Univerzita Karlova
Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Ekologická a evoluční biologie

Studijní obor: B-EKOEVO

Julie Franclová

Zelené makrořasy (Chlorophyta) jako zdroj bioaktivních látek, jejich konzumace a využití pro lékařské účely

Green macroalgae (Chlorophyta) as a source of bioactive compounds, their consumption, and use in health care

Bakalářská práce

Školitel: doc. RNDr. Yvonne Němcová, Ph.D.

Praha, 2026

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

Při přípravě této bakalářské práce byl použit nástroj NotebookLM (poháněný technologií Gemini 3.1 Pro) v období 27. 2. 2026 – 24. 4. 2026. Nástroj jsem použila za účelem úprav textu a vyhledávání citací. Po použití tohoto nástroje umělé inteligence jsem důkladně revidovala a upravila obsah podle potřeby a plně přejímám odpovědnost za výslednou podobu práce.

V Praze dne 26. 4. 2026

Podpis:

Poděkování:

Chtěla bych poděkovat především své školitelce doc. RNDr. Yvonne Němcové, Ph.D., za její trpělivost, ochotu, cenné rady a celkové vedení práce. Dále bych chtěla poděkovat své rodině a přátelům, kteří mě po celou dobu studia podporovali.

Abstrakt

Zelené mořské makrořasy (Chlorophyta), z nichž většina druhů konzumovaných či potenciálně využitelných pro lékařské účely patří do třídy Ulvophyceae nebo řádu Bryopsidales, jsou hojně rozšířeny v litorálu světových moří a oceánů. Cílem této bakalářské práce je podat ucelený přehled o bioaktivním a nutričním potenciálu vybraných rodů zelených řas (*Ulva*, *Monostroma*, *Capsosiphon*, *Caulerpa* a *Codium*). Práce se zabývá charakterizací obsažených bioaktivních látek a jejich aplikacemi v medicíně na základě prokázaných farmakologických účinků. Dále práce popisuje bohatý nutriční profil těchto řas a jejich využití v potravinářství, včetně metod kultivace. Na závěr je v práci zdůrazněna nutnost přechodu ze sběru ve volné přírodě na kontrolované kultivační metody, např. kontrolované nádrže a systémy integrované multitrofické akvakultury (IMTA) a případné využití odpadní biomasy z tzv. zelených přílivů.

Klíčová slova: bioaktivní látky, Bryopsidales, Chlorophyta, makrořasy, potravinové doplňky, Ulvophyceae, zdravá výživa

Abstract

Green marine macroalgae (Chlorophyta), of which most species consumed or potentially utilized for medical purposes belong to the class Ulvophyceae or the order Bryopsidales, are widely distributed in the littoral zones of the world's seas and oceans. The aim of this bachelor's thesis is to provide a comprehensive overview of the bioactive and nutritional potential of selected green algal genera (*Ulva*, *Monostroma*, *Capsosiphon*, *Caulerpa*, and *Codium*). This thesis focuses on the characterization of bioactive compounds they contain and their applications in medicine due to their demonstrated pharmacological effects. Furthermore, the thesis describes the nutritional profile of these algae and their utilization in the food industry, including cultivation methods. Finally, it emphasizes the need to transition from wild harvesting to controlled cultivation methods, such as controlled tanks and integrated multitrophic aquaculture (IMTA) systems, or alternatively, the utilization of waste biomass from green tides.

Keywords: bioactive compounds, Bryopsidales, Chlorophyta, macroalgae, food supplements, Ulvophyceae, healthy nutrition

Obsah

1. Úvod 1
2. Fylogeneze a systematika nejběžněji využívaných rodů 2
2.1. Třída Ulvophyceae a její rozpad 2
3. Morfologický popis a charakteristika vybraných rodů 4
3.1. Řád Ulvales 4
3.1.1. Charakteristika rodu *Ulva* 4
3.2. Řád Ulotrichales 5
3.2.1. Charakteristika rodu *Monostroma* 6
3.2.2. Charakteristika rodu *Capsosiphon* 8
3.3. Řád Bryopsidales 9
3.3.1. Charakteristika rodu *Caulerpa* 9
3.3.2. Charakteristika rodu *Codium* 9
4. Bioaktivní látky a jejich aplikace 11
4.1. Polysacharidy (ulvany) 11
4.2. Lektiny 12
4.3. Pigmenty 13
4.4. Fenolické sloučeniny 15
4.5. Alkaloidy 16
4.6. Steroly 17
4.7. Terpeny 17
5. Kultivace a konzumace 19
5.1. *Ulva* 19
5.2. *Monostroma* 22
5.3. *Capsosiphon* 24
5.4. *Caulerpa* 25
5.5. *Codium* 27
6. Závěr 29
7. Seznam literatury 30

1. Úvod

Mořské makrořasy lidé využívají už tisíce let, a to zejména v Asii jako zdroj potravy a přírodních léčiv. I přes to, že v západním světě byly historicky konzumovány a využívány spíše okrajově, v dnešní době jejich popularita celosvětově roste. Kvůli rostoucí světové populaci, změnám klimatu a úbytku úrodné půdy je nutné hledat nové udržitelné zdroje potravy (Liao et al. 2024). Pěstování řas je ekologicky šetrnější a udržitelnější než tradiční zemědělství. K jejich produkci totiž není potřeba orná půda, sladká voda ani umělá hnojiva a pesticidy (Hofmann et al. 2025).

Zelené makrořasy si pro přežití v nehostinném a proměnlivém mořském prostředí (výkyvy salinity, teplot a intenzivní sluneční záření) vyvinuly komplexní obranné mechanismy. Produkují mnoho unikátních sekundárních metabolitů a bioaktivních látek, které se u suchozemských rostlin běžně nevyskytují. Do této skupiny patří mimo jiné specifické sulfatované polysacharidy, pigmenty a fenolické sloučeniny (Xu et al. 2023). Aktuální vědecké studie potvrzují, že tyto látky mají velký farmakologický potenciál. Vykazují mimo jiné silné antioxidační, antimikrobiální, protizánětlivé, antivirové a protinádorové účinky (Mansoor et al. 2024a).

Kromě farmaceutického využití mají zelené makrořasy díky své vysoké nutriční hodnotě velký potenciál i v potravinářství. Zástupci rodů *Ulva*, *Monostroma*, *Caulerpa*, *Codium* a *Capsosiphon* představují bohatý přírodní zdroj kvalitních proteinů, esenciálních aminokyselin, polynenasycených mastných kyselin, vlákniny, vitamínů a stopových prvků. Díky tomu bývají označovány jako „superpotraviny“ nebo „pšenice moře“ (Hofmann et al. 2025).

Hlavním cílem této bakalářské práce je zpracovat literární přehled o vybraných rodech zelených makrořas (Chlorophyta) a jejich bioaktivním potenciálu, vlivu na lidské zdraví, nutričním profilu a způsobech jejich kultivace a konzumace. Práce zdůrazňuje význam zelených makrořas jako cenného přírodního zdroje, a to především díky jejich unikátním bioaktivním látkám a nutričně bohatému složení.

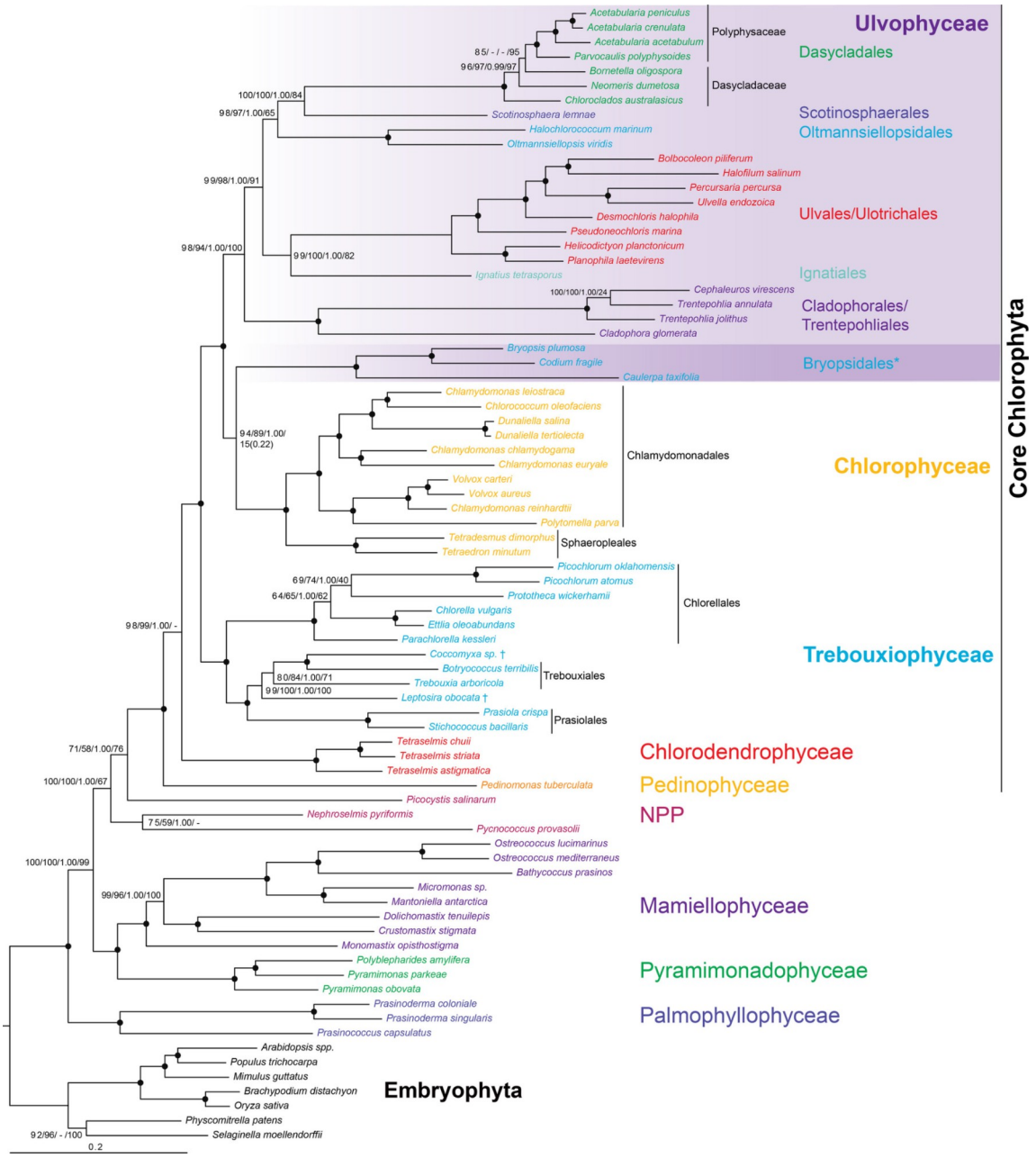
2. Fylogeneze a systematika nejběžněji využívaných rodů

V rámci širšího evolučního kontextu zelené řasy spadají do superskupiny Archaeplastida. Tato rozsáhlá říše se vyznačuje tím, že její původ je spojený s primární endosymbiózou, tedy pohlcením sinice a vznikem prvního plastidu. Z fylogenetického hlediska se dělí na tři hlavní vývojové linie: ruduchy (Rhodophyta), glaukofyty (Glaucophyta) a zelené rostliny (Chloroplastida, popřípadě Viridiplantae). Tato práce se zaměřuje právě na vývojovou větev Chloroplastida. Od ruduch a glaukofyt se tato linie v průběhu evoluce oddělila díky třem zásadním inovacím: ztratila původní světlosběrné fykobilizomy, vyvinula fotosyntetický pigment chlorofyl *b* a získala schopnost syntetizovat a ukládat škrob přímo uvnitř plastidů. V rámci Chloroplastida patří makroskopické zelené řasy do vývojové linie Chlorophyta, třídy Ulvophyceae (řády Ulvales a Ulotrichales) a řádu Bryopsidales (One Thousand Plant Transcriptomes Initiative 2019).

2.1. Třída Ulvophyceae a její rozpad

Třída Ulvophyceae se vyznačuje obrovskou morfologickou diverzitou. Zahrnuje jednobuněčné mikroskopické taxony, vláknité a listovité stélky, formy se sifonokladální stavbou i obrovské (až několik metrů) sifonální řasy tvořené jednou mnohojadernou buňkou. Dlouho se věřilo, že je tato třída monofyletická. To však bylo v posledních letech zpochybněno (Del Cortona et al. 2020).

Důležitým tématem moderních fylogenomických studií je pozice řádu Bryopsidales. Tento řád makroskopických sifonálních řas (kam patří např. rody *Codium* či *Caulerpa*) byl historicky řazen do třídy Ulvophyceae, a to především na základě morfologické podobnosti s ostatními makroskopickými řasami z této třídy. Fylogenomické studie z posledních let (např. Gulbrandsen et al. (2021)) tento předpoklad ale vyvrací. Podle jejich výzkumu to vypadá, že řád Bryopsidales není fylogeneticky součástí třídy Ulvophyceae. Nově zjištěné příbuzenské vztahy mezi hlavními skupinami zelených řas přehledně ilustruje fylogenetický strom ze studie Gulbrandsen et al. (2021) (Obr. 1). Autoři studie pro rekonstrukci stromu využili metody maximální věrohodnosti (ML) a bayesovské inference. Podle jejich výzkumu Bryopsidales nejspíš tvoří sesterskou větev ke třídě Chlorophyceae. Z tohoto zjištění tedy vyplývá, že třída Ulvophyceae je velmi pravděpodobně parafyletická (Gulbrandsen et al. 2021).



