

Hvis man er allergisk over for skaldyr, er det ikke ensbetydende med, at man er allergisk over for tang, da tang ikke indeholder de samme proteiner som fisk og skaldyr. Men der er risiko for, at tang kan være begroet med epifytter, små muslinger, copepoder (krebsdyr/skaldyr) eller snegle, og ad den vej kan der være en krydskontaminering i tangbaserede fødevarer (Blikra m. fl. 2021).

For mikroalger er det lidt anderledes. Mikroalger deler samme vækstbetingelse som mug, så derfor er man bekymret for, om personer, der er sensitive over for mug og skimmel, muligvis også kan være allergiske over for mikroalger. I et nyt studie (Bianco m. fl. 2022) screenede man for allergener i *Spirulina* og *Chlorella*. Man fandt proteiner i de to typer mikroalger, som er homologe til kendte fødevarer allergener, der primært forbindes med fisk og krebs. Kliniske studier er nødvendige for at vise, hvor allergene disse mikroalger er.

4. Processering af tang og mikroalger

På DTU Fødevarer instituttet undersøger man, hvad der sker med mikroalger og tang efter høst. Eksempelvis hvordan man fastholder kvalitet, og hvordan smag, udseende, kemisk sammensætning og stabilitet ændres ved forarbejdning, enten i form af homogenisering, tørring, fermentering eller varmebehandling. Man undersøger også den kemiske og mikrobielle fødevarer sikkerhed.

4.1. Stabilisering af biomassen

Man arbejder også på at stabilisere tang og mikroalger efter høstning, bl.a. ved tørring eller fermentering for at det endelige produkt får den bedst mulige kvalitet, smag og næringsindhold. Fermentering kan indgå som proces for at stabilisere det endelige produkt, hvor tørring kan undlades. Men fermentering kan også foretages som en midlertidig stabilisering før den endelige tørringsproces for at undgå en flaskehals i tørring af tang, når store mængder høstes inden for kort tid.

4.1.1. Tørring af tang og mikroalger

Når tang og mikroalger er høstet, er udfordringen at biomassen lynhurtigt nedbrydes og derfor skal biomassen enten bruges med det samme, tørres eller nedfryses. Frysning har den ulempe, at cellerne sprænges og den væske, der drænes fra i optøningsfasen, vil indeholde værdifulde

næringsstoffer. Det er også energitungt at holde tangen på frost samt at transportere vandet med produktet efterfølgende. Derfor er det interessant at undersøge andre forarbejdningsmetoder, som for eksempel tørring. Tørring er en nem og effektiv metode til at stabilisere biomassen og give en god holdbarhed på produktet, da det lave vandindhold og den lave vandaktivitet i produktet forhindrer biokemisk nedbrydning. Tørring er dog også energikrævende.

Den høstede biomasse (tang og mikroalger) har et vandindhold på 60-80 %. Ved tørring tørres biomassen ned til under 12 % for at hæmme eller bremse nedbrydningsprocesserne. Med den rette tørring kan produktet holde sig i flere år. Der er flere typer tørring, som egner sig til tang, f.eks. soltørring, ovntørring og frysetørring, og der er stor forskel på, hvor energikrævende metoderne er (Nielsen m. fl. under udarbejdelse). Mikroalger tørres typisk med spraytørring, men det er ligesom frysetørring en energitung proces, så man er interesseret i at finde andre tørringsmetoder, som er mere energieffektive, men lige så effektive, som f.eks. soltørring (Schmid m.fl. 2022), uden at de nedbryder de gode stoffer i mikroalgerne. DTU Fødevareinstituttet har udviklet en spin-flashtørrer, som løser nogle af disse problemer (Ljubic m. fl. 2019).

Kvalitetsmæssigt er det et problem, hvis tørringstemperaturen bliver for høj, så næringsstofferne nedbrydes eller bliver flygtige og fordampes sammen med vandet under tørring, eller hvis der sker en kemisk nedbrydning forårsaget af den høje temperatur. Det gælder blandt andet for flere vandopløselige vitaminer og antioxidantforbindelser. Dermed forringes næringsværdien og kvaliteten af produktet.

