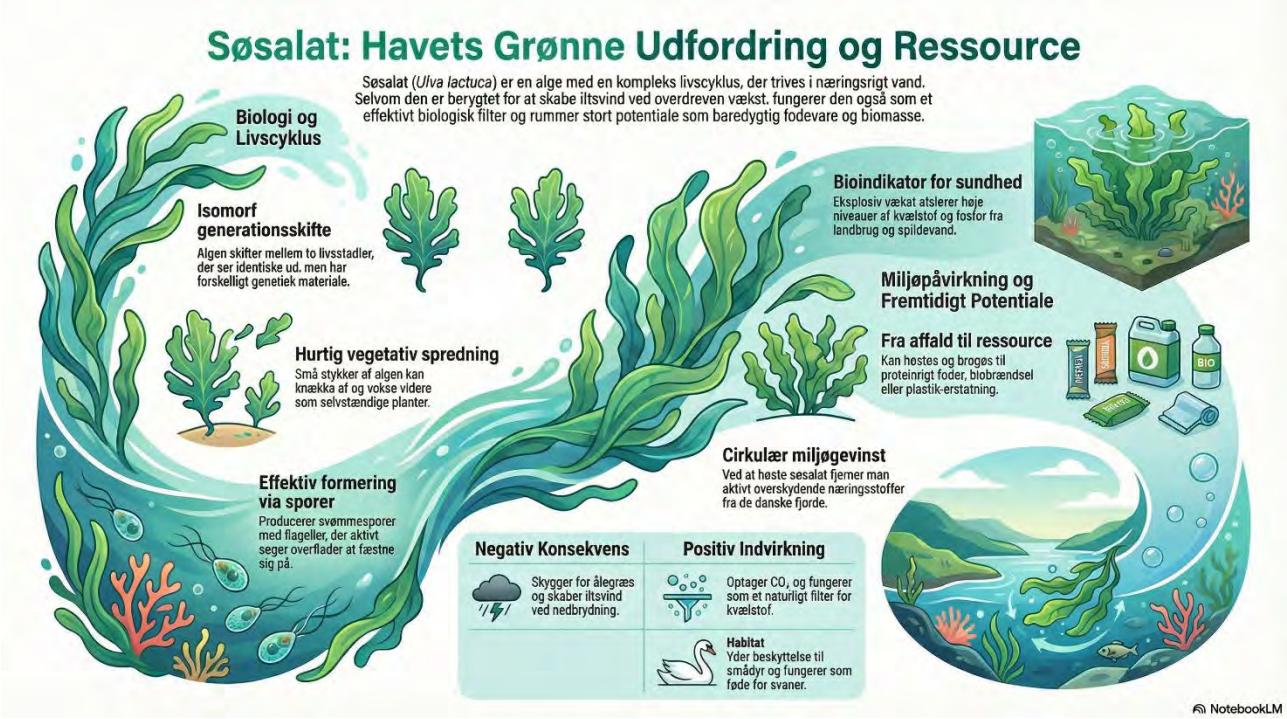
Søsalat

AI Gemini redigeret af Carl Vedel Lauridsen



Indhold

Kort overblik 2

1. Livscyklus: Generationsskifte 2

2. Miljøpåvirkning: En tveægget sværd 3

De negative konsekvenser (Iltvind og "Grønne bølger") 3

De positive bidrag 3

3. Potentiale for fremtiden 4

Den taksonomiske, biologiske og miljømæssige status for slægten Ulva i danske farvande: En analyse af livscyklus, eutrofiering og industrielle potentialer 5

Taksonomisk klassificering og morfologisk diversitet 5

Biologi og cellulære mekanismer 6

Biokemisk sammensætning 7

Den isomorfe livscyklus: En generationers vekslen 8

Den diploide generation: Sporofyten 8

Den haploide generation: Gametofyten 8

Alternativ reproduktion og partenogenese 8
Økofysiologi og miljømæssige drivere 8
Temperatur og lys 9
Salinitet og næringsstoffer 9
Miljøpåvirkning: Masseforekomster og "Green Tides" 10
Mekanismerne bag Green Tides 10
Case Study: Vejle Fjord 10
Strategier for forvaltning og genopretning 11
Marine virkemidler: Høst af søsalat 11
Projekt Sund Vejle Fjord 11
Søsalat som fremtidens ressource: Fødevarer og Industri 12
SeaSusProtein: Grønt protein fra havet 12
Udnyttelse af bioaktive stoffer 12
ClimateFeed: En revolution i landbruget 12
Mekanismen bag metanreduktion 12
Produktion og opskalering 13
Klimatiske udfordringer og fremtidsudsigter 13
Behovet for monitorering og data 14
Konklusion og perspektivering 14
Citerede værker 16

Kort overblik

Søsalat (*Ulva lactuca*) er en af de mest genkendelige grønalger i de danske farvande. Den er både fascinerende på grund af sin biologiske opbygning og berygtet for sin rolle i miljømæssige udfordringer.

Her er et overblik over dens livscyklus og dens betydning for havmiljøet.