Obr. 1: Fylogenetický strom oddělení Chlorophyta vytvořený na základě analýzy 95 genů. Černý bod v místě větvení značí maximální spolehlivost daného příbuzenského vztahu, která byla potvrzena několika nezávislými statistickými modely. Hvězdička u řádu Bryopsidales upozorňuje na to, že se tento řád dříve řadil do třídy Ulvophyceae. *Převzato z Gulbrandsen et al. (2021).*

Tato nová fylogenetická pozice zásadně mění pohled na evoluci makroskopického růstu u zelených řas. Řád Bryopsidales se vyznačuje sifonální stavbou stélky. Předpokládalo se, že Bryopsidales sdílí tuto stavbu se zástupci řádu Dasycladales proto, že ji zdědily po společném předkovi v rámci třídy Ulvophyceae. Vzhledem k tomu, že jsou ale tyto dva řády od sebe evolučně pravděpodobně velmi vzdálené, tak se makroskopická stavba stélky u zelených řas nejspíš vyvinula v průběhu evoluce víckrát nezávisle na sobě (Gulbrandsen et al. 2021).

3. Morfologický popis a charakteristika vybraných rodů

3.1. Řád Ulvales

Řád Ulvales představuje evoluční linii mnohobuněčných zelených řas, u nichž se stélka skládá z jednojaderných buněk. I když mají relativně jednoduchou vnější stavbu, vykazují vysokou míru morfologické plasticity a stélky mohou mít podobu vláken, dutých trubiček nebo zploštělých listovitých útvarů (Wichard et al. 2015).

3.1.1. Charakteristika rodu *Ulva*

Rod *Ulva* (čeleď Ulvaceae) se řadí mezi celosvětově nejrozšířenější a ekologicky i hospodářsky nejvýznamnější zelené makrořasy. Zástupce najdeme v mořích, brakických vodách i ve sladkovodních ekosystémech (Tran et al. 2022). Pro tento rod je typická obrovská tvarová plasticita, která závisí na podmínkách prostředí (Wichard et al. 2015). Tato vlastnost v minulosti komplikovala přesné určování jednotlivých druhů a tím ztěžovala i celou taxonomii rodu (Tran et al. 2022).

Morfologie stélky

Stavba stélky u rodu *Ulva* se vyznačuje tzv. diptychovým plánem. Stélky rostou buď jako duté jednovrstevné trubičky (dříve řazené do samostatného rodu *Enteromorpha*) nebo jako zploštělé čepele tvořené dvěma vrstvami buněk (tzv. distromatická stavba). Jelikož moderní fylogenetika prokázala, že evoluční přechod mezi trubicovitou a listovitou formou probíhal opakovaně, byl rod *Enteromorpha* zrušen a začleněn do rodu *Ulva* (Hayden et al. 2003).
I když je celková stavba stélky u rodu *Ulva* poměrně jednoduchá, její pletivo se rozděluje do tří základních typů buněk: rhizoidální buňky, které slouží k přichycení k podkladu, dále kmenové buňky, a nakonec asimilační buňky, které tvoří samotnou čepel (Stratmann et al. 1996).

Jedním z hlavních rysů zástupců rodu *Ulva* je jejich extrémní fenotypová plasticita a výskyt velkého množství poddruhů. Klíčové morfologické znaky (jako je celkový tvar a větvení stélky, její tloušťka nebo velikost samotných buněk) se mohou zásadně měnit v závislosti na podmínkách okolního prostředí. Na vzhled jedince má silný vliv salinita, teplota vody, intenzita slunečního záření nebo mořské proudění (Blomster et al. 1999). Z tohoto důvodu se druhy nedají spolehlivě určit pouze na základě vizuálních a mikroskopických znaků. Proto je molekulárně-genetická analýza zásadní pro přesnou identifikaci (Hayden et al. 2003).

Rozmnožování a chemická regulace životního cyklu

U zástupců rodu *Ulva* se vyskytuje klasické střídání haploidní (gametofyt, který produkuje dvoubičíkaté gamety) a diploidní (sporofyt, který produkuje čtyřbičíkaté zoospory) generace. Obě tyto životní fáze vypadají morfologicky stejně a pouhým okem je od sebe nelze rozeznat. Vedle toho ale hraje zásadní roli také nepohlavní rozmnožování. K tomu dochází buď prostřednictvím partenogeneze, při které se z neoplozené gamety vyvine přímo nový haploidní jedinec (Løvlie & Bryhni 1978), nebo fragmentací stélky. Při fragmentaci je i z velmi malého odděleného kusu stélky schopen zregenerovat nový jedinec. Právě této schopnosti se dnes využívá v laboratorních experimentech a v komerční akvakultuře (Gao et al. 2010).

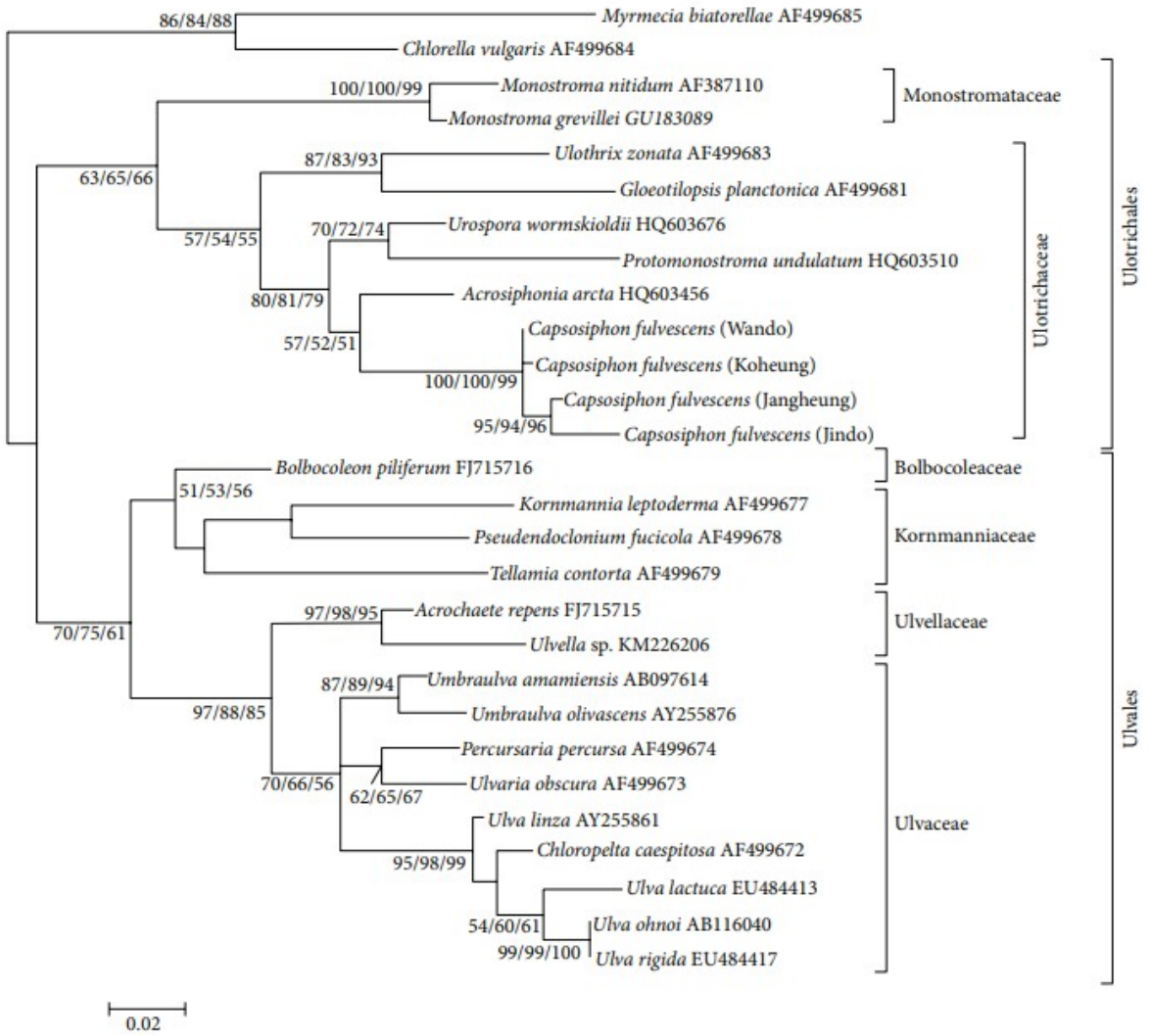
Bakteriální symbióza

Pro zástupce rodu *Ulva* je typická jejich absolutní závislost na symbiotických bakteriích. Pokud se tato řasa pěstuje v axenických (tedy zcela sterilních) podmínkách, nedokáže vytvořit svou typickou makroskopickou stélku. Její přirozený vývoj se zastaví a roste pouze jako nediferencovaný shluk buněk (kalus) s deformovanými buněčnými stěnami, který se pomalu dělí (Marshall et al. 2006). Aby se z tohoto beztvarého shluku vytvořila normální, správně fungující stélka, potřebuje k tomu řasa přijmout z okolní vody chemické signály. Tyto řídící (morfogenetické) látky do vody uvolňují specifické druhy mořských bakterií (Spoerner et al. 2012).

3.2. Řád Ulotrichales

Z evolučního hlediska představuje řád Ulotrichales blízce příbuznou sesterskou větev řádu Ulvales. Stejně jako u zástupců Ulvales je stélka tvořena z jasně oddělených, jednojaderných buněk a vytvářejí mnohobuněčné stélky v podobě vláken, dutých trubiček nebo zploštělých listových čepelí (Del Cortona et al. 2020). Zásadní rozdíl mezi oběma řády spočívá v jejich rozmnožování. Na rozdíl od řádu Ulvales se Ulotrichales vyznačují heteromorfním životním cyklem, ve kterém má nepohlavní diploidní sporofyt podobu drobné, tlustostěnné a stopkaté jednobuněčné struktury (kodiolové stádium) (O'Kelly et al. 2004).

Fylogenetický strom (Obr. 2) ukazuje oddělení jednotlivých linií a postavení zkoumaných rodů (*Ulva*, *Monostroma*, *Capsosiphon*). Ačkoliv si mohou být tyto řasy v určitých vývojových stádiích morfologicky podobné, na základě genetických dat zástupci rodu *Ulva* tvoří samostatnou větev v rámci řádu Ulvales, zatímco rody *Monostroma* a *Capsosiphon* se řadí do řádu Ulotrichales (Sun et al. 2016).



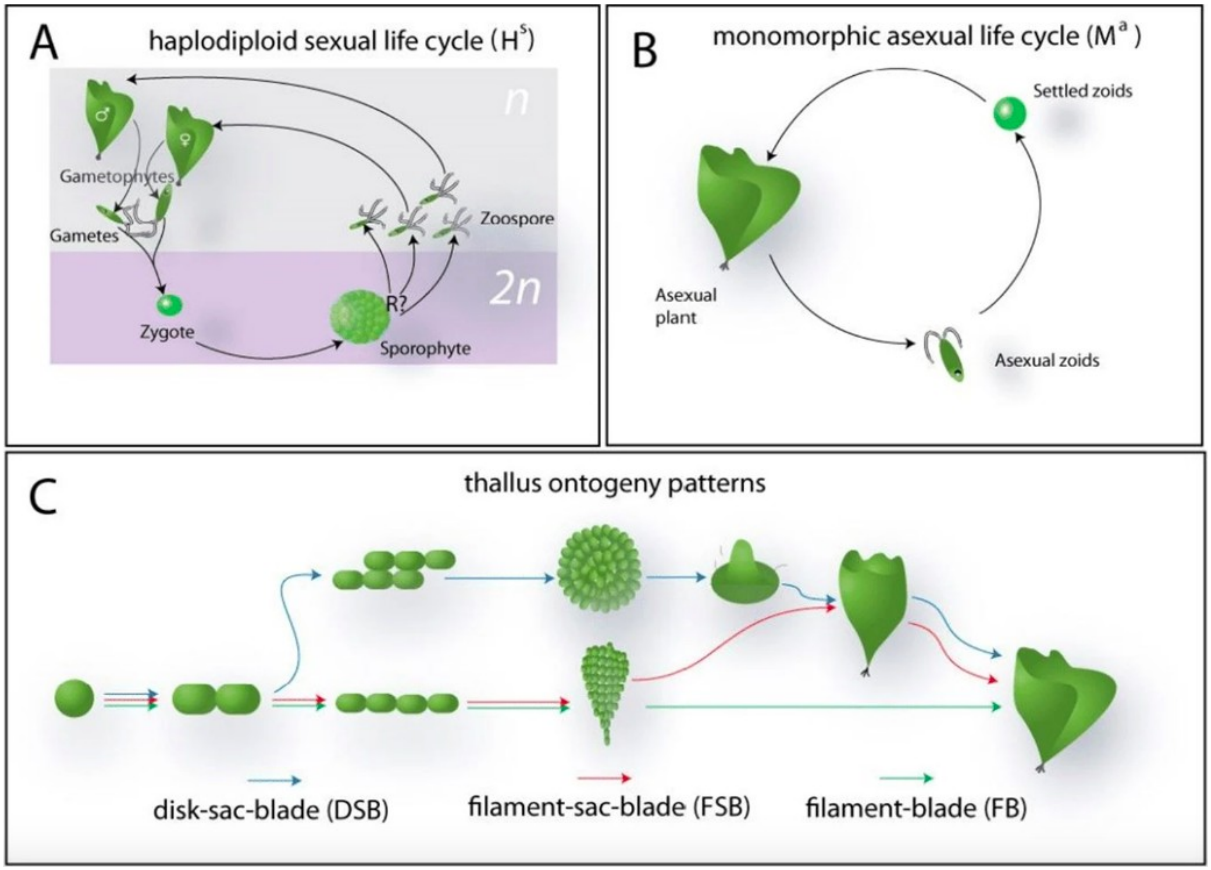
Obr. 2: Fylogenetický strom vybraných zástupců třídy Ulvophyceae zkonstruovaný na základě molekulárně-genetických dat. Strom znázorňuje evoluční oddělení a příbuzenské vztahy vývojových linií rodů *Ulva*, *Monostroma* a *Capsosiphon* a jejich zařazení do příslušných řádů Ulvales a Ulotrichales. *Převzato z Sun et al (2016).*

3.2.1. Charakteristika rodu *Monostroma*

Rod *Monostroma* představuje nejintenzivněji pěstovaný rod zelených makrořas na světě. Tvoří přes 90 % celkové světové produkce kultivovaných zelených řas (Kaur et al. 2023). Z ekologického hlediska obývají zástupci rodu *Monostroma* nejčastěji skalnatá pobřeží v přílivových zónách, ústí řek, nebo rostou jako pokryv na pneumatoforech mangrovů. Jsou to extrémně adaptabilní a euryhalinní organismy, což znamená, že dobře zvládají obrovské výkyvy salinity a velké změny teplot a slunečního záření, se kterými se v ústích řek či při odlivu běžně musí vypořádat (Kavale et al. 2020a). Typickým znakem tohoto rodu je stélka tvořená pouze jednou vrstvou buněk (tzv. monostromatická stavba). Právě díky tomuto jednovrstevnému uspořádání, kterým se liší od dvouvrstevné stélky rodu *Ulva*, se jí v

angličtině někdy přezdívá „slender sea lettuce“ (tenký mořský salát) (Suzuki & Terasawa 2020).