DTU Fødevareinstituttet har evalueret brugen af forskellige tørringmetoder og deres effekt på funktionalitet og næringsstoffer i to typer tang: søsalat (*Ulva* sp.) og blæretang (*Fucus vesiculosus*). Den traditionelle tørring med konvektion, som er den mest anvendte tørringsform i fødevareindustrien, blev sammenlignet med tørring med vacuum og frysetørring med henblik på, om man kunne opnå den samme kvalitet. Resultaterne var ikke entydige, og konklusionen var, at man i høj grad må differentiere tørringsmetoden afhængig af tangarten (Nielsen m. fl. under udarbejdelse).

Der er brug for at optimere effektiviteten af tørring af tang. I et studie fra Irland optimerede man tørringen af *Ascophyllum nodosum* (buletang) ved at bruge ultralyd, som hjalp med at ødelægge cellevæggene og frigive vandet, så man kunne tørre ved lavere temperaturer og dermed gøre tørringen mere skånsom (Zhu m. fl. 2021). Det er vigtigt, fordi de fleste tangarter består både af stængel og blade, og vandindholdet kan variere meget imellem delene af tangen (60-90 % vand). Vandet er fanget i tangens struktur, så hvis tørringen er for skånsom, bliver vandet ikke fjernet, og det vil give problemer med holdbarheden i det endelige produkt. Derfor kan behandling med f.eks. ultralyd bidrage til at effektivisere tørring af tang. I et nyt stort norsk projekt (SusKelpFood) satser man på produktudvikling og forarbejdning af tang for at få flere velsmagende og sunde tangprodukter på markedet.

4.1.2. Fermentering af tang

Fermentering er traditionelt blevet brugt til at præservere fødevarer, særligt grøntsager, og samtidig bevare næringsværdien. Fermentering er en syrningsproces, hvor laktat bliver dannet af mælkesyrebakterier ud fra de sukkerstoffer som naturligt er tilstede i grøntsagerne.. Laktat får pH-værdien til at falde, og dermed forhindrer man vækst af fordærvelsesbakterier, og holdbarheden af fødevaren forlænges.

Fermentering af bl.a. sukkertang med en bestemt mælkesyrebakterie (starterkultur med *Lb. Plantarum*) har vist sig at være lovende ift. præservering af biomassen, som fjerner risikoen for *Listeria monocytogenes*, som ellers er relateret med naturlig fermentering (højere endelig pH 4,8-5,2). Der er brug for at optimere processen ved at kigge nærmere på sammensætningen af starterkulturer, forbehandling af tangen (frysning, blanchering, mv.) og tilsætning af sukre eller lignende for at fremme væksten af mælkebakterierne og dermed sikre, at produktet er sikkert at anvende (Sørensen m.fl. 2021). Der mangler viden om de sensoriske egenskaber af disse produkter, og hvordan de kan forbedres. Derudover er det et krav fra fødevareindustrien at kunne skabe et reproducerbart produkt.

På DTU Fødevareinstituttet arbejder man i projektet Taste-Sea sammen med KTH (Sverige; BlueFood) og Nordic Alliance-programmet på at finde frem til netop de fermenteringsbakterier, der kan omdanne tang til en intens smagsforstærker, som ville kunne bidrage med velsmag i fremtidens fødevarer (Zioga m. fl. 2022a+b).

Flere faktorer spiller ind i fermentering af tang, og det er især den rigide cellevæg samt tilstedeværelsen af antimikrobielle stoffer i tangen, bl.a. antimikrobielle fenoler, som kan have en negativ effekt på fermenteringsprocessen med mælkesyrebakterier. Derfor er der to væsentlige perspektiver i fermenteringen af tang: for det første forbehandling af tang, hvor direkte fermentering ikke er muligt, og for det andet at finde nye fermenterende mikroorganismer, som kan virke på tang.

I en ny gennemgang af litteratur (Garofalo m. fl. 2022) gives der et overblik over de studier, der er lavet på fermentering af mikroalger med fokus på de ernæringsmæssige fordele ved behandling med mælkesyre- og gærfermentering. Gennemgangen kigger også på, hvilke potentielle applikationer der er for disse produkter/ingredienser for fremtidens funktionelle fødevarer. Det vurderes på baggrund af gennemgangen, at fermentering af mikroalger er en sikker og billig metode til stabilisering af biomassen og til at øge næringsværdien samt fordøjeligheden og optaget af næringsstoffer fra mikroalger.