1. Livscyklus: Generationsskifte

Søsalat har en kompleks livscyklus kendt som **isomorf generationsskifte**. Det betyder, at algen skifter mellem to forskellige stadier, der ser identiske ud for det blotte øje, selvom deres genetiske materiale er forskelligt.

- **Sporofyt-stadiet (Diploid):** Den voksne plante har et dobbelt sæt kromosomer. Den producerer zoosporer (svømmespore) gennem meiose. Disse sporer har fire flageller (haler), som de bruger til at svømme hen til en overflade, hvor de sætter sig fast.
- **Gametofyt-stadiet (Haploid):** Fra sporerne vokser en ny plante frem, som kun har et enkelt sæt kromosomer. Denne plante producerer gameter (kønsceller) med to flageller.
- **Befrugtning:** Når to gameter mødes, smelter de sammen og danner en zygote. Zygoten sætter sig fast og vokser op til en ny diploid sporofyt, og cirklen er sluttet.

Det smarte ved denne cyklus er, at søsalat kan sprede sig ekstremt hurtigt, især fordi den også kan formere sig **vegetativt** – små stykker af algen kan knække af og vokse videre som selvstændige planter.

2. Miljøpåvirkning: En tveægget sværd

Søsalat fungerer som en bioindikator. Dens tilstedeværelse fortæller os meget om vandets tilstand.

De negative konsekvenser (Iltvind og "Grønne bølger")

Søsalat elsker næringsstoffer, især kvælstof og fosfor fra landbruget og spildevand. Når der er for mange næringsstoffer (eutrofiering), sker følgende:

- **Eksplosiv vækst:** Søsalaten vokser uhæmmet og danner store "måtter", der dækker havbunden.
- **Skygning:** Måtterne skygger for andre vigtige arter som ålegræs, hvilket ødelægger biodiversiteten.
- **Iltforbrug:** Når de enorme mængder alger dør og falder til bunden, bliver de nedbrudt af bakterier. Denne proces bruger alt ilten i vandet, hvilket fører til **iltsvind** og fiskedød.

De positive bidrag

Selvom den ofte forbindes med forurening, har søsalat også gavnlige egenskaber:

- **Naturlig rensning:** Den optager effektivt overskydende kvælstof fra vandet og fungerer dermed som et biologisk filter.
- **CO2-optag:** Som alle planter optager den CO_2 gennem fotosyntese og hjælper med at modvirke havforsuring lokalt.
- **Fødekilde og habitat:** I moderate mængder yder den beskyttelse til smådyr og fungerer som føde for blandt andet snegle og knopsvaner.

3. Potentiale for fremtiden

På grund af dens hurtige vækst og høje indhold af proteiner, vitaminer og mineraler, kigger man i dag på søsalat som en **ressource** frem for et affaldsproblem:

1. **Fødevare:** Den bruges i det nordiske køkken (tørret eller frisk).
2. **Biomasse:** Den kan omdannes til biobrændsel eller plastik-erstatning.
3. **Foder:** Den undersøges som et bæredygtigt alternativ i dyrefoder.

Ved at "høste" søsalaten fra de danske fjorde kan man faktisk fjerne næringsstoffer fra havet og bruge dem på land igen – en cirkulær gevinst for miljøet.

Den taksonomiske, biologiske og miljømæssige status for slægten Ulva i danske farvande: En analyse af livscyklus, eutrofiering og industrielle potentialer

Slægten *Ulva*, populært kendt som søsalat, udgør en af de mest betydningsfulde grupper af grønne makroalger i de globale marine økosystemer, og i særdeleshed i de indre danske farvande. Denne slægt er ikke blot en central komponent i den kystnære biodiversitet, men fungerer også som en biologisk indikator for vandmiljøets tilstand, specifikt i relation til eutrofiering.[1] Den videnskabelige interesse for *Ulva* er i de senere år ekspanderet markant, drevet af algens evne til at danne massive opblomstringer, de såkaldte "green tides", samt dens potentiale som en bæredygtig ressource i en cirkulær bioøkonomi.[2] Denne rapport analyserer indgående slægtens taksonomiske fundament, dens komplekse isomorfe livscyklus, de økofysiologiske vækstfaktorer og de vidtrækkende miljømæssige konsekvenser af dens masseforekomster i danske fjorde som Vejle Fjord. Desuden belyses de igangværende forskningsprojekter SeaSusProtein og ClimateFeed, der søger at transformere miljømæssige udfordringer til innovative løsninger inden for fødevarer og metanreduktion i landbruget.