Morfologie a reprodukce



Obr. 3: Schéma životních cyklů a ontogenetického vývoje stélky u zástupců rodu *Monostroma*. (A) Typický sexuální haplodiplontní životní cyklus se střídáním makroskopické a mikroskopické generace. (B) Monomorfní asexuální životní cyklus, kde řasa produkuje asexuální zoidy, které po usazení klíčí v novou stélku bez tvorby sporofytu. (C) Tři hlavní modely ontogeneze makroskopické stélky: přes stádium disku a dutého váčku (DSB), vlákna a váčku (FSB), nebo přímo z vlákna v čepel (FB). *Převzato z Kaur et al. (2023).*

Tento model (Obr. 3) přehledně shrnuje reprodukční a vývojové strategie, kterými se zástupci rodu *Monostroma* vyznačují. V části A můžeme vidět standardní heteromorfní diplohaplontní cyklus, což znamená, že se střídají dvě vzhledově naprosto odlišné generace. Dominantní a makroskopickou fází je haploidní gametofyt (samotný tenký list řasy). Ten tvoří na svých okrajích dvoubičíkaté gamety, které se uvolňují do vody (Liao et al. 2024). Po oplození a splynutí gamet vzniká zygota, která poté vyklíčí do diploidního sporofytu (kodiolové stádium). Sporofyt je mikroskopický a obvykle ho tvoří jedna silnostěnná kulovitá buňka. Po několika měsících růstu dochází uvnitř diploidního sporofytu k meiotickému (redukčnímu) dělení, jehož výsledkem je vznik haploidních čtyřbičíkatých zoospor. Z těch po přisednutí vyroste nová velká listovitá stélka (Moreira et al. 2022).

U některých druhů (dobře doloženo například u druhu *Monostroma nitidum*, jehož stélka je zobrazena na Obr. 4C) se však vyvinul nepohlavní (monomorfní asexuální) cyklus (Obr. 3B). V tomto případě gamety vůbec nesplývají a mikroskopické stádium sporofytu úplně odpadá. Namísto toho se z bičíkatých gamet vyvine přímo nový haploidní dospělý jedinec (Bast et al. 2009).

Ontogeneze stélky probíhá několika způsoby, které jsou zobrazeny v části C schématu (Obr. 3C) a závisí na tom, zda se listovitá stélka tvoří z vlákna nebo disku buněk. Může jít o vývojovou řadu terč-váček-čepel (tzv. DSB vzorec z anglického Disc-Sac-Blade), nebo se stélka vyvíjí z vlákna přes váček do čepele (FSB – Filament-Sac-Blade), případně roste z vlákna přímo do listovité čepele bez stádia váčku (FB) (Liao et al. 2024).

Bakteriální symbióza

Zástupci rodu *Monostroma* jsou závislí na symbióze s bakteriemi. Pokud se totiž tyto řasy pěstují ve zcela sterilním (axenickém) prostředí, kde chybí specifické kmeny bakterií, nedokážou vytvořit svůj přirozený listovitý tvar a vyvíjejí se zcela abnormálně (Matsuo et al. 2003).

3.2.2. Charakteristika rodu *Capsosiphon*

Zástupci rodu *Capsosiphon* přirozeně obývají horní část litorální zóny v severním Atlantiku a severním Pacifiku (Sun et al. 2016).

Morfologie stélky

Jedná se o vláknité makrořasy. Vývoj stélky probíhá typem „vlákno-trubice“ (z angl. filament-tube). Dospělý gametofyt má typický válcovitý nebo trubicovitý tvar (Bast et al. 2009).

Rozmnožování a životní cyklus

V přirozeném prostředí prochází rod *Capsosiphon* během svého životního cyklu dimorfní rodozměnou, při které se střídají makroskopické trubicovité gametofyty s mikroskopickými cystovitými sporofyty (kodiolové stádium) (Liao et al. 2024). Oboupohlavní gametofyty tvoří dvoubičíkaté izogamety, zatímco ze sporofytů vznikají redukčním dělením čtyřbičíkaté zoospory (Sun et al. 2016). Pro komerční akvakulturu se využívá nepohlavní rozmnožování prostřednictvím partenogenetických gamet. Vegetativní stélky se fragmentují na drobné části, které se inkubují až do vzniku gametangií. Z nich se uvolní gamety, které se přichytí na pěstební sítě a následně jsou pěstovány v moři (Moreira et al. 2022).

3.3. Řád Bryopsidales

Zástupci řádu Bryopsidales rostou na korálových útesech, skalnatých pobřežích a v lagunách od tropických až po arktické oblasti (Moreira et al. 2022). Hlavním znakem tohoto řádu je jejich sifonální stavba stélky, která je tvořena jednou dlouhou makroskopickou trubicovitou buňkou. U některých zástupců (např. rod *Caulerpa*) může tato jediná buňka dosahovat velikosti až několika metrů a patří tak k největším známým buňkám na světě a obsahuje tisíce až miliony jader, chloroplastů a mitochondrií (Del Cortona et al. 2020).

3.3.1. Charakteristika rodu *Caulerpa*

Zástupci rodu *Caulerpa* se vyskytují především v tropických a teplých mořích.

Morfologie stélky

Přestože je stélka rodu *Caulerpa* diferencovaná na kotvící větvené rhizoidy, plazivé stolony a vzpřímené asimilační frondy (prýty), je tato makroskopická řasa tvořena jen jednou dlouhou buňkou. Pevnost této obří buňky je zajištěna vnitřní zpevňující sítí buněčných výrůstků (trabekul) (De Gaillande et al. 2017).

Rozmnožování a životní cyklus

Makroskopická stélka je tvořena gametofytem. Zástupci rodu *Caulerpa* se v přírodě rozmnožují především vegetativně, tedy nepohlavním rozmnožováním prostřednictvím fragmentace. Toho se využívá v komerční akvakultuře (Gao et al. 2019).

3.3.2. Charakteristika rodu *Codium*

Rod *Codium* je globálně velmi rozšířený rod a vyskytuje se ve většině světových moří a oceánů (Verbruggen et al. 2007).

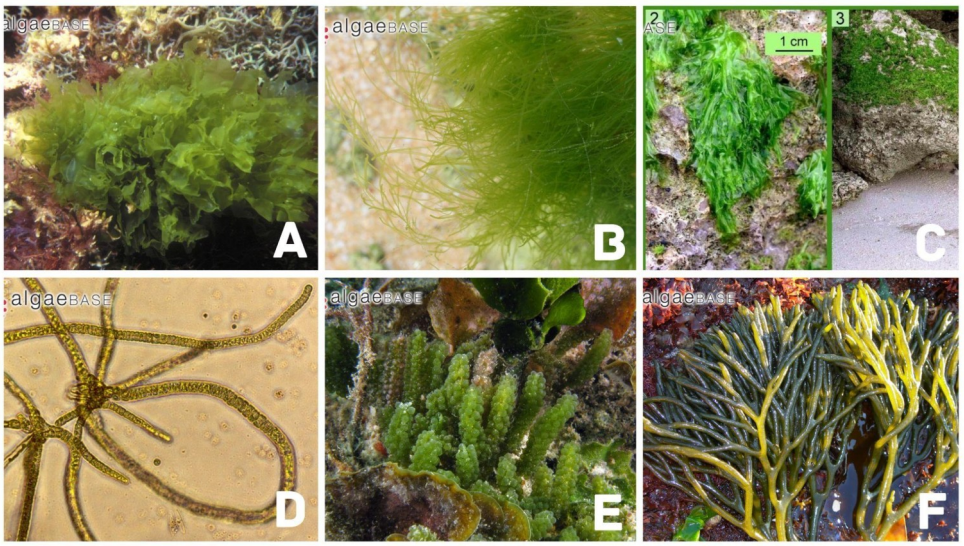
Morfologie stélky

Zástupci rodu *Codium* mají na rozdíl od jiných zástupců tohoto řádu komplexnější multiaxiální stélku, což znamená, že stélka neroste z jednoho centrálního vlákna, ale je tvořena svazkem mnoha propletených vláken (sifonů). Tato stélka může tvořit povlaky na tvrdém podkladu, kulovité útvary, nebo růst vzpřímeně ve formě prstovitých, větvených keříčků s válcovitými i zploštělými částmi. Anatomicky se stélka rozděluje na dvě části. Centrální část, tvořená propletenou sítí sifonů, se nazývá dřeň (medula). Druhá část, kůra (kortex), je vnější vrstva, kde se sifony stáčí směrem k povrchu. Na konci těchto vláken se

nachází zduřelé útvary, tzv. utrikuly, které jsou uspořádány těsně vedle sebe a tvoří tak souvislou vrstvu (kortex) (Verbruggen et al. 2007).

Rozmnožování a životní cyklus

V přirozeném prostředí se zástupci rodu *Codium* rozmnožují pohlavně. Na povrchu utrikulů v kůře vyrůstají gametangia. Po uvolnění a splynutí gamet vznikne zygota. V komerční akvakultuře se využívá nepohlavní vegetativní rozmnožování prostřednictvím fragmentace (Hwang, Baek, et al. 2008).



Obr. 4: Vybraní zástupci komerčně a farmakologicky významných zelených makrořas. (A) *Ulva lactuca*, (B) *Ulva prolifera*, (C) *Monostroma nitidum*, (D) *Capsosiphon fulvescens*, (E) *Caulerpa lentillifera*, (F) *Codium fragile*. *Fotografie převzaty a upraveny z elektronické databáze AlgaeBase (www.algaebase.org) (Guiry & Guiry 2022).*

4. Bioaktivní látky a jejich aplikace

Zelené mořské řasy ve svém přirozeném prostředí neustále čelí extrémním a měnícím se podmínkám, jako je např. výrazné kolísání salinity, teploty nebo intenzivnímu slunečnímu záření. Jako adaptaci na tyto stresové faktory si vyvinuly schopnost produkovat velké množství unikátních sekundárních metabolitů a bioaktivních látek, které se u suchozemských rostlin běžně nevyskytují. Biotechnologický a komerční potenciál zelených řas je ve srovnání s chaluhami a ruduchami zatím poměrně nedoceněný. Díky jejich specifickým chemickým vlastnostem jsou ale velmi slibným zdrojem (Xu et al. 2023).

4.1. Polysacharidy (ulvany)

Hlavní a nejvýznamnější složkou matrix buněčných stěn těchto řas jsou sulfatované polysacharidy, které jsou rozpustné ve vodě (Peasura et al. 2016).

Pro zástupce rodu *Ulva* jsou charakteristické takzvané ulvany, které tvoří především cukry xylosa, sulfatovaná rhamnosa a kyseliny glukuronová a iduronová. Struktura je znázorněna v Tabulce 1. Díky tomuto složení se ulvany strukturně velmi podobají savčím glykosaminoglykanům (jako je např. heparin nebo kyselina hyaluronová), které tvoří mezibuněčnou hmotu lidské kůže (Millotti et al. 2025). Ulvany mají mnoho farmakologických účinků. Vykazují například imunomodulační účinky, tedy dokážou aktivovat imunitní buňky. Laboratorní testy s ulvany izolovanými z druhu *Ulva pertusa* prokázaly, že stimulují makrofágy ke zvýšené produkci oxidu dusnatého a k expresi protizánětlivých cytokinů. Tím pomáhají modulovat imunitní odpověď a brání nadměrnému zánětlivému poškození tkání (Tabarsa et al. 2012).

Dále mají ulvany antikoagulační účinky, které byly *in vitro* i *in vivo* potvrzeny u polysacharidů z druhu *Ulva lactuca* (fotografie stélky tohoto druhu je uvedena na Obr. 4A). Podobně jako živočišný heparin, ovlivňují koagulační kaskádu. Mohou zasahovat do procesu srážení krve tím, že tlumí aktivitu enzymů, které způsobují krevní sraženiny (Reis et al. 2020). Kromě výše zmíněných účinků ulvany fungují také jako antivirotika. A to tak, že brání virové absorpci a vstupu viru do hostitelské buňky. Např. u ulvanů izolovaných z druhu *Ulva compressa* byla prokázána inhibiční aktivita proti herpes simplex viru (HSV) (Lopes et al. 2017).

Hojení ran

Podle Millotti et al. (2025) mají ulvany získávány z různých druhů (např. *Ulva lactuca*, *Ulva armoricana* či *Ulva fasciata*) velký potenciál zejména pro léčbu chronických a těžko se

hojících ran, jako jsou například diabetické vředy nebo vážné popáleniny. Dokáží potlačovat silný zánět, přímo stimulují proliferaci kožních fibroblastů a zvyšují syntézu kyseliny hyaluronové, která je velmi důležitá pro hojení ran (Millotti et al. 2025).