4.2. Udvindelse, valorisering og bioraffinering

Man kan både se tang og mikroalger som en fødevarer i sig selv eller som en ingrediens uden bearbejdning. Eller man kan udvinde stoffer fra tang og mikroalger og få nogle mere rene og koncentrerede ingredienser.

Proteinkoncentrater er nogle af de mest almindelige former for opkoncentrerede ingredienser fra en biomasse. Hydrolyse kan ske med en syrebehandling, ofte kombineret med varmebehandling. For at opnå en mere skånsom hydrolyse kan enzymer anvendes. De rigide cellevægge i tang og mikroalger skal nedbrydes, før proteinet frigives, og derefter skal proteinerne hydrolyseres for at øge biotilgængeligheden og optaget af aminosyrerne. Det er muligt at bruge enzymer til ekstraktion af protein fra tang (Naseri m. fl. 2020a), men de enzymer, man normalt anvender til proteinhydrolyse, er ikke specifikke for tang og mikroalger. Det kan give udfordringer med effektiviteten af enzymbehandlingen og give et lavt udbytte, som gør det for dyrt at udvinde protein ift. prisen på enzymer. Novozymes og flere forskere ønsker derfor at undersøge, om man kan finde specifikke enzymer til tang og mikroalger, som er mere effektive netop på disse biomasser.

I projektet VALSEA – støttet af GUDP – lykkedes det at lave multiekstraktion af protein og karrageenan fra *spinosum*, bl.a. ved brug af enzymer, og derved opnå et ekstra produkt, som ellers kun bliver udnyttet til ekstraktion af karrageenan hos CP Kelco (Naseri m. fl. 2020b). Proteinekstraktet blev vurderet til at have høj kvalitet baseret på aminosyresammensætningen og til at kunne anvendes som proteinkilde i fødevarer. Denne form for multiekstraktion handler i bund og grund om at adskille én biomasse til flere forskellige produkter ved brug af forskellige ekstraktions- eller raffineringsteknologier. Med udgangspunkt i dette har DTU Fødevareinstituttet undersøgt, om der på samme måde kan laves et set-up med ekstraktion af protein og furcellaran fra gaffeltang (personlig reference Susan L. Holdt).

I et andet forskningsprojekt, MAB4 støttet af Innovationsfonden Danmark, undersøgte man, hvordan sukkertang kunne fraktioneres i flere forskellige højværdistoffer. For eksempel brugte man bioraffineringsprincippet til at udvinde phenoler og forskellige polysaccharider med antioxidant eller emulgerende egenskaber i fødevarer og kosmetik (Hermund m. fl. 2021; Hermund m. fl. 2017).

Der er stor interesse for grønne ekstraktionsmetoder som superkritisk CO₂-ekstraktion (SCO₂E) eller ekstraktion med subkritisk vand (SCWE), eller kombinationen af de to. På DTU Fødevareinstituttet forskes der i anvendelse og optimering af netop disse to ekstraktionsmetoder til at ekstrahere bl.a. antioxidant fra tang, som kan anvendes i fødevareemulsioner (Hermund m. fl. 2022). Med SCO₂E ekstraheres fedtfasen fra biomassen, f.eks. en omega-3-rig olie fra mikroalger (Mazzelli m. fl. 2019). SCO₂E efterlader den vandige fase i det, der er tilbage (residualet/pellet), hvor der kan være vandopløselige vitaminer og fenoler samt protein, som kan ekstraheres med SCWE. På den måde får man separeret biomassen i flere fraktioner, men uden at lave helt rene ekstrakter. Det giver nogle unikke anvendelsesmuligheder for disse fraktioner som multifunktionelle ingredienser i fødevarer, bl.a. som proteinkilde, smagsforstærker, pigment, antioxidant, emulgator og vandbinding på én og samme tid. Det handler bare om at finde de rette fødevareapplikationer.

For mikroalger er der brug for udvikling af forbedrede dyrknings- og processeringsteknologier, som vil reducere energiforbrug og -omkostninger, hvilket er nødvendigt for at gøre mikroalgeprocessering/-udnyttelse mere rentabelt. Der skal udvikles bioraffineringssteknologier, som kan sikre en fuldstændig udnyttelse af biomassen og muliggøre udvinding af højværdiprodukter ud over protein. Det vil forbedre rentabiliteten ved mikroalgeproteinproduktionen.