Taksonomisk klassificering og morfologisk diversitet

Systematikken bag slægten *Ulva* har gennemgået en omfattende revision i det 21. århundrede. Oprindeligt blev slægten defineret af Carl von Linné i 1753 med *Ulva lactuca* som typespecies.[4] I årtier blev rørformede grønalger klassificeret under slægten *Enteromorpha*, mens de flade, bladlignende former forblev i *Ulva*. Imidlertid har molekylærgenetiske undersøgelser afsløret, at disse to morfotyper er så tæt beslægtede, at de ikke udgør separate monofyletiske grupper, hvilket har ført til en universel accept af at inkludere alle *Enteromorpha*-arter i slægten *Ulva*.[4]

I Danmark er diversiteten inden for slægten stor. Arterne varierer fra de klassiske brede blade hos *U. lactuca* til de mere rørformede eller grenede strukturer hos arter som *U. prolifera*. Interessant nok er typespecies for *Ulva prolifera* oprindeligt beskrevet fra Lolland i Danmark af O.F. Müller i 1778, hvilket understreger regionens historiske betydning for den algologiske forskning.[7]

Videnskabeligt navn	Dansk navn (hvis anvendt)	Karakteristika	Udbredelse i Danmark
Ulva lactuca	Søsalat	Fladt, distromatisk blad, ofte kruset kant	Meget almindelig i alle farvande
Ulva prolifera	Spiral-rørhinde	Rørformet, ofte rigt grenet thallus	Almindelig, danner ofte green tides
Ulva linza	Flad rørhinde	Rørformet basis, der flader ud i et blad	Kystnære områder og laguner
Ulva rigida	Stiv søsalat	Tykkere blade, ofte mørkere grøn	Stenrev og kystnære habitater

Morfologisk er søsalaten kendetegnet ved et thallus, der er to cellelag tykt, hvilket kaldes en distromatisk struktur.[4] Der findes ingen differentiering i komplekse vævstyper; næsten alle celler er funktionelt identiske og i stand til både fotosyntese og reproduktion. Undtagelsen er de basale celler, som forlænges til rhizoider for at danne en hæfteskive, der gør det muligt for algen at fæstne sig til sten, skaller eller andre makroalger.[4] Denne simple opbygning giver algen en ekstrem fænotypisk plasticitet, hvor vækstform og størrelse i høj grad påvirkes af lokale miljøforhold såsom strøm, lys og næringsstoftilgængelighed.[9]

Biologi og cellulære mekanismer

Søsalatens succes som opportunistisk art skyldes dens effektive cellulære maskineri. Hver celle i thalluset indeholder en enkelt kerne og en stor, kopformet kloroplast, der er placeret mod cellens yderside for at maksimere lysoptaget.[4] Inden i kloroplasten findes pyrenoider, som er centre for kulstofbinding (CO2-fiksering). Antallet af pyrenoider kan variere fra en til flere og bruges ofte som en taksonomisk markør til at differentiere mellem ellers ensartede arter.[4]

Væksten i *Ulva* foregår ved koordinerede mitotiske delinger. Under standardiserede laboratorieforhold er det observeret, at cellerne deler sig synkront en gang i døgnet.[10] Denne hurtige celledeling er grundlaget for algens ekstreme vækstrater, hvor den kan fordoble sin

biomasse på blot 2-3 dage under optimale betingelser.[1] Denne proces styres potentielt af langtrækkende diffunderbare kemiske agenter, der følger Turings reaktion-diffusionsmodeller, hvilket ses ved, at dannelsen af reproduktive celler (gametogenese) ofte induceres i en bølge fra thallus' spids mod basis.[10]

Biokemisk sammensætning

Søsalat er ikke blot biomasse; den er en koncentreret kilde til værdifulde biokemiske forbindelser. Cellevæggene indeholder ulvan, en unik sulfateret kostfiber, som udgør mellem 9% og 36% af tørstoffet.[3] Ulvan har vist sig at have bioaktive egenskaber, herunder antioxidative og immunmodulerende effekter. Algens proteinindhold er bemærkelsesværdigt højt for en plante, ofte omkring 19% af tørstoffet, hvilket gør den til en attraktiv kilde til alternativt protein.[11]

Komponent	**Gennemsnitligt indhold (% af TS)**	**Standardafvigelse**
Protein	19,00	5,94
Lipider	2,28	1,87
Kulhydrater	61,60	7,73
Aske (mineraler)	19,90	5,28
Jern (Fe)	Høj koncentration	-
Jod (I)	Høj koncentration	-

Denne sammensætning varierer dog betydeligt med årstiden og de lokale næringsstofforhold. Arter, der danner masseforekomster, har tendens til at have højere proteinindhold og hurtigere vækstrater end andre arter, hvilket er en direkte konsekvens af deres evne til lynhurtigt at optage og lagre uorganisk kvælstof fra vandet.[2]

Den isomorfe livscyklus: En generationers vekslen

Livscyklussen for *Ulva* er et skoleeksempel på isomorf generationsveksel, hvor den haploide fase (gametofyten) og den diploide fase (sporofyten) er morfologisk identiske.[12] Denne cyklus tillader algen at sprede sig effektivt og opretholde genetisk diversitet gennem kønnet formering, samtidig med at den kan udnytte ukønnet formering til hurtig kolonisering.