Vzhledem k tomu, že samotný ulvan je velmi snadno rozpustný ve vodě, tak gely z něj vytvořené nejsou moc pevné. Proto je nutné ho pro krytí ran chemicky upravit (hydrofobní modifikace) nebo míchat s dalšími biopolymery. Běžně se tak pro krytí ran kombinuje s chitosanem, alginátem, PVA (polyvinylalkoholem) nebo celulózou, ze kterých se vytváří hydrogely, nanovlákenné náplasti a tenké filmy. Přestože výsledky jsou velmi slibné, je však nutné podotknout, že využití ulvanů k tomuto účelu se zatím nachází ve fázi experimentálních *in vitro* a *in vivo* pokusů (Millotti et al. 2025).

Běžnému využití ulvanu ve farmaceutickém průmyslu brání jeden velký problém; složení ulvanu je v přírodě příliš proměnlivé, závisí totiž na mnoha faktorech. Záleží na tom, o jaký druh řasy se jedná, kde a v jakém ročním období vyrostla a jakou metodou se z řasy získává. Pokud se například při extrakci použije nevhodné pH nebo příliš vysoká teplota, může se struktura ulvanu poškodit a tím ztratí své léčivé vlastnosti. Aby mohly být v budoucnu ve velkém měřítku produkovány farmaceutické přípravky z ulvanu, je nutné lépe pochopit vztah mezi jeho strukturou a biologickými účinky v těle. Dále se musí standardizovat metody jeho extrakce, aby měl získaný produkt vždy stálou a spolehlivou kvalitu (Millotti et al. 2025).

4.2. Lektiny

Lektiny jsou specifické proteiny (často glykoproteiny), které jsou schopné se vázat na specifické sacharidy. Přirozeně se vyskytují v pletivech zelených makrořas, a to například u rodů *Caulerpa* a *Codium*. Ačkoli jsou u mořských řas intenzivně zkoumány, výzkum se dříve zaměřoval spíše na ruduchy. Lektiny zelených řas jsou prozkoumány podstatně méně (Carneiro et al. 2020). Na rozdíl od rostlinných lektinů, často nevyžadují pro svou aktivitu kovové ionty (Ca^{2+}, Mn^{2+}) (Praseptiangga et al. 2012).

Caulerpa

Lektiny izolované z rodu *Caulerpa* se zkoumají především pro svou schopnost tlumit záněty a bolest. Známým příkladem je lektin získávaný z druhu *Caulerpa cupressoides* (označovaný zkratkou CCL). Laboratorní *in vivo* testy na potkanech ukázaly, že tato látka vykazuje silné protizánětlivé a antinociceptivní (bolest tlumící) účinky (Vanderlei et al. 2010).

Codium

Mezi zelenými řasami jsou lektiny ze zástupců rodu *Codium* nejlépe prozkoumány (Praseptiangga et al. 2012). V současnosti se výzkum soustředí zejména na druh *Codium isthmocladum*. Byly z něj izolovány lektiny (CiL-1 a CiL-2), které umí bojovat proti patogenním bakteriím. Ačkoliv samy o sobě bakterie nezabíjejí, dokáží inhibovat tvorbu bakteriálních biofilmů u kmenů *Staphylococcus aureus* a *Staphylococcus epidermidis*. A to tak, že se pevně navážou na polysacharidové struktury v jejich buněčných stěnách nebo v extracelulární matrix. Tím bakteriím znemožní shlukování do odolných kolonií. Protože kmeny rodu *Staphylococcus* patří k nejčastějším zdrojům infekcí spojených s tvorbou biofilmů na lékařských implantátech, mají tyto lektiny velký potenciál pro využití k prevenci před chronickými a rezistentními infekcemi (Carneiro et al. 2020).

4.3. Pigmenty

Zelené makrořasy jsou bohatým přírodním zdrojem fotosyntetických pigmentů, které lze rozdělit do dvou hlavních skupin: chlorofyly a karotenoidy. V přirozeném prostředí slouží tyto látky především k zachytávání světelné energie a k ochraně řasy před oxidativním stresem, který způsobuje nadměrné sluneční záření (Torregrosa-Crespo et al. 2018). V současné době však tyto pigmenty poutají pozornost farmaceutického a potravinářského průmyslu díky svým zdravotním benefitům (Gomes et al. 2022).

Typické zbarvení zelených řas způsobují chlorofyly *a* a *b*. Kromě toho, že se dají využít jako bezpečná přírodní barviva v potravinářství, fungují chlorofyly v lidském těle jako antioxidanty (Lanfer-Marquez et al. 2005). Studie ukazují, že nejen samotné chlorofyly, ale i produkty jejich degradace mají zajímavé bioaktivní vlastnosti. Například feofytin *a* (derivát chlorofylu *a*), který byl izolován z druhu *Ulva prolifera* (fotografie stélky *U. prolifera* je uvedena na Obr. 4B), působí protizánětlivě a má schopnost potlačovat množení nádorových buněk (Moreira et al. 2022).

Z farmaceutického hlediska jsou významnější skupinou karotenoidy. U zelených řas (například u zástupců rodů *Caulerpa*, *Codium* či *Ulva*) se výzkumy zaměřují hlavně na dva specifické xantofyly sifonaxanthin a fukoxanthin.

Sifonaxanthin je specifický keto-karotenoid nacházející se např. u druhů *Caulerpa lentillifera* a *Codium fragile*. Fotografie stélek těchto druhů jsou znázorněny na Obr. 4 (Obr. 4E: *Caulerpa lentillifera*, Obr. 4F: *Codium fragile*). Jedná se o velmi efektivní látku v boji proti rakovině. V laboratorních podmínkách bylo prokázáno, že sifonaxanthin izolovaný z druhu *Codium fragile* spouští apoptózu nádorových buněk, což bylo pozorováno například u

buněk lidské leukémie (HL-60) (Ganesan et al. 2011). Navíc působí silně antiangiogenně, tedy dokáže zabránit tvorbě nových krevních cév, které nádor potřebuje ke svému růstu a šíření (Ganesan et al. 2010).

Přestože je fukoxanthin považován primárně za pigment stramenopilních řas, jeho přítomnost byla prokázána i v zelených řasách (např. *Ulva prolifera* nebo *Codium fragile*) (Li et al. 2021). Většina klinických studií zaměřených na farmakologické účinky fukoxanthinu využívá extrakty z hnědých řas, ale vzhledem k identické chemické struktuře molekuly lze předpokládat podobný biologický potenciál i u fukoxanthinu izolovaného ze zelených řas. Struktura je znázorněna v Tabulce 1. Fukoxanthin působí jako silný antioxidant. Dokáže vychytávat volné radikály a chránit buňky před oxidativním poškozením. A to dokonce i v anoxickém prostředí, což je pro medicínu důležité, protože většina tkání v lidském těle se přirozeně nachází v prostředí s nízkým obsahem kyslíku, kde ostatní karotenoidy své antioxidační účinky ztrácejí (Torregrosa-Crespo et al. 2018). Dále má schopnost tlumit záněty, jelikož inhibuje důležité signální dráhy. Tím dochází ke snížení genové exprese pro prozánětlivé cytokiny, což jsou signální proteiny nutné pro spuštění a udržení zánětlivé reakce. Zablokování jejich produkce tedy zamezí dalšímu rozvoji zánětu v tkáních (Rengasamy et al. 2020).

Fukoxanthin má velký potenciál v prevenci a léčbě obezity. Aktivně ovlivňuje metabolismus tuků tím, že v bílé tukové tkáni stimuluje expresi proteinu UCP1. Tento protein umožňuje přeměnu energie z oxidace mastných kyselin na teplo (tzv. adaptivní termogeneze) místo toho, aby se energie dále ukládala do tukových zásob (Maeda et al. 2005). Tyto výsledky potvrzují i klinické studie u obézních pacientů, kde pravidelné podávání fukoxanthinu vedlo ke snížení tělesné hmotnosti, objemu tělesného tuku a snížení krevního tlaku (Abidov et al. 2010).

Z druhů *Codium fragile* a *Caulerpa lentillifera* lze získávat karotenoid kanthaxanthin. Studie Ahn et al. (2021) prokázala, že orální podávání extraktů z *Codium fragile* stimuluje syntézu bílkovin a tvorbu oxidativních svalových vláken, což u myší vedlo k nárůstu svalové hmoty a zvýšení vytrvalosti při cvičení. Díky těmto účinkům má tento kanthaxanthin potenciální využití v doplňcích stravy pro sportovce a v léčbě sarkopenie (stářím způsobeného úbytku svalové hmoty) (Ahn et al. 2021).

4.4. Fenolické sloučeniny

Fenolické sloučeniny jsou sekundární metabolity, které řasy produkují v reakci na stresové faktory (např. mechanické poškození, výkyvy salinity, UV záření nebo poškození herbivory). Základním strukturním znakem těchto sloučenin je aromatické jádro, na které se váže jedna nebo více hydroxylových skupin. U zelených řas se nachází především bromfenoly, fenolové kyseliny a flavonoidy (Flodin et al. 1999).

Antioxidační účinky

Fenolové kyseliny a flavonoidy působí jako silné antioxidanty, které vychytávají volné radikály a chrání tak buňky před oxidačním stresem. Vysokou antioxidační aktivitu vykazují metanolické a etanolové extrakty z mnoha zástupců rodu *Ulva*, mezi které patří např. druhy *Ulva clathrata*, *U. intestinalis*, *U. linza* nebo *U. flexuosa*. Velmi dobré schopnosti vychytávat volné radikály byly prokázány i u rodu *Capsosiphon* (konkrétně u druhu *Capsosiphon fulvescens*, jehož stélka je zobrazena na Obr. 4D) (Cho et al. 2010). Rod *Caulerpa* (např. druh *Caulerpa corynephora*) je také cenným zdrojem flavonoidů s antioxidačními vlastnostmi. Byly u něj nalezeny látky jako je kempferol, kvercetin a rutin (struktura rutinu je uvedena v Tabulce 1). (Tanna et al. 2019).

Protinádorové účinky

Fenolické extrakty z některých zelených řas mají schopnost inhibovat růst rakovinných buněk. Metanolické extrakty z druhu *Ulva lactuca* bohaté na flavonoidy vykazují cytotoxické účinky vůči buňkám lidského kolorektálního karcinomu. Tyto látky dokážou už při velmi nízkých koncentracích narušit buněčný cyklus a zastavit tak další množení nádorových buněk. Podobný protinádorový potenciál (konkrétně u karcinomu prsu) se potvrdil také u fenolických frakcí izolovaných z druhů *Ulva clathrata* a *Ulva flexuosa*. Oproti tomu metanolický extrakt z druhu *Codium tomentosum* měl jen velmi slabou schopnost brzdit růst nádoru, což pravděpodobně souvisí s tím, že tento druh obsahuje fenolických látek mnohem méně (Alghazeer et al. 2016).

Antidiabetické účinky

Flavonoidy extrahované ze zelených řas jsou testovány v rámci léčby a prevence diabetu, protože dokáží pomáhat s regulací metabolismu krevního cukru. U vodně-etanolových extraktů z druhu *Ulva prolifera* (bohatým na flavonoidy) bylo při experimentech na myších zjištěno, že snižují hladinu glukózy v krvi a tlumí záněty, čímž chrání játra a ledviny před

poškozením (Yan et al. 2019). Antidiabetické účinky mají také etanolové extrakty z rodu *Caulerpa* (např. *Caulerpa lentillifera*), které stimulují sekreci inzulinu pankreatickými buňkami a zvyšují absorpci glukózy (Sharma & Rhyu 2022).

Antimikrobiální účinky

Zelené řasy produkují sekundární metabolity a fenoly jako přirozenou ochranu proti mikroorganismům. Například fenolické frakce z druhu *Ulva flexuosa* mají kromě protinádorových účinků také velmi dobrou antibakteriální aktivitu. Metanolické a etanolové extrakty z dalších druhů, jako jsou *Ulva lactuca*, *U. linza* či *U. intestinalis*, inhibují růst celé řady patogenů a mají antihemolytické účinky (zabraňují rozpadu červených krvinek) (Farasat et al. 2014). *In vitro* testování metanolických extraktů z *U. lactuca* potvrdilo jejich schopnost potlačovat růst bakterií, jako jsou *Salmonella typhi* či *Staphylococcus aureus* (Elnabris et al. 2022).

Polyfenoly a další fenolické látky získávané z druhu *Caulerpa lentillifera* působí proti různým patogenním kmenům, např. *Escherichia coli*, *Streptococcus* sp., *Staphylococcus aureus* a *Salmonella* sp. Tyto látky dokážou narušovat propustnost buněčné membrány bakterií a zasahovat do jejich enzymatických systémů, čímž spouští apoptózu (Nagappan & Vairappan 2014). U druhu *Caulerpa racemosa* navíc některé specifické fenolické sloučeniny (prenylované paraxyleny) vykazují antifungální aktivitu vůči patogenním kvasinkám *Candida glabrata* a *Cryptococcus neoformans* (Gomes et al. 2022).

Hypnotické účinky

Fenolické látky obsažené ve druhu *Codium fragile* mají hypnotické účinky. Aby se však tento potenciál mohl co nejvíc využít, je nutné odsolení biomasy. Výzkumy potvrdily, že čím více soli se z řasy odstraní, tím více se v extraktu fenolické látky koncentrují, což vede k výraznému prodloužení spánku. U testovaných modelů odsolený extrakt významně prodloužil celkovou dobu spánku a zvýšil podíl hluboké fáze (NREMS, z angl. non-rapid eye movement sleep). Důležité je, že tyto látky nenarušují fyziologickou kvalitu spánku, což potvrdilo měření mozkových delta vln (Park et al. 2024).

4.5. Alkaloidy

Z farmakologického hlediska představují velmi atraktivní skupinu látek také alkaloidy. Mezi ty nejlépe prozkoumané patří caulerpin, získávaný ze zástupců rodu *Caulerpa*. Tento sekundární metabolit působí silně antinociceptivně (dokáže tlumit bolest) (Rengasamy et al.