Tang ved Ordrup næs i Fårevejle. Foto: DTU Fødevareinstituttet

5. Forbrugernes accept af nye fødevarer

5.1. Er tang og mikroalger grøntsager?

Man kan ikke kategorisere tang og mikroalger som grøntsager på baggrund af deres biologi, selvom man som forbruger gerne vil kategorisere sine fødevarer. Det skaber udfordringer, når nye fødevarer, som egentlig udgør sin egen fødevarekategori, skal accepteres på markedet.

I de forskellige fødevarekategorier er der en række kvalitetskrav, som fødevarerne skal leve op til for at kunne blive solgt på f.eks. det danske marked. Denne fødevarelovgivning gælder også for tang. Kravene handler f.eks. om god hygiejne, at man ikke må mislede forbrugeren, at man skal overholde grænseværdier for PTE'er osv. (jf. EC 78/2002). Fødevarestyrelsen har udgivet en tjekliste for kemisk forurening i fødevarer, som inkluderer tang (Fødevarestyrelsen 2021).

Standardisering såsom ISO-standarder er frivillige, men hvis man opfylder kravene i disse, er man sikker på at overholde fødevarelovgivningskravene. Det gælder også brug af udstyr, som man på EU- eller internationalt niveau (ISO) er enige om er de bedste. Det vil give virksomheder en handelsfordel at kunne deklarerer, at man overholder specifikke standarder.

I Danmark er det Dansk Standard (DS), Danmarks standardiseringsorganisation, der varetager national såvel som international standardisering. DS ønsker at være på forkant med at standardisere nye fødevarer som tang og mikroalger. Dansk standard har bl.a. været med i standardiseringsarbejdet omkring brugen af alger til kosmetik, foder og fødevarer, og omkring hvilke termer der anvendes. Standarder specifikt til tang og mikroalger findes ikke i dag, men flere europæiske standarder er under udarbejdelse. Da tang og mikroalger er en helt ny kategori af fødevarer, er det vigtigt at få standardiseret og skabt fælles retningslinjer for kvalitet og sikkerhed, produktspecifikationer og gode arbejdsgange.

I Norge er Norwegian Seaweed Cluster nedsat til at komme med forslag til god praksis indenfor tang. Det er ikke formelle standarder men tangvirksomheder, der samles om fælles produktoplysninger ved salg i Norge. De er blevet enige om at anvende ordet "SeaGreens", da de mener, at det norske tang og tare (sidste for de store brune tangarter) har en negativ klang hos forbrugeren. De arbejder på kvalitetskrav om bl.a. om høst og lagring, kvalitetskontrol og processering og dokumentation. Et lignende tiltag omkring mikroalger ville være en stor hjælp for producenter og forbrugere.

5.2. Velsmag er vigtig

Forskellige faktorer spiller ind hos forbrugerne i deres accept af nye fødevarer. Bæredygtighed og klimavenlig mad kan være et incitament for at vælge en fødevare, men det sensoriske – smag, duft, udseende – har størst betydning. De fleste tang- og mikroalgeprojekter har fokus på dyrkning, processering og ekstraktion og knap så meget på smagen og de organoleptiske egenskaber af tangen.

Hvis maden ikke smager "godt nok", også selv om vi ved, det er sundt og bæredygtigt, så spiser vi det ikke i længden (EAT-Lancet 2019).

De fleste tangarter bliver i deres rå form ikke set som spiselige, fordi de smager bittert eller er umulige at tygge og dermed rent sensorisk ikke appellerer til forbrugerne. Den mest anvendte form af tang er derfor et tørret granulat eller ekstrakt frem for frisk tang. I en gennemgang fra 2021 (Figueroa m. fl. 2021) kiggede man bl.a. på anvendelse af tangpulver og -ekstrakter til at øge mundfølelse og næringsværdi af traditionelle fødevarer. 5 % tilsætning viste sig at være den maksimale mængde, før kvaliteten af fødevarerne blev forringet og uacceptabel for forbrugerne. Derfor er det væsentligt at kigge på optimering af smag i den friske tang for at udvikle tang som fødevare.