Den diploide generation: Sporofyten

Den voksne sporofyt bærer to sæt kromosomer (2n). Når sporofyten bliver fertil, undergår cellerne langs thallus' kant meiose, hvilket resulterer i produktionen af zoosporer.[13] Disse sporer er haploide (n) og er udstyret med fire flageller, hvilket gør dem til kraftfulde svømmere (quadriflagellater). Frigørelsen af zoosporer sker ofte eksplosivt og kan farve vandet grønt.[13] Zoosporerne udviser positiv fototaksi, hvilket fører dem mod lyset og de øverste vandlag, hvor de kan spredes med strømmen, før de til sidst slår sig ned på et fast substrat.

Den haploide generation: Gametofyten

Når en zoospore har sat sig fast, spirer den til en multicellulær gametofyt (n). Selvom gametofyten ser ud præcis som sporofyten, producerer den kønsceller (gameter) i stedet for sporer. Gameterne dannes ved mitose og har kun to flageller (biflagellater).[13] *Ulva* er typisk anisogam eller isogam, hvilket betyder, at gameterne fra forskellige parringstyper ("+" og "-") enten er næsten ens eller har en lille størrelsesforskel.

Frigørelsen af gameter er ofte synkroniseret med tidevandsrytmer eller månecyklussen, hvilket øger sandsynligheden for succesfuld befrugtning i vandsøjlen.[4] Når to gameter mødes, smelter de sammen (plasmogami og karyogami) og danner en diploid zygote. Zygoten er kortvarigt quadriflagellat, da den beholder flagellerne fra begge gameter, før den trækker dem tilbage, danner en cellevæg og spirer til en ny sporofyt, hvorved cirklen sluttes.[13]

Alternativ reproduktion og partenogenese

Det er vigtigt at bemærke, at mange *Ulva*-populationer i naturen fraviger den klassiske kønnet cyklus. Gameter, der ikke finder en partner, er i stand til at slå sig ned og spire direkte til en ny haploid plante gennem partenogenese.[4] Desuden kan søsalat formere sig vegetativt gennem fragmentering, hvor løsrevne stykker af thallus fortsætter med at vokse som fritdrivende individer. Denne mekanisme er afgørende for dannelsen af "green tides", hvor algerne ikke længere er afhængige af at sidde fast på bunden, men kan vokse eksponentielt i de øverste, lysrige vandlag.[4]

Økofysiologi og miljømæssige drivere

Væksten af *Ulva* er styret af et komplekst samspil mellem abiotiske faktorer, hvor især temperatur, lys, salinitet og næringsstoffer spiller hovedrollerne. Som en opportunistisk art

har søsalaten et bredt toleranceområde, men udviser klare optima for maksimal biomasseproduktion.

Temperatur og lys

For de fleste nordeuropæiske arter ligger det optimale temperaturinterval for vækst mellem 15^{0}C og 20^{0}C, mens reproduktionen ofte stimuleres ved højere temperaturer omkring 25^{0}C .[14] Dette forklarer, hvorfor masseforekomster typisk kulminerer i højsommeren. Lys er den primære energikilde, og søsalaten er ekstremt effektiv til fotosyntese ved lave lysintensiteter, med et kompensationspunkt omkring .[14] Ved højere lysintensiteter mættes fotosyntesen, men algen er robust over for fotoinhibering, hvilket tillader den at trives helt op i overfladen.

Salinitet og næringsstoffer

Søsalat er euryhalin, hvilket betyder, at den kan tolerere store udsving i saltholdighed, fra næsten ferskvand i indre fjorde til fuldt saltvand i Nordsøen.[16] Studier har dog vist, at vækstraten ofte er højest ved intermediære saliniteter (15-25 psu), hvilket gør danske fjorde til ideelle habitater.[16]

Næringsstoftilgængelighed, især uorganisk kvælstof (nitrat og ammonium), er den begrænsende faktor i de fleste danske kystvande. Søsalat har en meget høj affinitet for kvælstof og kan optage det hurtigere end de fleste konkurrerende organismer.[2] Den kan lagre overskydende kvælstof i sit væv som intracellulære puljer, hvilket tillader fortsat vækst i perioder, hvor de eksterne koncentrationer falder. Dette gør den til en formidabel konkurrent over for langsommere voksende arter som ålegræs.

Parameter	Optimal værdi / Interval	Effekt af ekstrem
Temperatur	$15 - 22°C$	Lav: Stagnerende vækst. Høj: Stress/Død
Salinitet	$15 - 25$ psu	Meget tolerant, men vækst falder ved >35 psu
Lys (I_{opt})	$70 - 90 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$	Lav: Begrænset fotosyntese. Høj: Robust
Kvælstof (N)	Høj tilgængelighed	Lav: Gulfarvning, lav vækst

Fosfor (P)	N:P ratio ca. 30-50	Nødvendig for energiprocesser

Miljøpåvirkning: Masseforekomster og "Green Tides"

Når balancen i det marine økosystem tipper på grund af menneskeskabt næringsstofbelastning, transformerer søsalaten sig fra en naturlig komponent til en miljømæssig udfordring. Masseforekomster af søsalat er et globalt fænomen, men i Danmark er problemet særligt udtalt i lavvandede fjordsystemer.