2020) a vykazuje prokazatelné protizánětlivé účinky. V laboratorních testech *in vitro* tento alkaloid silně snižoval produkci prozánětlivých cytokinů i oxidu dusnatého (NO) u makrofágů (Dos Santos et al. 2025). Dále má i antivirové účinky. Byla u něj například zjištěna vysoká schopnost vázat se na specifické receptory viru SARS-CoV-2, čímž brání jeho replikaci. Bylo to zjišťováno pomocí *in silico* modelování (počítačové modelování) (Ahmed et al. 2020).

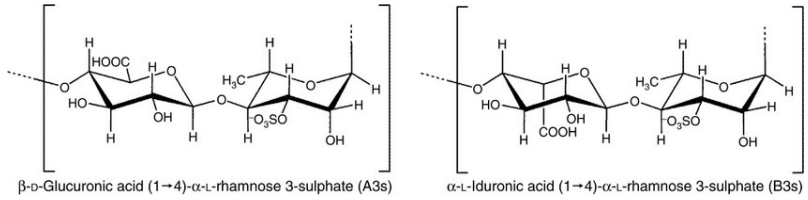
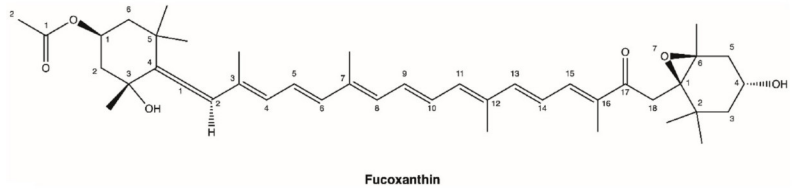
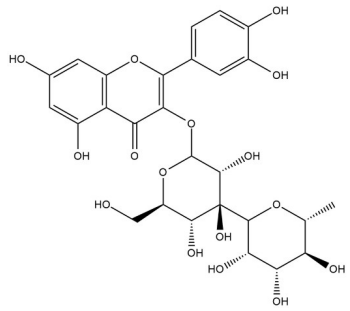
4.6. Steroly

Zelené řasy, specificky rody *Ulva* a *Codium*, obsahují cenné steroly. Nejvíce je zastoupen cholesterol, ergosterol a pro řasy specifický 28-isofukosterol (Kendel et al. 2015). Tyto rostlinné steroly mají silné protizánětlivé účinky a v lidském organismu pomáhají snižovat hladinu LDL cholesterolu, čímž snižují rizika vzniku kardiovaskulárních onemocnění (Jones et al. 2000). Zvláštní pozornost vědci věnují klerosterolu, který se izoluje z druhu *Codium fragile*. U této látky byla prokázána schopnost spouštět apoptózu u buněk lidského melanomu (Kim et al. 2013).

4.7. Terpeny

Další rozsáhlou podskupinou sekundárních metabolitů jsou v zelených řasách terpeny (např. diterpeny či seskviterpeny). Rostlinám v přírodě slouží jako chemická obrana proti býložravcům. Pro moderní medicínu jsou atraktivní díky své cytotoxicitě, díky které se dají využívat k inhibici růstu nádorových buněk a patogenních bakterií (Xu et al. 2023). Např. u derivátu sekviterpenu izolovaného z druhu *Ulva fasciata* výzkumy potvrdily cytotoxické účinky proti buňkám karcinomu prsu (Pragna Lakshmi et al. 2018).

Tab. 1: Strukturní vzorce vybraných bioaktivních látek izolovaných ze zelených makrořas. Zdroje schémat vzorců: ulvan *(převzato a upraveno z Anbuchezhian et al. (2015))*, fukoxanthin *(převzato a upraveno z Rengasamy et al. (2020))*, rutin *(převzato a upraveno z Vijayaraj et al. (2020))*.

Strukturní vzorec	**Název látky (typ látky)**
	Ulvan (sulfátovaný polysacharid) Dvě nejčastěji se opakující disacharidické jednotky v makromolekule ulvanu
	Fukoxanthin (karotenoid)
	Rutin (flavonoid)

5. Kultivace a konzumace

Zatímco v asijských zemích, jako je například Japonsko, Čína nebo Filipíny, jsou mořské řasy v místní kuchyni využívané a ceněné už tisíce let (De Gaillande et al. 2017), ve zbytku světa tomu tak vždy nebylo. V Evropě a Americe se dříve konzumovaly spíše z nouze a jedli je hlavně chudší lidé žijící na pobřeží. Dnes se ale tento pohled celosvětově mění a zájem o zelené řasy stoupá. A to nejen díky současnému trendu zdravého stravování, ale také díky tomu, že řasy představují udržitelný a ekologický zdroj potravy (Hofmann et al. 2025).

Z nutričního hlediska jsou zelené řasy velmi hodnotnou surovinou. Vyznačují se nízkým obsahem tuku s vysokým podílem esenciálních mastných kyselin, zejména omega-3 a omega-6 (Ortiz et al. 2009). Kromě toho slouží jako výborný zdroj kvalitních bílkovin a komplexních sacharidů (Peña-Rodríguez et al. 2011). Velkým benefitem je také vysoké zastoupení vlákniny, která pomáhá trávení, udržovat stabilní hladinu krevního cukru a snižuje cholesterol (Mansoor et al. 2024b). V neposlední řadě fungují jako skvělý přírodní zdroj vitamínů a důležitých minerálů, např. vápníku, hořčíku, železa nebo zinku (Peña-Rodríguez et al. 2011).

5.1. *Ulva*

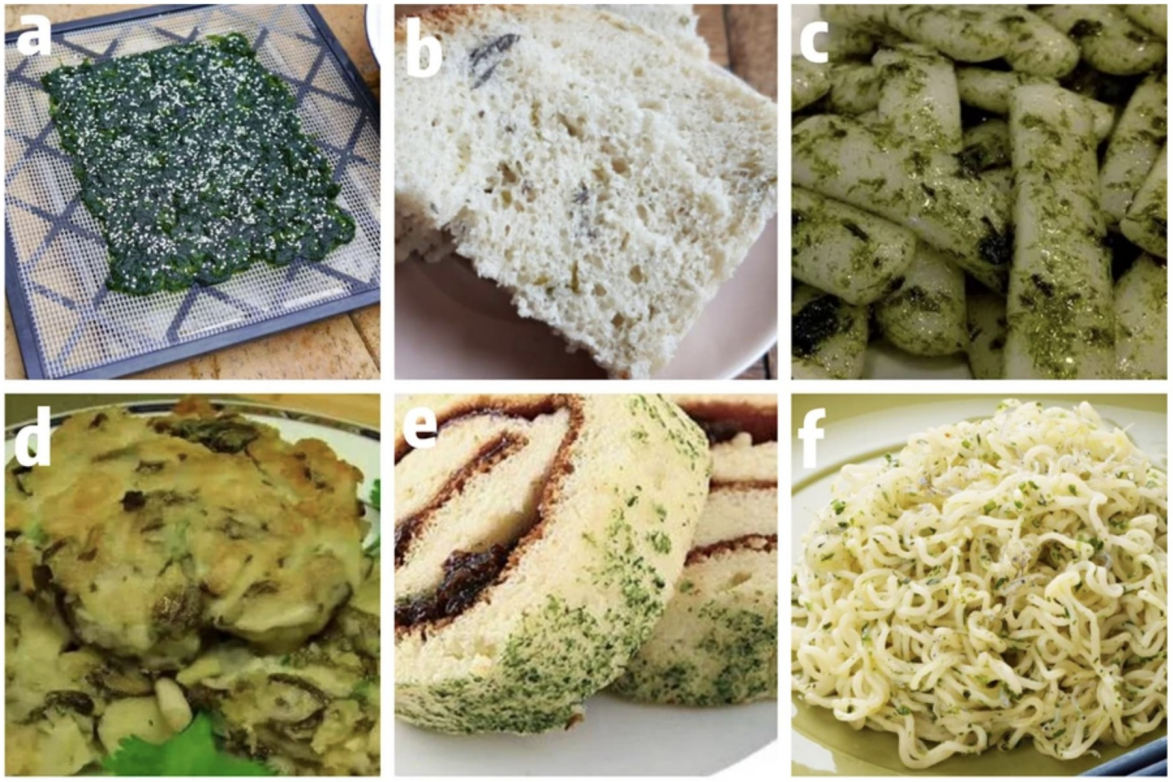
Konzumace a regionální kontext

Zástupci rodu *Ulva* představují jednu z nejvýznamnějších a nejčastěji konzumovaných skupin zelených řas. V Evropě zatím tyto řasy, známé jako „mořský salát“ nejsou v místní kuchyni běžné, ale v Japonsku a Jižní Koreji mají dlouhou kulinářskou tradici (Hofmann et al. 2025). V Japonsku je nalezneme v produktech nazývaných tradičními názvy jako „aonori“ nebo „gamtae“ (Moreira et al. 2022). Využívají se jak čerstvé (jako součást salátů), tak i sušené do tenkých plátků (Obr. 5A), kterými se dochucují polévky, rýžové pokrmy, smažené placičky (Obr. 5D), krekry nebo různé kořenící směsi (Peña-Rodríguez et al. 2011). Pro produkci koření „aonori“ se zde tradičně pěstuje a sbírá především druh *Ulva prolifera*. Na jihozápadním pobřeží Jižní Koreje se pod názvem „parae“ ke konzumaci využívá celý komplex blízce příbuzných druhů, mezi které patří například *Ulva prolifera, U. compressa*, *U. intestinalis*, *U. linza* či *U. clathrata* (Hwang & Park 2020).

V moderním západním potravinářství se s ohledem na udržitelnost a vysokou nutriční hodnotu začíná o rodu *Ulva* mluvit jako o „pšenici moře“. Řasa se zde využívá jako obohacující složka do běžných potravin. Studie ukazují, že přídavek sušeného druhu *Ulva lactuca* v koncentraci 1 až 4 % do pšeničného pečiva, těstovin a nudlí (Obr. 5C a F), knedlíků

(Obr. 5B a E) a dokonce i do masových nebo veganských burgerů výrazně zlepšuje jejich nutriční profil (především zvýšením podílu vlákniny a minerálů), aniž by se zhoršila výsledná chuť nebo struktura jídla. Její konzumace je výborným způsobem, jak doplnit železo, které často chybí ve stravě, která je založená převážně na obilovinách nebo u vegetariánů (Hofmann et al. 2025).

Ulva má výborný nutriční profil. Obsah bílkovin se u většiny druhů pohybuje mezi 15 a 27 % suché hmotnosti. U jedinců pěstovaných ve vodě s dostatkem živin může přesáhnout i 30 %. Tyto hodnoty jsou srovnatelné s luštěninami, ale řasy mají navíc tu výhodu, že obsahují velmi dobrý poměr esenciálních aminokyselin (Peña-Rodríguez et al. 2011). Největší podíl sušiny tvoří sacharidy, z nichž velká část je tvořena vlákninou (její obsah se může pohybovat od 25 % až po 60 % podle druhu). Jedná se o rozpustnou formu vlákniny, která funguje jako prebiotikum a podporuje zdravou střevní mikroflóru (Peña-Rodríguez et al. 2011). Tato řasa je také bohatým přírodním zdrojem minerálů a stopových prvků, hlavně vápníku, hořčíku, draslíku, zinku a železa (Li et al. 2018).



Obr. 5: Pokrmy připravené ze stélek vybraných zástupců rodu *Ulva*. **(**A) sušené plátky *Ulva lactuca*, (B) knedlíky obohacené práškem z *U. intestinalis*, (C) těstoviny obohacené práškem z *U. clathrata*, (D) smažené placičky ochucené *U. clathrata*, (E) knedlíky obohacené práškem z *U. lactuca*, (F) nudle obohacené práškem z *U. intestinalis*. *Převzato a upraveno z Xu et al. (2023).*

Kultivace

Tradičně se *Ulva* pěstuje na otevřeném moři nebo v ústích řek, kde se naočkované sítě upevňují na kůly v mělkých a klidných vodách, kde jsou řasy během odlivu pravidelně vystavovány vzduchu. Tímto způsobem se v Japonsku pěstují především vláknité druhy rodu *Ulva* určené na výrobu koření „aonori" (Hiraoka & Oka 2008). Rostoucí poptávka ale vedla k rozvoji komerční akvakultury. V moderní akvakultuře se stále více využívají kontrolované systémy (z angl. land-based systems). Výhodou těchto systémů je vyšší kontrola nad parametry kultivace, zajištění standardizované kvality biomasy a výrazně snížené riziko kontaminace z okolního prostředí (Mendoza et al. 2018).

Pro maximální produkci biomasy v komerčním měřítku se v současnosti využívá především kultivace v mělkých drahách, kde je voda poháněna lopatkovým kolem (z angl. raceways). Tyto systémy jsou úspěšně využívány např. v Jihoafrické republice (Bolton et al. 2009). Na druhou stranu existují systémy určené primárně pro laboratorní experimenty. K těmto účelům se často využívají menší hluboké nádrže, kde se řasy neustále převalují ve vodním sloupci díky silnému provzdušňování (z angl. tumble culture). Tento přístup využívají například vědci v Brazílii. Z ekologického i ekonomického hlediska je výhodné začlenění rodu *Ulva* do tzv. integrované multitrofické akvakultury (IMTA). V těchto systémech smíšené akvakultury fungují řasy jako biologické filtry. Odstraňují rozpuštěné živiny (hlavně dusík) z vody, do které je přirozeně produkují chovaní živočichové (např. ryby nebo krevety) (Nardelli et al. 2019). Nejenže se tím snižuje negativní ekologický dopad chovů na okolní prostředí, ale zároveň se produkuje biomasa řas, kterou lze využít jako doplňkové krmivo pro tyto chované živočichy nebo i pro lidskou konzumaci (Bolton et al. 2009).