I bogen "Grønt med umami og velsmag" taler kokken Klavs Styrbæk og gastrofysiker Ole G. Mouritsen om, at velsmag er vejen til den grønne omstilling igennem vores fødevarer (Styrbæk og

Mouritsen 2020). De viser, hvordan man med enkle metoder kan få både sødme, umami og *kokumi* ind i sine grønne retter. Det handler om enten at tilføje sødme og umami, udnytte den sødme, der allerede er, ved at forarbejde råvaren eller frigive det protein, der er i råvaren, for at danne frie aminosyrer, som bidrager til umami. Kokumi forstærker og fremhæver sødt, salt og umami, det giver mundfylde og lader smagen "hænge" i munden længere. Det handler meget om at "matche" fødevarer eller ingredienser.

Både tang og mikroalger har et højt proteinindhold og er potentielt rige på umami, men det handler om at bringe det i spil på den rette måde. Tidligere i analysen er fermentering både med mælkesyrer og enzymer nævnt som en metode til at gøre næringsstoffer tilgængelige for optag i kroppen. Fermenteringen har også den fordel, at proteinerne hydrolyseres/spaltes og danner frie aminosyrer, såsom glutamat, der spiller en rolle i umamismagen. Flere af de brune tangarter og søl har en høj grad af umami og er derfor interessante, når det kommer til udvikling af plantebaseret seafood.

Forskning har vist, at bestemte aromastoffer fremmer umami. Det er især to aromastoffer, 2-metylbutanal og 2,3-butanedione samt et tredje, butanal, som muligvis også har en effekt på at fremhæve umami i bl.a. dashi (fond lavet på tang) (Frøst m. fl. 2021). Disse tre aromastoffer er særligt relevante at studere nærmere for at finde en årsagssammenhæng, så man i fremtidens fødevarer fra havet kan få mere velsmag ind i produkterne.

6. Konklusion

Der er stort potentiale i tang og mikroalger som nye fødevarer og kilde til ingredienser. Der er høj næringsværdi og gode muligheder for bioraffinering til fremstilling af ingredienser med flere anvendelsesmuligheder.

Der er allerede udviklet teknologier og viden om bioraffinering og ekstraktion, som kan anvendes. Ligeledes har vi allerede teknologier til dyrkning og viden om sæsonvariation og høstning på flere tangarter i Danmark. Der bliver forsket i fermentering og forskellige andre processeringsteknologier for at gøre produkterne mere appetitlige. Her ser vi et stort potentiale for udvikling af nye sunde og velsmagende fødevarer baseret på tang.

I forhold til mikroalger er der opnået stor viden om, hvilke stammer der har et højt proteinindhold (op til 50 %). Men der er behov for at udvikle nye teknologier til at forarbejde mikroalger og øge biotilgængelighed pga. de tykke cellevægge. Derudover kræves udvikling og implementering af storskala-fermenteringsteknologi og kulstofkilder til heterotrof dyrkning af alger samt nyere og mere effektive fotobioreaktorer til dyrkning af fototrofe mikroalger. Der er også behov for yderligere forskning i udnyttelse af industrielt procesvand som næringsmedie til fototrofe mikroalger. Men der er muligheder i mikroalger for videre udvikling af nye fødevarer.

7. Referenceliste

Araújo, R., Vázquez Calderón, F., Sánchez López, J., Azevedo, I.C., Bruhn, A., Fluch, S., Garcia Tasende, M., Ghaderiadekani, F., Ilmjärv, T., Laurans, M., Mac Monagail, M., Mangini, S., Peteiro, C., Rebours, C., Stefansson, T., & Ullmann, J. (2021). Current Status of the Algae Production Industry in Europe: An Emerging Sector of the Blue Bioeconomy. *Front. Mar. Sci.* 7:626389. doi: 10.3389/fmars.2020.626389

Bak, U.G (2019). Seaweed cultivation in the Faroe Islands An investigation of the biochemical composition of selected macroalgal species, optimised seeding technics, and open-ocean cultivation methods from a commercial perspective. PhD afhandling DTU Fødevareinstituttet

Barkia, I., Saari, N., & Manning, S.R. (2019). Microalgae for High-Value Products Towards Human Health and Nutrition. *Mar. Drugs*, 17, 304. <https://doi.org/10.3390/md17050304>