Mekanismerne bag Green Tides

Fænomenet starter typisk om foråret, når de første store mængder kvælstof vaskes ud i fjordene efter vinterens regn og gødskning på markerne.[19] Søsalaten reagerer med lynhurtig vækst, og thallusstykker, der rives løs af bølger eller strøm, begynder at drive frit i vandsøjlen. Da de ikke længere skal bruge energi på at danne hæfteskiver, kan de dedikere alle ressourcer til bladudvidelse.[2]

I områder som Limfjorden eller Odense Fjord kan disse algetæpper blive flere meter tykke. De primære miljømæssige konsekvenser omfatter:

1. **Lysskygning:** Algetæpperne blokerer for sollyset til havbunden, hvilket medfører død blandt ålegræs og andre flerårige planter, der fungerer som vigtige opvækstområder for fisk.[2]
2. **Hypoxi og Anoxi:** Når vækstsæsonen slutter, eller når algetæpperne bliver så tætte, at de nederste lag dør, starter en massiv nedbrydningsproces. Bakterier, der nedbryder det organiske materiale, forbruger al ilt i vandet og sedimentet.[2]
3. **Svovlbrinteproduktion:** Under de iltfrie forhold dannes der svovlbrinte (H_2S), som er ekstremt giftigt for bundfaunaen. Dette kan føre til total udryddelse af snegle, muslinger og orme, hvilket efterlader havbunden som en "biologisk ørken".[2]

Case Study: Vejle Fjord

Vejle Fjord har i 2023 og 2024 fungeret som et tragisk eksempel på disse processer. Fjorden er blevet erklæret "død" af organisationer som Greenpeace og Danmarks Sportsfiskerforbund efter gentagne og langvarige episoder med iltsvind.[21] Data viser, at landbruget står for ca. 70-80% af kvælstofudledningen til fjorden, hvilket skaber det fundamentale grundlag for algeopblomstringerne.[21]

I Vejle Fjord er det oprindelige ålegræs næsten forsvundet, og bunden er dækket af mudder. Den store mængde organiske materiale fra døde alger betyder, at sedimentet er løst og

ustabilt, hvilket gør det svært for nyt ålegræs at få fodfæste, selv hvis vandet blev renere.[2] Den årlige belastning til fjorden er beregnet til over 930 tons kvælstof, og eksperter vurderer, at der kræves en reduktion på mindst 346 tons for at vende udviklingen.[24]

Kilde til Kvælstof i Vejle Fjord	Andel (%)	Kommentar
Landbrug og naturlig afstrømning	82	Primær driver for eutrofiering
Spildevand (renseanlæg)	11	Signifikant bidrag ved kraftig regn
Havbrug / Dambrug i oplandet	7	Lokale hotspots

Strategier for forvaltning og genopretning

Bekæmpelsen af søsalat-problematikken kræver en todelt indsats: reduktion af næringsstoffer ved kilden og aktive genopretningstiltag i selve havmiljøet.

Marine virkemidler: Høst af søsalat

Et af de mest lovende nye virkemidler er kontrolleret høst af søsalat-biomasse. Ved fysisk at fjerne algerne fra fjorden, før de når at rådne, fjerner man samtidig det kvælstof og fosfor, som algerne har optaget i deres væv.[2] Projektet SeaSusProtein har demonstreret, at skånsom høst med specialbyggede maskiner kan fjerne betydelige mængder næringsstoffer og samtidig forbedre sigtdybden og lysforholdene for ålegræs.[2]

Beregninger viser, at høst kan fjerne ca. 49,5 kg kvælstof pr. hektar.[18] Udover de direkte miljøfordele fjerner man også de visuelle og lugtmæssige gener for borgere og turister, da rådnende søsalat på strandene producerer ildelugtende gasser som svovlbrinte og metan.[5]

Projekt Sund Vejle Fjord

Som modvægt til fjordens død er projektet "Sund Vejle Fjord" (2020-2024) blevet lanceret som et af Danmarks største marine naturgenopretningsprojekter.[25] Projektet anvender en kombination af fire metoder:

- **Etablering af stenrev:** Ved at udlægge store sten skabes der levesteder for tangtyper, der kræver fast bund, og skjulesteder for fisk.[23]
- **Udlægning af muslingebanker:** Blåmuslinger filtrerer vandet og binder partikler, hvilket øger vandets klarhed.[25]

- **Udplantning af ålegræs:** Frivillige og forskere genplanter manuelt ålegræs for at kickstarte økosystemet.[25]
- **Opfiskning af krabber:** Ved at fjerne store mængder strandkrabber beskyttes de nye ålegræsskud og muslingebanker.[21]

Disse tiltag har vist lokale positive effekter, men rapportens data understreger, at de er utilstrækkelige, hvis ikke de ledsages af en akutpakke til reduktion af kvælstof fra land.[24] I 2024 er der afsat 71 millioner kroner til målrettede opkøb af landbrugsjord og dambrug i oplandene til Vejle Fjord og Limfjorden for at mindske belastningen.[27]

Søsalat som fremtidens ressource: Fødevarer og Industri

Paradoksalt nok er de egenskaber, der gør søsalat til et miljøproblem – dens hurtige vækst og effektive næringsoptag – præcis de samme egenskaber, der gør den til en værdifuld afgrøde i en biobaseret økonomi.