Evropským příkladem komerčního využití IMTA pro lidskou konzumaci je Portugalsko (pobřežní oblast Aveiro). Zdejší společnost ALGAplus pěstuje druh *Ulva rigida* přímo v nádržích s vodou z přilehlých chovů mořských ryb. Aby se z této biomasy stala bezpečná potravina, musí se hned po sklizni upravit procesem blanšírování (krátké spaření), které sníží mikrobiologické riziko z okolní vody a zároveň odstraní nežádoucí rybí zápach (Hofmann et al. 2025).

Ačkoliv se technologie akvakultury neustále vyvíjejí, velká část celosvětově konzumované biomasy rodu *Ulva* je stále získávána přímým sběrem z volně rostoucích přírodních populací, především v asijských zemích. Příkladem intenzivního sběru z přírody je Čína, konkrétně pobřežní oblasti Žlutého moře. V této lokalitě se pravidelně tvoří tzv. zelené

přílivy (z angl. green tides), které jsou tvořeny převážně druhem *Ulva prolifera* (Li et al. 2021). Sběr volně rostoucí biomasy má dlouhou tradici také v Japonsku a Jižní Koreji. Přestože v těchto zemích dnes funguje komerční akvakultura, do tradičních asijských produktů (např. koření „aonori“) se historicky sbíraly a často i dnes jako příměs přidávají různé divoce rostoucí druhy rodu *Ulva* z místních pobřežních vod (Moreira et al. 2022).

Ekologie

Z ekologického hlediska jsou zástupci rodu *Ulva* specifičtí svou schopností extrémně rychlého růstu a vysoce efektivní asimilace živin, zejména dusíku (N) a fosforu (P), z okolního prostředí. Kvůli tomu v oblastech s vysokým přísunem živin dochází k masivnímu přemnožení těchto řas. Typickým příkladem jsou tzv. zelené přílivy (z angl. green tides) tvořené druhem *Ulva prolifera* ve Žlutém moři v Číně. Na jednu stranu se jedná o velký ekologický problém, ale zároveň to nabízí významný a udržitelný zdroj pro sběr a následné využití v potravinářství (nebo pro extrakci bioaktivních látek) (Li et al. 2018). Na tento přírodní zdroj se však nelze spoléhat. Hlavním problémem je velká variabilita a nepravidelnost přesného množství a kvality takto získané biomasy. Vzhledem k nestabilitě v dostupnosti volně rostoucí biomasy jsou jakékoliv větší finanční investice do technologií na zpracování biomasy riskantní (Calheiros et al. 2021).

5.2. *Monostroma*

Konzumace a regionální kontext

Zástupci rodu *Monostroma* jsou z hlediska objemu celosvětově nejintenzivněji pěstovaná skupina zelených řas. Tvoří více než 90 % celkové produkce zelených makrořas z akvakultury. Tyto řasy jsou konzumovány především v asijských zemích (Japonsko, Čína, Jižní Korea), ale i v Brazílii nebo na pobřeží Ameriky u Tichého oceánu (Kaur et al. 2023).

Nejvýznamnějším komerčním produktem v Japonsku je tzv. „hitoegusa“ (místní označení pro druh *Monostroma latissimum*), která má nejvyšší tržní hodnotu z pěstovaných zelených řas. Z této řasy se tradičně vyrábí například „tsukudani-nori“ (hustá pasta vařená v sójové omáčce) nebo „hoshi-nori“ (sušené tenké plátky, které se používají jako obal na sushi) (Kaur et al. 2023). V Jižní Koreji jsou zástupci rodu *Monostroma* (druhy *M. grevillei* a *M. nitidum*) známí pod názvem „hotparae“ a využívají se do polévek, čerstvých salátů nebo kořenících směsí (Hwang & Park 2020). Často se také míchá se zástupci rodu *Ulva* (konkrétně *U. prolifera*) do směsi koření známé jako „aonori“. Podobně jako u zástupců rodu

Ulva se i prášek ze stélek rodu *Monostroma* (např. z druhu *M. nitidum*) v moderním potravinářství přidává do těstovin a nudlí. Tento přídavek nejen zvyšuje podíl vlákniny, ale také zlepšuje schopnost nudlí absorbovat vodu, čímž vzniká jemnější textura jídla (Kaur et al. 2023).

Zástupci rodu *Monostroma* mají skvělý nutriční profil. Až 40 % sušiny tvoří sacharidy a obsahují velké množství vlákniny. Obsah proteinů je také vysoký, u druhu *M. undulatum* dosahuje až 22 % sušiny. Dále jsou bohatým zdrojem vápníku, draslíku, hořčíku a železa (Mansoor et al. 2024a).

Kultivace

Pro produkci biomasy určené primárně ke konzumaci se v asijských zemích historicky využívala přirozená metoda impregnace pěstebních sítí nebo lan (z angl. natural seeding method). Tato metoda funguje tak, že se do moře nebo ústí řek (např. v zátoce Ise v Japonsku) umístí pěstební sítě nebo lana, na která se přichytávají volně plovoucí spory volně rostoucích populací. Hlavním problémem této tradiční metody je její nespolehlivost, protože úspěšnost usazení spor se mění v závislosti na výkyvech přírodních podmínek.

Pro komerční masovou produkci se proto dnes využívá primárně umělá impregnace sítí (z angl. artificial seeding method), která se uplatňuje např. v ústí řeky Shimanto (prefektura Kóči) v Japonsku. Jedná se o kontrolovaný proces, při kterém se sítě impregnují cíleně, často v laboratorních podmínkách nebo v kontrolovaných nádržích. Z dospělých stélek se oschnutím, změnou teploty a silným osvětlením spouští uvolnění gamet. Ty se nechají *in vitro* splynout a vznikají zygoty, které se přichytí na plastové desky a poté rostou 4 až 5 měsíců v nádržích s kontrolovanými podmínkami, dokud nedorostou do kodiolového stádia představujícího sporofyt. Ze sporofytů se následně uvolní pohyblivé zoospory a do nádrží se ponoří pěstební sítě, aby se na ně zoospory přichytily. Tyto sítě se poté přesunou do pobřežních mělkých vod, kde jsou horizontálně napnuty na kůlech v takové výšce, aby na ně při přílivu dosáhla voda, ale při odlivu byly pravidelně vystavovány vzduchu. Největší výhodou umělého nasazování je nezávislost na výkyvech přírodních podmínek, což farmářům zaručuje stabilní zisk velkého množství biomasy (Hwang, Baek, et al. 2008).

Aby bylo možné řasy pěstovat i v oblastech mimo přímé mořské pobřeží (například v Indii), testují se v současné době plně kontrolované systémy umělých nádrží (Kaur et al. 2023). Tyto systémy jsou zatím využívány primárně pro laboratorní experimenty. Vědci zde v menších testovacích nádržích zkoumají vliv různých hodnot salinity, teploty a světelných podmínek na rychlost růstu řasy. Cílem těchto experimentů je vyvinout nákladově efektivní,

snadno škálovatelnou a robustní metodiku, kterou by v budoucnu bylo možné využít pro založení skutečné masové velkoprodukce i v oblastech mimo přímé mořské pobřeží (Kavale et al. 2020b).

Ekologie

Jelikož zástupci rodu *Monostroma* přirozeně rostou v mělkých pobřežních vodách, jsou zvyklí na výrazné kolísání podmínek a na přísun látek z pevniny. Společně se zástupci rodu *Ulva* patří k nejtolerantnějším druhům vůči eutrofizaci, kterou způsobují odpadní a zemědělské vody. Má schopnost absorbovat z vody mnohem větší množství fosforu a dusíku, než potřebuje pro svůj růst. Díky tomu funguje jako skvělý přírodní biofiltr, který brání eutrofizaci pobřežních vod (Kaur et al. 2023). Tento přijatý dusík se ale ve stélce neakumuluje v anorganické formě (jako např. toxické dusičnany). Řasa ho efektivně metabolizuje a zabudovává do organických sloučenin, čímž je produkována biomasa s vysokým obsahem cenných proteinů, aminokyselin a pigmentů (Nardelli et al. 2019).

5.3. *Capsosiphon*

Konzumace a regionální kontext

Zelená makrořasa rodu *Capsosiphon* představuje především v Jižní Koreji tradiční kulinářskou surovinu. Nejvýznamnějším druhem je *Capsosiphon fulvescens* (Hwang, Amano, et al. 2008). Na lokálním trhu je tato řasa známá pod tradičním názvem „maesaengi“. Je atraktivní díky své jedinečné chuti a velmi jemné, měkké textuře. Konzumuje se čerstvá a používá se do polévek, do kterých se často přidává v kombinaci s ústřicemi (Hwang & Park 2020).

Největší podíl sušiny tvoří sacharidy (45,3 %), obsahuje i poměrně velké množství proteinů (29,5 %) a podíl lipidů je téměř zanedbatelný (0,9 %). Obsahuje velké množství vlákniny. Dále obsahuje esenciální minerály jako sodík, hořčík, draslík, vápník a hliník. Oproti jiným zeleným řasám má vysoký obsah vitamínu A a C (Hwang, Amano, et al. 2008).

Kultivace

Pěstování této řasy probíhá pomocí specializovaných kultivačních sítí zavěšených v pobřežních vodách (Hwang, Amano, et al. 2008). V současnosti se velké farmy na pěstování *Capsosiphonu* nachází na jihozápadním pobřeží Jižní Koreje. Kultivace tohoto druhu je specifická svou krátkou pěstební sezónou, která je omezena pouze na zimní měsíce. Sběr

probíhá od prosince do února. Odborné biochemické analýzy navíc ukazují, že přesné načasování sklizně v tomto krátkém okně má přímý vliv na nutriční složení biomasy (Sun et al. 2012).

Ekologie

Korejští farmáři tuto řasu původně nepěstovali záměrně, ale naopak ji likvidovali jako plevel, který jim zarůstal sítě určené pro chov červené řasy rodu *Porphyra*. Později však farmáři zjistili, že její výkupní cena se na korejském trhu pohybuje mezi 0,9 až 5,5 USD (cca 19 až 116 Kč) za kilogram (v mokré váze), což je dvakrát až čtyřikrát více než u běžně konzumovaných řas, jako jsou např. zástupci rodu *Ulva*. Z ekonomických důvodů se tedy farmáři rozhodli začít zástupce rodu *Capsosiphon* řízeně pěstovat (Hwang, Amano, et al. 2008).

5.4. *Caulerpa*

Konzumace a regionální kontext

Přestože rod *Caulerpa* zahrnuje více než sto druhů, pro lidskou konzumaci se ve velkém využívají pouze dva. Komerčně významné jsou druhy *Caulerpa lentillifera* a *C. racemosa*. Díky své specifické stavbě (vzpřímené stélky s drobnými kulovitými větévkami) a textuře, která při skousnutí praská, jsou celosvětově známé pod názvy „mořské hrozny“ (z angl. sea grapes) nebo „zelený kaviár“ (z angl. green caviar) (De Gaillande et al. 2017). V lokálních jazycích (např. na Filipínách nebo v Malajsii) se často označují jako „lato“, „latok“ nebo „nama“ (Ismail et al. 2024). Tradičně se konzumují syrové a čerstvé ve formě salátů, často ochucené citronovou šťávou nebo kokosovým mlékem. Případně se konzervují v solném nálevu, protože mají velmi krátkou trvanlivost. I když se v oblastech jihovýchodní Asie a Tichomoří konzumují oba druhy, z hlediska komerční akvakultury převažuje druh *C. lentillifera*, a to díky své jemnější chuti a křehčí textuře (Ismail et al. 2024).

Z hlediska výživy jsou řasy rodu *Caulerpa* bohaté na antioxidanty, vlákninu, proteiny a vitamíny (zejména C, E a B12). Obsahují velké množství polynenasycených mastných kyselin (PUFA), včetně omega-3 a omega-6 mastných kyselin. Tyto řasy jsou navíc bohatým zdrojem minerálů (vápníku, hořčíku, draslíku a železa).

Kultivace

Pěstování zástupců rodu *Caulerpa* je relativně snadné, protože se výborně množí fragmentací (úlomky plazivých stolonů a rhizomů se samy uchytí a zregenerují v novou stélku). Mezi hlavní pěstební metody patří pěstování na dně lagun, což je tradiční metoda využívaná na Filipínách už od 50. let 20. století. Řasy se vsazují přímo do bahnitého nebo písčitého dna mělkých přílivových rybníků (často v bývalých mangrovových oblastech). Z ekologických důvodů se ale od této metody začíná upouštět a přeměna mangrovů na rybníky je dnes na mnoha místech zakázána (De Gaillande et al. 2017). Moderněji se řasy pěstují v mořských zálivech v plastových klecích, síťových tubusech nebo na platech, která jsou zavěšená ve vodním sloupci a nedotýkají se mořského dna (Tanduyan et al. 2013). Aby se dosáhlo co největší čistoty biomasy a řasy byly bezpečné pro lidskou konzumaci, tak se *Caulerpa* pěstuje ve vnitřních nebo venkovních betonových nebo sklolaminátových nádržích s filtrací vody a provzdušňováním, které jsou přikryté, aby byly chráněny před vnějšími vlivy. Na dně nádrží je bahnitý písek, do kterého se fragmenty stélek druhů rodu *Caulerpa* zasazují (De Gaillande et al. 2017).

Ekologie

K velkému ekologickému problému dochází v oblastech, kde roste komerční poptávka a řasy jsou sbírány ze svých přirozených stanovišť. Příliš intenzivní sběr může vést k narušení pobřežních ekosystémů. Historicky byla většina biomasy rodu *Caulerpa* získávána pouze sběrem volně rostoucích řas z mělkých pobřežních vod a lagun, a i v současnosti je velká část řas prodávaných na trzích sbírána přímo ve volné přírodě. Při tradičních a rodinných způsobech sběru se často dbalo na udržitelnost tím, že sběrači odřezávali pouze vzpřímené asimilační části stélky a dávali pozor, aby nevytrhli plazivé oddenky (rhizomy) ze substrátu, čímž umožnili rostlině zregenerovat. Současná intenzita komerční sklizně zástupců rodu *Caulerpa* však začíná být neudržitelná (De Gaillande et al. 2017).