Bianco, M., Venture, G., Calvano, C.D., Losito, I., & Cataldi, T.R.I. (2022). A new paradigm to search for allergenic proteins in novel foods by integrating proteomics analysis and in silico sequence homology prediction: Focus on spirulina and chlorella microalgae. *Talanta*, 240. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2021.123188>

Blikra, M.J., Altinoglou, T., Løvdal, T., Rognså, G., Skipnes, D., Skåra, T., Siversvik, M., & Fernandez, E.N. (2021). Seaweed products for the future: Using current tools to develop a sustainable food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 118, 765-776. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.11.002>

Boderskov, T., Rasmussen, M.B., & Bruhn, A. (2023). Upscaling cultivation of *Saccharina latissima* on net or line systems; comparing biomass yields and nutrient extraction potentials. *Front. Mar. Sci.*, 10. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.992179>

Boderskov, T., & Krause-Jensen, D. (2022). Literature review of general responses of macroalgae to light, nutrient, salinity and temperature variations relevant to Danish waters. Scientific briefing from DCE – Danish Centre for Environment and Energy (AU)

Bruno, M., Thomsen, M., Pulselli, F.M., Patrizi, N., Marini, M., & Caro, D. (2019). The carbon footprint of Danish diets. *Climatic Change*, 156, 489-507. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02508-4>

Calixto, C.D., Santana, J., Lira, E., Sassi, P., Rosenhaim, R., Sassi, C., Conceicao, M., & Sassi, R. (2016). Biochemical compositions and fatty acid profiles in four species of microalgae cultivated on household sewage and agro-industrial residues. *Bioresource Technology*, 221, 438-446. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.09.066>

Danmarks Naturfredningsforening, Dansk Vegetarisk Forening, Dyrenes Beskyttelse, Greenpeace, Plantebranchen og Rådet for Grøn Omstilling (2020). FRA FODER TIL FØDE - EN BÆREDYGTIG VISION FOR DANSK LANDBRUG OG FØDEVAREFORBRUG. <https://www.dn.dk/media/71983/fra-foder-til-f%C3%B8de.pdf>

DTU Aqua (2023). <http://e-learning.skaldyrcenter.dk/opdraet/dyrkning-af-sukkertang/>. Online: 27.02.2023

DVF (2021). Alternativer til fisk og skaldyr. Inspirationspapir #7. Netværk for Fremtidens Plante proteiner i Danmark. Dec 2021. <https://vegetarisk.dk/wp-content/uploads/2021/12/inspirationspapir-7-alternativer-til-fisk-og-skaldyr.pdf>

EAT-Lancet (2019). Healthy Diets From Sustainable Food Systems – Food, Planet and Health. Summary Report of the EAT-Lancet Commission. <https://eatforum.org/eat-lancet-commission/eat-lancet-commission-summary-report/>

EFSA (2009) European Food Safety Authority Scientific opinion on arsenic in food. EFSA Journal, 7(10), 1351. doi: 10.2903/j.efsa.2009.1351

Figueroa, V., Farfán, M., & Aguilera, J.M. (2021). Seaweed as novel foods and sources of culinary flavors. Food Rev Int. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1892749>

Frøst, M.B., Hartmann, A.L., Petersen, M.A., Duelund, L., & Mouritsen, O.G. (2021). Odour-induced umami – Olfactory contribution to umami taste in seaweed extracts (dashi) by sensory interactions. International Journal of Gastronomy and Food Science, 25, 100363. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100363>

Fødevarerstyrelsen (2017). Prøveresultater - hygiejnisk kvalitet af spiselig tang. https://www.foedevarestyrelsen.dk/Kontrol/Kontrolresultater/Proeveresultater/Sider/Proeveresultater_fisk_og_fiskeprodukter_spiselig_tang.aspx

Fødevarerstyrelsen (2021). Kemiske forureninger i fødevarer – tjekliste. <https://www.foedevarestyrelsen.dk/SiteCollectionDocuments/Kemi%20og%20foedevarekvalitet/Kemiske%20forureninger/Kemitjekliste.pdf>

Garofalo, C., Norici, A., Mollo, L., Osimani, A., & Aquilanti, L. (2022). Fermentation of Microalgal Biomass for Innovative Food Production. Microorganisms, 10, 2069. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10102069>