SeaSusProtein: Grønt protein fra havet

GUDP-projektet SeaSusProtein (2020-2024) fokuserer på at udnytte søsalat som kilde til højværdiprotein til fødevarer, såsom plante-fars.[3] Processen indebærer en ressourceoptimeret ekstraktion, hvor man adskiller proteinerne fra de komplekse kulhydrater. Søsalatens proteinprofil er gunstig og indeholder essentielle aminosyrer, der gør den sammenlignelig med visse landbaserede afgrøder som soja, men uden behov for ferskvand eller pesticider.[2]

Udnyttelse af bioaktive stoffer

Udover protein indeholder søsalat pigmenter som chlorophyll og antioxidanter. Et særligt værdifuldt stof er astaxanthin, et rødt/orange pigment, der udvindes og bruges som naturligt farvestof i fiskeopdræt for at give laks den rette farve.[1] Dette er et eksempel på, hvordan marine biprodukter kan erstatte syntetiske stoffer i industrien. Desuden forskes der i ulvanens medicinske potentiale på grund af dens anti-inflammatoriske egenskaber.[3]

ClimateFeed: En revolution i landbruget

Et af de mest banebrydende aspekter af søsalatforskningen i Danmark er dens rolle i reduktionen af drivhusgasser fra kvægproduktionen. Projektet "ClimateFeed", støttet af Innovationsfonden, undersøger brugen af nordisk tang som fodertilsætning.[30]

Mekanismen bag metanreduktion

Ruminante dyr som malkekøer producerer store mængder metan (CH_4) i deres vom som et biprodukt af fordøjelsen af fibre. Metan er en drivhusgas, der er over 80 gange mere potent end CO_2 i de første 20 år i atmosfæren.[31] Visse typer tang, herunder søsalat og rødalgernes

slægt *Asparagopsis*, indeholder bioaktive stoffer som tanniner og antioxidanter, der kan gribe ind i de methanogene bakteriers stofskifte.[30]

Laboratorieforsøg har vist, at søsalat har potentiale til at reducere metanproduktionen med helt op til 50%.[2] Selvom resultaterne varierer afhængigt af dosis og foderets sammensætning, sigter projektet mod en stabil reduktion på 30% i praktisk brug.[32] Dette svarer til en besparelse på ca. 0,45-0,5 mio. tons CO_2 -ækvivalenter årligt i 2030, hvis det implementeres i hele den danske konventionelle malkekvægssektor.[34]

Produktion og opskalering

For at realisere dette potentiale kræves en massiv opskalering af tangdyrkning. Teknologisk Institut estimerer, at nordiske tangfarme med et samlet areal på størrelse med Bornholm (ca. 588 km^2) vil kunne forsyne 40% af køerne hos de seks største mejeriproducenter i EU.[31] Virksomheder som DLG og Vilofoss er allerede i gang med at udvikle metoder til at forarbejde tangen til piller eller pulver, som landmanden nemt kan tilsætte foderet.[30] Dette skaber en cirkulær proces, hvor tangen optager de næringsstoffer, landbruget udleder til havet, hvorefter den føres tilbage til landbruget som klimavenligt foder.

Projektfakta: ClimateFeed	Detaljer
Budget	17 mio. kr. (11,7 mio. fra Innovationsfonden)
Periode	2019 - 2024
Mål	30% reduktion af enterisk metan
Partnere	DTI, AU, KU, DLG, Vilofoss, Naturmælk m.fl.
Udvalgte arter	Søsalat (Ulva), Sukkertang, Rødalger

Klimatiske udfordringer og fremtidsudsigter

Klimaforandringerne fungerer som en forstærker for søsalatens miljøpåvirkning. Stigende havtemperaturer i de danske farvande – som er steget med ca. to grader de sidste 40 år – favoriserer de hurtigtvoksende grønalger.[37] Varmere vand fremskynder også

nedbrydningsprocesserne, hvilket fører til tidligere og kraftigere iltsvindsepisoder. I 2024 startede iltsvindet usædvanligt tidligt på grund af de høje bundtemperaturer.[37]

Desuden betyder øget nedbør og hyppigere ekstremregn, at mere kvælstof og fosfor vaskes ud i fjordene på kortere tid. Dette skaber ideelle vækstbetingelser for søsalat i foråret og forsommeren, hvilket lægger et massivt pres på de kystnære økosystemer.[19]

Behovet for monitorering og data

Der er stadig et betydeligt behov for viden om den tidslige og rumlige variation af søsalat-forekomster i Danmark. SeaSusProtein-projektet arbejder på at optimere metoder til estimering af biomasse ved hjælp af dronebilleder og ortofotos, hvilket er nødvendigt for at kunne planlægge en effektiv og skånsom høst.[2]