Hlavním problémem sběru z volné přírody je nedostatek informací o únosné kapacitě (z angl. carrying capacity) přirozených stanovišť. Bez těchto informací vede intenzivní sběr k poškozování pobřežních ekosystémů, kterých jsou tyto řasy důležitou součástí. U volně rostoucích řas je navíc zvýšené riziko, že řasy vstřebají těžké kovy a další polutanty z kontaminovaného mořského prostředí, což může představovat zdravotní riziko pro konzumaci (Ismail et al. 2024). Právě z důvodu ochrany přirozených stanovišť se přechází k masovému kontrolovanému pěstování zástupců rodu *Caulerpa* (De Gaillande et al. 2017).

5.5. *Codium*

Konzumace a regionální kontext

Řasy rodu *Codium* jsou tradiční součástí jídelníčku zejména v asijských zemích, jako je např. Japonsko, Čína, Jižní Korea a Filipíny (Moreira et al. 2022). V Koreji se nejčastěji využívá druh *Codium fragile*, místně nazývaný „cheonggak" a má velmi vysokou tržní hodnotu. Stélky jsou konzumovány čerstvé, sušené, v salátech, polévkách a jsou velmi důležitým ochucovadlem tradičního fermentovaného pokrmu ze zelí zvaného „kimchi" (Hwang, Baek, et al. 2008). V Evropě se stává populárním atlantský druh *C. tomentosum*. V Portugalsku se tato řasa pěstuje a dodává do luxusních restaurací, pro které je velmi populární díky své měkké textuře a specifické chuti, která připomíná ústřice (Moreira et al. 2022).
Zástupci rodu *Codium* mají skvělý nutriční profil. Analýza druhu *C. fragile* ukázala vysoký podíl sacharidů (až 66,8 % sušiny), cca 10,8 % proteinů a velmi nízký obsah lipidů (1,5 %). Proteiny obsažené v této řase obsahují mnoho esenciálních aminokyselin (především valin a methionin) (Ortiz et al. 2009).

Kultivace

Komerční akvakultura rodu *Codium* je poměrně rozvinutá. V asijských zemích (Koreji) probíhá produkce *C. fragile* na volném moři pomocí systému dlouhých lan (z angl. long-line). Zatímco dříve byli farmáři závislí na sběru volně plovoucích zygot, dnes se využívá spolehlivá metoda, kdy se pomocí vegetativního množení uměle produkují sazenice. Dospělá stélka se rozmixuje a uvolněné utrikuly s dřeňovými vlákny se nechají přichytit na kultivační vlákna v umělých nádržích. Po jednom až třech měsících v nádržích, jsou lana přesunuta do moře. Rychlost růstu se přitom cíleně kontroluje změnou hloubky lana ve vodě. Fáze předpěstování probíhá ve 2 metrech pro ochranu před silným světlem a hlavní masivní růst pak probíhá v hloubce 1 metru (Moreira et al. 2022).

V Evropě se naopak prosadil plně kontrolovaný systém v integrované multitrofické akvakultuře (IMTA). V Portugalsku se *C. tomentosum* pěstuje ve venkovních nádržích se silným provzdušňováním, kde se volně vznášející řasy (z angl. tumble culture) vyživují z odpadních vod z přilehlých chovů mořských živočichů (Moreira et al. 2022).

Ekologie

Druhy jako *Codium fragile* a *Codium vermilara* patří celosvětově mezi jedny z nejvýraznějších invazních druhů makrořas. Jejich přemnožení dokáže výrazně narušit lokální

pobřežní ekosystémy. Dále může způsobovat velké ekonomické škody tím, že prorůstá a ničí komerční chovy jiných makrořas. Pěstování těchto cenných (ale invazních) řas v uzavřených kontrolovaných IMTA systémech je proto ideální řešení. Umožňuje jejich komerční pěstování a využití a zároveň zabraňuje poškození přírodních ekosystémů (Ortiz et al. 2009).

6. Závěr

Tato bakalářská práce poskytuje ucelený literární přehled vybraných rodů zelených makrořas (Chlorophyta) a upozorňuje na jejich velký potenciál, který je v západním světě dodnes nedoceněný. Zástupci rodů *Ulva*, *Monostroma*, *Caulerpa*, *Codium* a *Capsosiphon* představují velmi cenný biotechnologický zdroj. Vlivem extrémních podmínek jejich přirozeného mořského prostředí tyto řasy produkují unikátní sekundární metabolity, jako jsou např. sulfatované polysacharidy, lektiny, karotenoidy, alkaloidy nebo fenoly. Z rešerše vyplynulo, že tyto látky vykazují silné antioxidační, protizánětlivé, antimikrobiální, antivirové i protinádorové účinky, což dokládá jejich vysoký farmaceutický potenciál. Stejně tak se potvrdila jejich role „superpotraviny“, bohaté na vlákninu, kvalitní proteiny a esenciální mastné kyseliny. Poznatky ze zpracované literatury tedy potvrzují, že zelené makrořasy představují velmi cenný přírodní zdroj.

Práce se dále věnuje zásadním problémům s komerčním využitím zelených makrořas. Většina dosavadních poznatků o biologické aktivitě těchto látek pochází převážně z *in vitro* nebo *in vivo* testů na zvířatech a relevantních klinických studií na lidech existuje zatím velmi málo. Budoucí farmaceutický výzkum se proto musí zaměřit na klinické ověření účinnosti a bezpečnosti těchto látek u lidí a na detailnější pochopení vztahu mezi složitou strukturou látek a jejich biologickou aktivitou.

Dalším důležitým problémem je nedostatečná standardizace kultivace a extrakčních metod. Vzhledem k tomu, že chemické složení řas se výrazně mění v závislosti na okolních podmínkách, bude pro bezpečné využití v medicíně a potravinářství nutné přejít od sběru z volné přírody k udržitelným kultivačním metodám, jako jsou kontrolované nádrže a systémy integrované multitrofické akvakultury (IMTA). Tyto metody podle mého názoru představují ideální řešení, jelikož dokážou zajistit stálou kvalitu biomasy bez rizika kontaminace a akumulace těžkých kovů z okolního prostředí. Zároveň se díky nim zamezí narušování a poškozování pobřežních ekosystémů způsobeným nadměrným sbíráním volně rostoucích řas, které jsou jejich nedílnou součástí. Osobně také vidím velký potenciál ve zpracování řas z tzv. zelených přílivů. Místo drahé likvidace této přemnožené odpadní biomasy ji lze využít jako levný a dostupný zdroj pro extrakci cenných bioaktivních látek.

7. Seznam literatury

Sekundární citace jsou v seznamu literatury označeny hvězdičkou (*).

Abidov M., Ramazanov Z., Seifulla R., & Grachev S. (2010): The effects of XanthigenTM in the weight management of obese premenopausal women with non-alcoholic fatty liver disease and normal liver fat. – Diabetes Obes. Metab. 12: 72–81.

Ahmed S. A., Abdelrheem D. A., El-Mageed H. R. A., Mohamed H. S., Rahman A. A., Elsayed K. N. M., & Ahmed S. A. (2020): Destabilizing the structural integrity of COVID-19 by caulerpin and its derivatives along with some antiviral drugs: An *in silico* approaches for a combination therapy. – Struct. Chem. 31: 2391–2412.

Ahn J., Kim M. J., Yoo A., Ahn J., Ha T. Y., Jung C. H., Seo H. D., & Jang Y. J. (2021): Identifying *Codium fragile* extract components and their effects on muscle weight and exercise endurance. – Food Chem.

Alghazeer R., Enaeli M., & Howell N. K. (2016): Anticancer and antioxidant activities of some algae from Western Libyan Coast.

*Anbuchezhian R., Karuppiah V., & Li Z. (2015): Prospect of marine algae for production of Industrially Important Chemicals. In Das D. (ed.), Algal Biorefinery: An Integrated approach, pp. 195–217. – Springer International Publishing, Cham.

Bast F., Shimada S., Hiraoka M., & Okuda K. (2009): Asexual life history by biflagellate zoids in *Monostroma latissimum* (Ulotrichales). – Aquat. Bot. 91: 213–218.

Blomster J., Maggs C. A., & Stanhope M. J. (1999): Extensive intraspecific morphological variation in *Enteromorpha muscoides* (Chlorophyta) revealed by molecular analysis. – J. Phycol. 35: 575–586.

Bolton J. J., Robertson-Andersson D. V., Shuuluka D., & Kandjengo L. (2009): Growing *Ulva* (Chlorophyta) in integrated systems as a commercial crop for abalone feed in South Africa: a SWOT analysis. – J. Appl. Phycol. 21: 575–583.

Calheiros A. C., Sales L. P. M., Pereira Netto A. D., Cavalcanti D. N., Castelar B., & Reis R. P. (2021): Commercial raw materials from algaculture and natural stocks of *Ulva spp.* – J. Appl. Phycol. 33: 1805–1818.

Carneiro R. F., Duarte P. L., Chaves R. P., Da Silva S. R., Feitosa R. R., De Sousa B. L., Da Silva Alves A. W., De Vasconcelos M. A., Da Rocha B. A. M., Teixeira E. H., Sampaio A. H., & Nagano C. S. (2020): New lectins from *Codium isthmocladum Vickers* show unique amino acid sequence and antibiofilm effect on pathogenic bacteria. – J. Appl. Phycol. 32: 4263–4276.

Cho M., Kang I.-J., Won M.-H., Lee H.-S., & You S. (2010): The antioxidant properties of ethanol extracts and their solvent-partitioned fractions from various green seaweeds. – J. Med. Food 13: 1232–1239.

*De Gaillande C., Payri C., Remoissenet G., & Zubia M. (2017): *Caulerpa* consumption, nutritional value and farming in the Indo-Pacific region. – J. Appl. Phycol. 29: 2249–2266.

Del Cortona A., Jackson C. J., Bucchini F., Van Bel M., D'hondt S., Škaloud P., Delwiche C. F., Knoll A. H., Raven J. A., Verbruggen H., Vandepoele K., De Clerck O., & Leliaert F. (2020): Neoproterozoic origin and multiple transitions to macroscopic growth in green seaweeds. – Proc. Natl. Acad. Sci. 117: 2551–2559.

Dos Santos J. S. P., Silva D. K. C., Da Silva Oliveira V., Junior S. S. S., Dos Santos Rodrigues E., De Souza C. V. C., Martinez S. T., Santos-Filho O. A., Meira C. S., & Soares M. B. P. (2025): The alkaloid caulerpin exhibits potent and selective anti-inflammatory activity through interaction with the glucocorticoid receptor. – Mar. Drugs 23: 232.

Elnabris K. J., Elmanama A. A., & Chihadeh W. N. (2022): Antibacterial activity of four marine seaweeds collected from the coast of Gaza Strip, Palestine. – Mesopotamian J. Mar. Sci. 28:.

Farasat M., Khavari-Nejad R.-A., Nabavi S. M. B., & Namjooyan F. (2014): Antioxidant activity, total phenolics and flavonoid contents of some edible green seaweeds from northern coasts of the Persian Gulf.

Flodin C., Helidoniotis F., & Whitfield F. B. (1999): Seasonal variation in bromophenol content and bromoperoxidase activity in *Ulva lactuca*. – Phytochemistry 51: 135–138.

Ganesan P., Matsubara K., Ohkubo T., Tanaka Y., Noda K., Sugawara T., & Hirata T. (2010): Anti-angiogenic effect of siphonaxanthin from green alga, *Codium fragile*. – Phytomedicine 17: 1140–1144.

Ganesan P., Noda K., Manabe Y., Ohkubo T., Tanaka Y., Maoka T., Sugawara T., & Hirata T. (2011): Siphonaxanthin, a marine carotenoid from green algae, effectively induces apoptosis in human leukemia (HL-60) cells. – Biochim. Biophys. Acta BBA - Gen. Subj. 1810: 497–503.

Gao S., Chen X., Yi Q., Wang G., Pan G., Lin A., & Peng G. (2010): A strategy for the proliferation of *Ulva prolifera*, main causative species of green tides, with formation of sporangia by fragmentation (W. A. Peer, Ed.). – PLoS ONE 5: e8571.

Gao X., Choi H. G., Park S. K., Sun Z. M., & Nam K. W. (2019): Assessment of optimal growth conditions for cultivation of the edible *Caulerpa okamurae* (Caulerpales, Chlorophyta) from Korea. – J. Appl. Phycol. 31: 1855–1862.

*Gomes L., Monteiro P., Cotas J., Gonçalves A. M. M., Fernandes C., Gonçalves T., & Pereira L. (2022): Seaweeds' pigments and phenolic compounds with antimicrobial potential. – Biomol. Concepts 13: 89–102.

Gulbrandsen Ø. S., Andresen I. J., Krabberød A. K., Bråte J., & Shalchian - Tabrizi K. (2021): Phylogenomic analysis restructures the Ulvophyceae (H. Verbruggen, Ed.). – J. Phycol. 57: 1223–1233.

Guiry M. D. & Guiry G. M. (2022): AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. – Dostupné z: http://www.algaebase.org [cit. 22. 4. 2026].

Hayden H. S., Blomster J., Maggs C. A., Silva P. C., Stanhope M. J., & Waaland J. R. (2003): Linnaeus was right all along: *Ulva* and *Enteromorpha* are not distinct genera. – Eur. J. Phycol. 38: 277–294.

Hiraoka M., & Oka N. (2008): tank cultivation of *Ulva prolifera* in deep seawater using a new "germling cluster" method. – J. Appl. Phycol. 20: 97-102.