Hermund, D.B., Liu, W., Holdt, S.L., Jacobsen, C., & Getachew, A.T. (2023). Extraction of bioactives from brown seaweed using sub and supercritical fluids: Influence of the extract on the storage stability of fish oil enrich mayonnaise. Front. Food. Sci. Technol. 2:1082490. doi: 10.3389/frfst.2022.1082490

Hermund, D.B., Torsteinsen, H., Vega, J., Figueroa, F.L., & Jacobsen, C. (2022). Screening for New Cosmeceuticals from Brown Algae *Fucus vesiculosus* with Antioxidant and Photo-Protecting Properties. Mar. Drugs, 20, 687. <https://doi.org/10.3390/md20110687>

Hermund, D.B., Anagnostara, I., Hou, X., Mikkelsen, M.D., Rhein-Knudsen, N., Bjerre, A.B., Meyer, A.S., & Jacobsen, C. (2021). Physical and oxidative stability of n-3 delivery emulsions added seaweed-based polysaccharide extracts from Nordic brown algae *Saccharina latissimi*. JAOCS, 99, 239-351. DOI: 10.1002/aocs.12566

Hermund, D. B., Sivasubramaniam, N., Neerup, R., Klinder, L., Holdt, S. L., Thomsen, B. R., & Jacobsen, C. (2017). Functional ingredients from brown algae *Saccharina latissima* for cosmetic application. Abstract from 7th Nordic seaweed conference, Grenaa, Denmark. https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/186061473/AbstractGrenaa2017DBH_1_.pdf

Hermund, D.B., Karadag, A., Andersen, U., Jonsdotter, R., Kristinsson, H.G., Alasalvar, C., Jacobsen, C. (2016). Oxidative Stability of Granola Bars Enriched with Multilayered Fish Oil Emulsion in the Presence of Novel Brown Seaweed Based Antioxidants. J. Agric. Food Chem. 64, 8359–8368. DOI: 10.1021/acs.jafc.6b03454

Holdt, S.L., & Kraan, S. (2011). Bioactive Compounds in Seaweed: Functional Food Applications and Legislation. Journal of Applied Phycology, 23, 543-597. <https://doi.org/10.1007/s10811-010-9632-5>

Ljubic, A., Safafar, H., & Jacobsen, C. (2019). Recovery of microalgal biomass and metabolites from homogenised, swirl flash dried microalgae. J Applied Phycology. 31, 2355-2363. <https://doi.org/10.1007/s10811-019-1733-1>

Ljubic, A., Thulesen, E.T., Jacobsen, C., & Jakobsen, J. (2021). UVB exposure stimulates production of vitamin D3 in selected microalgae. Algal Research, 59, 102472. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102472>

López-Pérez, O., Picon, A., & Nuñez, M. (2017). Volatile compounds and odour characteristics of seven species of dehydrated edible seaweeds. *Food research international*, 1002-1010. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.12.013>

Marinho, G., Holdt, S., Birkeland, M., & Angelidaki, I. (2015). Commercial cultivation and bioremediation potential of sugar kelp, *Saccharina latissima*, in Danish waters. *Journal of Applied Phycology*, 27(5), 1963-1973. <https://doi.org/10.1007/s10811-014-0519-8>

Mazzelli, A., Buonanno, G., Luzzi, D.M., Cicci, A., Piemonte, V., & Iaquaniello, G. (2019). Multi-component extraction process of high added value compounds from microalgae with supercritical CO₂: A technical and economic study. *Chemical Engineering Research and Design*, 150, 65-73. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2019.07.023>

Monteiro, M.S.M., Sloth, J.J., Holdt, S.L., & Hansen, M. (2019). Analysis and Risk Assessment of Seaweed. *AFSA journal*, 17, 170915. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2019.e170915>

Naseri, A., Marinho, G.S., Holdt, S.L., Bartela, J.M., & Jacobsen, C. (2020a). Enzyme-assisted extraction and characterization of protein from red seaweed *Palmaria palmata*. *Algal research*, 47. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.101849>