År	Miljøtilstand (DCE/AU vurdering)	Primære årsager
2023	Rekordstort iltsvind (næststørste siden 2002)	Stor afstrømning, svage vinde
2024	Kritisk lav sigtdybde, tidligt iltsvind	Høje temperaturer, næringsstofbelastning
2030 (mål)	God økologisk tilstand (Vandplaner)	Reduktion af N-udledning med 30-50%

Konklusion og perspektivering

Søsalat (*Ulva sp.*) står i centrum for de mest presserende miljømæssige og klimamæssige diskussioner i Danmark. Algens livscyklus og biologi gør den til en af naturens mest effektive organismer til at omdanne uorganiske næringsstoffer til organisk biomasse. Når denne proces løber løbsk i de danske fjorde som følge af eutrofiering, resulterer det i massive "green tides", der kvæler ålegræsset, skaber iltsvind og truer biodiversiteten. Case-studiet fra Vejle Fjord understreger alvoren i denne situation og nødvendigheden af både kildereduktion og marine virkemidler.

Samtidig repræsenterer søsalaten en unik mulighed. Gennem projekter som SeaSusProtein og ClimateFeed transformeres det, der før var et affalds- og miljøproblem, til en ressource med globalt potentiale. Ved at høste søsalaten fjerner vi næringsstoffer fra havet, genopretter

habitater og skaber bæredygtige proteiner og metanreducerende foderstoffer. Denne cirkulære tilgang er essentiel for at nå de nationale klimamål og for at sikre et sundt havmiljø for fremtidige generationer. Succesen afhænger dog af en fortsat stærk synergi mellem videnskabelig forskning, politisk handlekraft og industrielle investeringer i opskalering af tangbaserede teknologier.

Citerede værker

1. Søsalat: Jeg gi'r laksen røde kinder - Kattegatcentret, tilgået april 4, 2026, https://www.kattegatcentret.dk/livet-i-havet/alger/soesalat/
2. Høst af eutrofieringsbetingede masseforekomster af søsalat – status på viden om miljøeffekter og økonomi - DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, tilgået april 4, 2026, https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2020/N2020_20.pdf
3. Vidensyntese om blå biomasse: Potentialer for ny og bæredygtig ..., tilgået april 4, 2026, https://backend.orbit.dtu.dk/ws/files/247505860/387_2021_Vidensyntese_om_blaa_biomasse.pdf
4. Seaweed.ie :: Ulva or Sea Lettuce, tilgået april 4, 2026, https://www.seaweed.ie/algae/ulva.html
5. Ulva lactuca - Wikipedia, tilgået april 4, 2026, https://en.wikipedia.org/wiki/Ulva_lactuca
6. World Register of Marine Species - Ulva prolifera O.F.Müller, 1778 - WoRMS, tilgået april 4, 2026, http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=234476
7. Ulva prolifera O.F.Müller - AlgaeBase, tilgået april 4, 2026, https://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=p27851874c97e7a09
8. Ulva prolifera O.F.Müller - AlgaeBase, tilgået april 4, 2026, https://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=a1cf24ed1de5ec18c
9. Almindelig søsalat - Arter, tilgået april 4, 2026, https://arter.dk/taxa/72478
10. The green seaweed Ulva: a model system to study morphogenesis - PMC, tilgået april 4, 2026, https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4333771/
11. Arealanvendelse og bioøkonomi – forudsætninger for og ..., tilgået april 4, 2026, https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2022/N2022_21.pdf
12. Isomorphic biphasic life cycle of Ulva. - Public Library of Science - Figshare, tilgået april 4, 2026, https://plos.figshare.com/articles/figure/Isomorphic_biphasic_life_cycle_of_i_Ulva_i_/3021847
13. Ulva life cycle, tilgået april 4, 2026, https://apexbtic.icgeb.res.in/dbtapex/resources/seaweed/life%20cycle/Ulva_life.htm

14. Optimizing temperature, light intensity, and salinity conditions for the culture of an asexual population of Ulva ohnoi - ResearchGate, tilgået april 4, 2026, https://www.researchgate.net/publication/396068214_Optimizing_temperature_light_intensity_and_salinity_conditions_for_the_culture_of_an_asexual_population_of_Ulva_ohnoi

15. Different Growth and Sporulation Responses to Temperature Gradient among Obligate Apomictic Strains of Ulva prolifera - PMC, tilgået april 4, 2026, https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8617885/

16. Fast screening method to identify salinity tolerant strains of foliose Ulva species. Low salinity leads to increased organic matter of the biomass - PMC, tilgået april 4, 2026, https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11263424/

17. Effect of salinity on growth and nutrient uptake of Ulva pertusa (Chlorophyta) from an eelgrass bed - :: Algae, tilgået april 4, 2026, https://www.e-algae.org/upload/pdf/algae-2010-25-1-017.pdf