*Hofmann L. C., Strauss S., Shpigel M., Guttman L., Stengel D. B., Rebours C., Gjorgovska N., Turan G., Balina K., Zammit G., Adams J. M. M., Ahsan U., Bartolo A. G., Bolton J. J., Domingues R., Dürrani Ö., Eroldogan O. T., Freitas A., Golberg A., Kremer K. I., Marques F., Milia M., Steinhagen S., Sucu E., Vargas-Murga L., Zemah-Shamir S., Zemah-Shamir Z., & Meléndez-Martínez A. J. (2025): The green seaweed *Ulva*: tomorrow's "wheat of the sea" in foods, feeds, nutrition, and biomaterials. – Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 65: 3728–3763.

Hwang E. K., Amano H., & Park C. S. (2008): Assessment of the nutritional value of *Capsosiphon fulvescens* (Chlorophyta): developing a new species of marine macroalgae for cultivation in Korea. – J. Appl. Phycol. 20: 147–151.

Hwang E. K., Baek J. M., & Park C. S. (2008): Cultivation of the green alga, *Codium fragile (Suringar) Hariot*, by artificial seed production in Korea. – J. Appl. Phycol. 20: 469–475.

*Hwang E. K. & Park C. S. (2020): Seaweed cultivation and utilization of Korea. – ALGAE 35: 107–121.

*Ismail M. F., Abdullah F. I., Ismail I., Karim M. M. A., Ramaiya S. D., Benjamin M. A. Z., Awang M. A., & Zakaria M. H. (2024): Cultivation of edible *Caulerpa* species in Malaysia: Current status and future prospects for sustainable aquaculture. – J. Appl. Phycol. 36: 2439–2458.

Jones P. J., Raeini-Saraz M., Ntainos F. Y., Vanstone C. A., Feng J. Y., & Parsons W. E. (2000): Modulation of plasma lipid levels and cholesterol kinetics by phytosterol versus phytostanol esters. – J. Lipid Res. 41: 697–705.

*Kaur M., Kala S., Parida A., & Bast F. (2023): Concise review of green algal genus *Monostroma Thuret*. – J. Appl. Phycol. 35: 1–10.

Kavale M. G., Italiya B., & Veeragurunathan V. (2020a): Scaling the production of *Monostroma sp.* by optimizing culture conditions. – J. Appl. Phycol. 32: 451–457.

Kendel M., Wielgosz-Collin G., Bertrand S., Roussakis C., Bourgougnon N., & Bedoux G. (2015): Lipid composition, fatty acids and sterols in the seaweeds *Ulva armoricana*, and *Solieria chordalis* from Brittany (France): An analysis from nutritional, chemotaxonomic, and antiproliferative activity perspectives. – Mar. Drugs 13: 5606–5628.

Kim A., Lee Y., Kang S.-H., Kim G., Kim H., & Hyun J. (2013): Cytotoxic effect of clerosterol isolated from *Codium fragile* on A2058 human melanoma cells. – Mar. Drugs 11: 418–430.

Lanfer-Marquez U. M., Barros R. M. C., & Sinnecker P. (2005): Antioxidant activity of chlorophylls and their derivatives. – Food Res. Int. 38: 885–891.

Li M., Feng H., Ouyang X., & Ling J. (2021): Determination of fucoxanthin in bloom-forming macroalgae by HPLC–UV. – J. Chromatogr. Sci. 59: 978–982.

Li J.-Y., Yang F., Jin L., Wang Q., Yin J., He P., & Chen Y. (2018): Safety and quality of the green tide algal species *Ulva prolifera* for option of human consumption: A nutrition and contamination study. – Chemosphere.

Liao J., Wang S., Lin K., Huang Y., Chen X., Xin R., Guo Y., & Xie E. (2024): Taxonomic identification and life cycle comparison of two populations of the monostromatic green algae *Monostroma nitidum*. – Ecol. Evol. 14: e11424.

Lopes N., Ray S., Espada S. F., Bomfim W. A., Ray B., Faccin-Galhardi L. C., Linhares R. E. C., & Nozawa C. (2017): Green seaweed *Enteromorpha compressa* (Chlorophyta , Ulvaceae) derived sulphated polysaccharides inhibit herpes simplex virus. – Int. J. Biol. Macromol.

Løvlie A. & Bryhni E. (1978): On the relation between sexual and parthenogenetic reproduction in haplo-diplontic algae. – Bot. Mar. 21:.

Maeda H., HosokAwa M., Sashimi T., Funayama K., & Miyashita K. (2005): Fucoxanthin from edible seaweed, *Undaria pinnatifida*, shows antiobesity effect through UCP1 expression in white adipose tissues. – Biochem. Biophys. Res. Commun. 332: 392–397.

*Mansoor S., Bashir K. M. I., Mohibbullah Md., Meinita M. D. N., Khan M. N. A., Sohn J.-H., & Choi J.-S. (2024a): Nutritional and health promoting perspectives of *Monostroma spp.* (Chlorophyta): A systematic review. – J. Appl. Phycol. 36: 1459–1484.

Marshall K., Joint I., Callow M. E., & Callow J. A. (2006): Effect of marine bacterial isolates on the growth and morphology of axenic plantlets of the green alga *Ulva linza*. – Microb. Ecol. 52: 302–310.

Matsuo Y., Suzuki M., Kasai H., Shizuri Y., & Harayama S. (2003): Isolation and phylogenetic characterization of bacteria capable of inducing differentiation in the green alga *Monostroma oxyspermum*. – Environ. Microbiol. 5: 25–35.

Mendoza W., Mendola D., Kim J., Yarish C., Velloze A., & Mitchell B. G. (2018): Land-based drip-irrigated culture of *Ulva compressa*: The effect of culture platform design and nutrient concentration on biomass production and protein content (Y. F. Tsang, Ed.). – PLOS ONE 13: e0199287.

*Millotti G., Lagast J., Jurman J., Paliaga P., & Laffleur F. (2025): Ulvan as an underrated material for wound dressings: a review. – Int. J. Biol. Macromol.

*Moreira A., Cruz S., Marques R., & Cartaxana P. (2022): The underexplored potential of green macroalgae in aquaculture. – Rev. Aquac. 14: 5–26.

Nagappan T. & Vairappan C. S. (2014): Nutritional and bioactive properties of three edible species of green algae, genus *Caulerpa* (Caulerpaceae). – J. Appl. Phycol. 26: 1019–1027.

Nardelli A. E., Chiozzini V. G., Braga E. S., & Chow F. (2019): Integrated multi-trophic farming system between the green seaweed *Ulva lactuca*, mussel, and fish: a production and bioremediation solution. – J. Appl. Phycol. 31: 847–856.

O'Kelly C. J., Wysor B., & Bellows W. K. (2004): *Collinsiella* (Ulvophyceae, Chlorophyta) and other ulotrichalean taxa with shell-boring sporophytes form a monophyletic clade. – Phycologia 43: 41–49.

One Thousand Plant Transcriptomes Initiative. (2019): One thousand plant transcriptomes and the phylogenomics of green plants. – Nature 574: 679–685.

Ortiz J., Uquiche E., Robert P., Romero N., Quitral V., & Llantén C. (2009): Functional and nutritional value of the Chilean seaweeds *Codium fragile, Gracilaria chilensis* and *Macrocystis pyrifera*. – Eur. J. Lipid Sci. Technol. 111: 320–327.

Park S., Kim D., Kim S., Choi G., Yoo H., Park S., & Cho S. (2024): Optimization of desalting conditions for the green seaweed *Codium fragile* for use as a functional food with hypnotic effects. – Foods 13: 3287.

Peasura N., Laohakunjit N., Kerdchoechuen O., Vongsawasdi P., & Chao L. K. (2016): Assessment of biochemical and immunomodulatory activity of sulphated polysaccharides from *Ulva intestinalis*. – Int. J. Biol. Macromol.

Peña-Rodríguez A., Mawhinney T. P., Ricque-Marie D., & Cruz-Suárez L. E. (2011): Chemical composition of cultivated seaweed *Ulva clathrata* (Roth) C. Agardh. – Food Chem. 129: 491–498.

Pragna Lakshmi T., Vajravijayan S., Moumita M., Sakthivel N., Gunasekaran K., & Krishna R. (2018): A novel guaiane sesquiterpene derivative, guai-2-en-10α-ol, from *Ulva fasciata Delile* inhibits EGFR/PI3K/Akt signaling and induces cytotoxicity in triple-negative breast cancer cells. – Mol. Cell. Biochem. 438: 123–139.

Praseptiangga D., Hirayama M., & Hori K. (2012): Purification, Characterization, and cDNA Cloning of a Novel Lectin from the Green Alga, *Codium barbatum*. – Biosci. Biotechnol. Biochem. 76: 805–811.

Reis S. E., Andrade R. G. C., Accardo C. M., Maia L. F., Oliveira L. F. C., Nader H. B., Aguiar J. A. K., & Medeiros V. P. (2020): Influence of sulfated polysaccharides from *Ulva lactuca* L. upon Xa and IIa coagulation factors and on venous blood clot formation. – Algal Res.

*Rengasamy K. Rr., Mahomoodally M. F., Aumeeruddy M. Z., Zengin G., Xiao J., & Kim D. H. (2020): Bioactive compounds in seaweeds: An overview of their biological properties and safety. – Food Chem. Toxicol.

Sharma B. R. & Rhyu D. Y. (2014): Anti-diabetic effects of *Caulerpa lentillifera*: stimulation of insulin secretion in pancreatic β-cells and enhancement of glucose uptake in adipocytes. – Asian Pac. J. Trop. Biomed. 4: 575–580.

Spoerner M., Wichard T., Bachhuber T., Stratmann J., & Oertel W. (2012): Growth and thallus morphogenesis of *Ulva mutabilis* (Chlorophyta) depends on a combination of two bacterial species excreting regulatory factors. – J. Phycol. 48: 1433–1447.

Stratmann J., Paputsoglu G., & Oertel W. (1996): Differentiation of *Ulva mutabilis* (Chlorophyta) gametangia and gamete release are controlled by extracellular inhibitors. – J. Phycol. 32: 1009–1021.

Sun S.-M., Cho S.-Y., Shin T.-S., Chung G.-H., Ahn C.-B., & Kim D. (2012): Variation in the chemical composition of *Capsosiphon fulvescens* with area and during the harvest period. – J. Appl. Phycol. 24: 459–465.

Sun S.-M., Yang S. H., Golokhvast K. S., Le B., & Chung G. (2016): Reconstructing the phylogeny of *Capsosiphon fulvescens* (Ulotrichales, Chlorophyta) from Korea based on *rbc* L and 18S rDNA sequences. – BioMed Res. Int.

Suzuki K. & Terasawa M. (2020): Biological Activities of rhamnan sulfate extract from the green algae *Monostroma nitidum* (Hitoegusa). – Mar. Drugs 18: 228.

*Syakilla N., George R., Chye F. Y., Pindi W., Mantihal S., Wahab N. A., Fadzwi F. M., Gu P. H., & Matanjun P. (2022): A review on nutrients, phytochemicals, and health benefits of green seaweed, *Caulerpa lentillifera*. – Foods 11: 2832.

Tabarsa M., Lee S.-J., & You S. (2012): Structural analysis of immunostimulating sulfated polysaccharides from *Ulva pertusa*. – Carbohydr. Res.

Tanduyan S. N., Gonzaga R. B., & Bensig V. D. (2013): Off bottom culture of *Caulerpa lentillifera* in three different water levels in the marine waters of San Francisco, Cebu, Philippines. – Galaxea J. Coral Reef Stud. 15: 123–132.

Tanna B., Brahmbhatt H. R., & Mishra A. (2019): Phenolic, flavonoid, and amino acid compositions reveal that selected tropical seaweeds have the potential to be functional food ingredients. – J. Food Process. Preserv. 43:.

*Torregrosa-Crespo J., Montero Z., Fuentes J. L., Reig García-Galbis M., Garbayo I., Vílchez C., & Martínez-Espinosa R. M. (2018): Exploring the valuable carotenoids for the large-scale production by marine microorganisms. – Mar. Drugs 16: 203.

Tran L.-A. T., Vieira C., Steinhagen S., Maggs C. A., Hiraoka M., Shimada S., Van Nguyen T., De Clerck O., & Leliaert F. (2022): An appraisal of *Ulva* (Ulvophyceae, Chlorophyta) taxonomy. – J. Appl. Phycol. 34: 2689–2703.

Vanderlei E. S. O., Patoilo K. K. N. R., Lima N. A., Lima A. P. S., Rodrigues J. A. G., Silva L. M. C. M., Lima M. E. P., Lima V., & Benevides N. M. B. (2010): Antinociceptive and anti-inflammatory activities of lectin from the marine green alga *Caulerpa cupressoides*. – Int. Immunopharmacol. 10: 1113–1118.

Verbruggen H., Leliaert F., Maggs C. A., Shimada S., Schils T., Provan J., Booth D., Murphy S., De Clerck O., Littler D. S., Littler M. M., & Coppejans E. (2007): Species boundaries and phylogenetic relationships within the green algal genus *Codium* (Bryopsidales) based on plastid DNA sequences. – Mol. Phylogenet. Evol. 44: 240–254.

Vijayaraj S., Palei N. N., Archana D., Lathasri K., & Rajavel P. (2020): Quality by design (Qbd) approach to develop stability indicating HPLC method for estimation of rutin in chitosan-sodium alginate nanoparticles. – Braz. J. Pharm. Sci.

*Wichard T., Charrier B., Mineur F., Bothwell J. H., Clerck O. D., & Coates J. C. (2015): The green seaweed *Ulva*: a model system to study morphogenesis. – Front. Plant Sci.

*Xu J., Liao W., Liu Y., Guo Y., Jiang S., & Zhao C. (2023): An overview on the nutritional and bioactive components of green seaweeds. – Food Prod. Process. Nutr. 5: 18.

Yan X., Yang C., Lin G., Chen Y., Miao S., Liu B., & Zhao C. (2019): Antidiabetic potential of green seaweed *Enteromorpha prolifera* flavonoids regulating insulin signaling pathway and gut microbiota in type 2 diabetic mice. – J. Food Sci. 84: 165–173.