Naseri, A., Jacobsen, C., Sejberg, J.J.P., Pedersen, T.E., Larsen, J., Hansen, K.M., & Holdt, S.L. (2020b). Multi-Extraction and Quality of Protein and Carrageenan from Commercial *Spinosum* (*Eucheuma denticulatum*). *Foods*, 9(8), 1072. <https://doi.org/10.3390/foods9081072>

Nielsen, M.M., & Smedes, P.S. (2020). MANUAL TIL DYRKNING AF SØL (PALMARIA PALMATA) I DANSKE FARVANDE https://tangnu.files.wordpress.com/2020/04/manual-til-dyrkning-af-sc3b8l_final.pdf

Nielsen, C.B., Hermund, D.B., Feyissa, A.H., Hyldig, G., & Holdt, S.L. (2023). Nutritional value, bioactive composition, physico-chemical and sensory properties of *Ulva* sp. and *Fucus vesiculosus* depending on post-harvest processing: a drying comparison study, *in prep*

Nielsen, C.B., Holdt, S.L., Sloth, J.J., Marinho, G.S., Sæther, M., Funderud, J., & Rustad, T. (2020). Reducing the High Iodine Content of *Saccharina latissima* and Improving the Profile of Other Valuable Compounds by Water Blanching. *Foods*, 9(5), 569. <https://doi.org/10.3390/foods9050569>

OECD/FAO (2019). OECD-FAO Agricultural Outlook 2019-2028, OECD Publishing, Paris [doi:https://doi.org/10.1787/agr_outlook-2019-en](https://doi.org/10.1787/agr_outlook-2019-en)

Petersen, J.K., Bruhn, A., Behrens, J.W., Dalskov, J., Larsen, E., Thomsen, M., & Vinther, M. (2021). Vidensyntese om blå biomasse. Potentialer for ny og bæredygtig anvendelse af havets biologiske ressourcer. DTU Aqua-rapport nr. 387- 2021. https://www.aqua.dtu.dk/-/media/Institutter/Aqua/Publikationer/Rapporter-352-400/387-2021_Vidensyntese-om-blaa-biomasse.ashx

ReMAPP (2023). https://conferences.au.dk/fileadmin/conferences/2019/bioeconomy/Talks_June_27/Malene_Fog_Lihme_Olsen_Foulum_27062019.pdf

Schmid, B., Navalho, S., Schulze, P.S.C., Van De Walle, S., Van Royen, G., Schüller, L.M., Maia, I.B., Bastos, C.R.V., Baune, M.-C., Januschewski, E., Coelho, A., Pereira, H., Varela, J., Navalho, J., & Rodrigues, A. (2022). Drying Microalgae Using an Industrial Solar Dryer: A Biomass Quality Assessment. *Foods*, 11, 1873. <https://doi.org/10.3390/foods11131873>

Styrbæk, K., & Mouritsen, O.G. (2020). Grønt med umami og velsmag. Gyldendal, ISBN 978-87-02-29494-1

Sørensen, J.S., Madsen, S.K., Bang-Berthelsen, C.H., & Hansen, L.T. (2021). Quality and safety aspects in fermentation of winged kelp (*Alaria esculenta*) and sugar kelp (*Saccharina latissima*) by the natural microbiota with or without addition of a *Lactiplantibacillus plantarum* starter culture. *Food Research International*, 150, 110800. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110800>

Torres-Tiji, Y., Fields, F.J., & Mayfield, S.P. (2020). Microalgae as a Future Food Source. *Biotechnol. Adv.*, 41, 107536. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2020.107536>

Zioga, E., Holdt, S.L., Gröndahl, F., & Bang-Berthelsen, C.H. (2022a). Fermentation performance of lactic acid bacteria on Nordic seaweeds. Poster at the 4th Seaweed for Health Conference, Ourense, Spain

Zioga, E., Holdt, S.L., Gröndahl, F., & Bang-Berthelsen, C.H. (2022b). Taste-Sea – Sea-vegetables with enhanced flavor for future sustainable foods. 11th Nordic Seaweed Conference, Grenaa, Denmark

Zhu, X., Zhang, Z., Hinds, L.M., Sun, D.-W., & Towari, B.K. (2021). Applications of ultrasound to enhance fluidized bed drying of *Ascophyllum Nodosum*: Drying kinetics and product quality assessment. *Ultrasonics – Sonochemistry*, 7. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105298>