18. Høst af eutrofieringsbetingede masseforekomster af søsalat – status på viden om miljøeffekter og økonomi - Miljøstyrelsen, tilgået april 4, 2026, https://mst.dk/media/xn4f2ral/79-hoest-af-eutrofieringsbetingede-masseforekomster-af-soesalat-status-paa-viden-om-miljoeeffekter-og-oekonomi-notat-fra-dce-2020.pdf

19. Oplandsanalyse for Fyle og Ødsted Bæk medvirker til en renere Vejle Fjord, tilgået april 4, 2026, https://www.vejle.dk/da/nyheder/oplandsanalyse-for-fyle-og-oedsted-baek-medvirker-til-en-renere-vejle-fjord/

20. Iltsvind - Miljøstyrelsen, tilgået april 4, 2026, https://mst.dk/erhverv/rent-miljoe-og-sikker-forsyning/vandmiljoe/havet/iltsvind

21. (PDF) Why is Vejle Fjord, Denmark, considered 'dead'? A review of causes, mitigants, and climate-change scenarios, with suggested policy changes - ResearchGate, tilgået april 4, 2026, https://www.researchgate.net/publication/400784078_Why_is_Vejle_Fjord_Denmark_considered_'dead'_A_review_of_causes_mitigants_and_climate-change_scenarios_with_suggested_policy_changes

22. Vejle Fjord er død. Nu stedes fjorden til hvile med håbet om at genopstå - Via Ritzau, tilgået april 4, 2026, https://via.ritzau.dk/pressemeddelelse/13794390/vejle-fjord-er-dod-nu-stedes-fjorden-til-hvile-med-habet-om-at-genopsta?publisherId=13561876&lang=da

23. Ålegræs, stenrev og stormflodsbeskyttelse skal booste livet i Vejle Fjord, tilgået april 4, 2026, https://bygherreforeningen.dk/aalegraes-stenrev-og-stormflodsbeskyttelse-skal-booste-livet-i-vejle-fjord/

24. Næringsstofbelastning fra Vejle Å til Vejle Fjord, GeoHav 15. december 2025, tilgået april 4, 2026, https://www.geohav.dk/pdfarchive/459161358914385.pdf

25. A Healthy Vejle Fiord - Center for Marin Naturgenopretning, tilgået april 4, 2026, https://www.danishmarinerestoration.com/projects/a-healthy-vejle-fiord/

26. Sund Vejle Fjord - Center for Marin Naturgenopretning, tilgået april 4, 2026, https://marinnatur.dk/projekter/sund-vejle-fjord/

27. Bred politisk aftale: Målrettede opkøb skal nedbringe kvælstofudledning til Vejle Fjord og Limfjorden - Regeringen.dk, tilgået april 4, 2026, https://regeringen.dk/aktuelt/nyheder/2024/bred-politisk-aftale-maalrettede-opkoeb-skal-nedbringe-kvaelstofudledning-til-vejle-fjord-og-limfjorden/

28. Beskrivelser af marine virkemidler: Muslingeopdræt, tilgået april 4, 2026, https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/235461663/SR368.pdf

29. Project - Algae Based Climate Feed Additive for Methane Reduction ..., tilgået april 4, 2026, https://www.teknologisk.dk/project-algae-based-climate-feed-additive-for-methane-reduction-in-dairy-cows/43869

30. Climate Feed - Ocean Rainforest, tilgået april 4, 2026, https://www.oceanrainforest.com/climatefeed

31. Climate Feed - Algecenter Danmark, tilgået april 4, 2026, https://algecenterdanmark.com/2025/07/25/climate-feed/

32. Research project: seaweed set to reduce greenhouse gas from burping dairy cows - Vilofoss, tilgået april 4, 2026, https://www.vilofoss.com/News/Research-project---seaweed-set-to-reduce-greenhouse-gas-from-burping-dairy-cows

33. Forskningsprojekt: Tang skal få køer til at bøvse mindre metan - DLG, tilgået april 4, 2026, https://www.dlg.dk/Om-DLG/Presse/Nyheder/2019/11/Forskningsprojekt-Tang-skal-faa-koeer-til-at-boevse-mindre-metan

34. Klik her for at downloade strategi for tekniske reduktionspotentialer vedr. metanreducerende foder - Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, tilgået april 4, 2026, https://fvm.dk/Media/638507720968704879/Strategi_for_de_tekniske_reduktionspotentialer_inden_for_metanreducerende_foder.pdf

35. Macro algae in Feed to Reduce Greenhouse Gases (CFC) from Dairy Cows, tilgået april 4, 2026, https://www.dti.dk/services/macro-algae-in-feed-to-reduce-greenhouse-gases-cfc-from-dairy-cows/41216

36. Tang i foderet skal reducere drivhusgasser fra malkekøer - Innovationsfonden, tilgået april 4, 2026, https://innovationsfonden.dk/da/i/historier/tang-i-foderet-skal-reducere

37. MARINE OMRÅDER 2024 - DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, tilgået april 4, 2026, https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Videnskabelige_rapporter_600-699/SR684.pdf