

# "Biotehnološki potencijal alga Jadranskog mora"

---

**Paljetak, Katarina**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Dubrovnik / Sveučilište u Dubrovniku**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:155:721074>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-10**



**SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU**  
UNIVERSITY OF DUBROVNIK

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Dubrovnik](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU

ODJEL ZA PRIMIJENJENU EKOLOGIJU

PREDDIPLOMSKI STUDIJ PRIMIJENJENA EKOLOGIJA MORA

Katarina Paljetak

**BIOTEHNOLOŠKI POTENCIJAL ALGA U JADRANSKOM MORU**

ZAVRŠNI RAD

Mentor: doc. dr. sc. Marina Brailo Šćepanović

Dubrovnik, rujan 2023.

SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU

ODJEL ZA PRIMIJENJENU EKOLOGIJU

PREDDIPLOMSKI STUDIJ PRIMIJENJENA EKOLOGIJA MORA

Katarina Paljetak

**BIOTEHNOLOŠKI POTENCIJAL ALGA U JADRANSKOM MORU**

ZAVRŠNI RAD

Mentor: doc. dr. sc. Marina Brailo Šćepanović

Dubrovnik, rujan 2023.

Ovaj završni rad izrađen je pod stručnim vodstvom doc. dr. sc. Marine Brailo Šćepanović, u sklopu preddiplomskog studija Primijenjena ekologija mora na Odjelu za primijenjenu ekologiju Sveučilišta u Dubrovniku.

## SAŽETAK

Ovaj rad daje pregled istraživanja kemijske raznolikosti alga Jadranskog mora s ciljem njihove primjene u biotehnologiji. Istraživanja alga u Jadranu obuhvaćaju jednostanične alge rodova *Euhalothece*, *Tetraselmis*, *Picochlorum*, *Nitzschia* i *Nanofrustulum shiloi* kao i crvene alge rodova *Asparagopsis*, *Gracilaria* i *Amphiroa*, zelene alge rodova *Flabellia*, *Codium* i *Ulva* te smeđe alge rodova *Halopteris*, *Dictyota*, *Taonia*, *Fucus*, *Dictyopteris*, *Gongolaria*, *Ericaria*, *Treptacantha*, *Cystoseira* i *Padina*. Među najzastupljenijim spojevima makroalga bili su dimetil sulfid, benzaldehid, heptadekan, pentadekan, nonadekan, tribrommetan, a također su identificirane masne kiseline (oleinska, palmitinska, palmitoleinska, linolna, stearinska, tetradekanska, pentadekanska), terpeni, alkoholi, flavonoid i saharidi dok se među pigmentima ističu klorofili, karotenoidi i fikobiliproteini. Alge Jadranskog mora posjeduju spojeve od kojih neki imaju antioksidativna, protuupalna, antibakterijska, protugljivična, antiviralna, antihelminthska, antikancerogena i druga svojstva, a neki sudjeluju u komunikaciji s okolišem kao i obrani od potencijlnih opasnosti iz tog okoliša. Jadranske alge su izvrstan izvor nutrijenata i bioaktivnih molekula sa širokim rasponom primjene u prehrambenoj, farmaceutskoj, kozmetičkoj, tekstilnoj i poljoprivrednoj industriji. Republika Hrvatska sa svojim pristupom Jadranskom moru i svim njegovim raznolikostima, ima velik potencijal za razvoj biotehnologije alga.

**Ključne riječi:** alge, bioaktivni spojevi, biotehnologija, Jadransko more, kemijska raznolikost, sekundarni metaboliti

## ABSTRACT

This paper provides an overview of chemical diversity research of the Adriatic Sea algae with focus on the application in biotechnology. Research on algae in the Adriatic includes unicellular algae of the genera *Euhalothece*, *Tetraselmis*, *Picochlorum*, *Nitzschia* and *Nanofrustulum shiloi*, as well as red algae of the genera *Asparagopsis*, *Gracilaria* and *Amphiroa* green algae of the genera *Flabellia*, *Codium* and *Ulva* and brown algae of the genera *Halopteris*, *Dictyota*, *Taonia*, *Fucus*, *Dictyopteris*, *Gongolaria*, *Ericaria*, *Treptacantha*, *Cystoseira* and *Padina*. Dimethyl sulfide, benzaldehyde, heptadecane, pentadecane, nonadecane and tribromomethane were the most abundant compounds of macroalgae, fatty acids were also identified (oleic, palmitic, palmitoleic, linoleic, stearic, tetradecanoic pentadecanoic), as well as terpenes, alcohols, flavonoids and saccharides, while among the pigments chlorophylls, carotenoids and phycobiliproteins stand out. Adriatic Sea algae contain compounds that have antioxidant, antiinflammatory, antibacterial, antifungal, antiviral, anthelmintic, anticarcinogenic and other properties, some participate in communication with the environment as well as in the defense against potential environmental hazards. Adriatic algae are an excellent source of nutrients and bioactive molecules with a wide range of applications in the food, pharmaceutical, cosmetic, textile and agricultural industries. The Republic of Croatia, with its access to the Adriatic Sea and all its diversity, has a great potential for the development of algae biotechnology.

**Keywords:** Adriatic Sea, algae, bioactive compounds, biotechnology, chemical diversity, secondary metabolites

# Sadržaj

<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2. MORSKE ALGE .....</b>	<b>3</b>
<b>3. BIOTEHNOLOŠKI POTENCIJAL MIKROALGA .....</b>	<b>4</b>
<b>3.1. Euhalothece sp.....</b>	<b>5</b>
<b>3.2. Tetraselmis sp. ....</b>	<b>6</b>
<b>3.3. Picochlorum sp. ....</b>	<b>8</b>
<b>3.4. Nitzschia sp. ....</b>	<b>9</b>
<b>3.5. Nanofrustulum shiloi.....</b>	<b>10</b>
<b>4. BIOTEHNOLOŠKI POTENCIJAL MAKROALGA.....</b>	<b>11</b>
<b>4.1. Crvene alge .....</b>	<b>12</b>
4.1.1. <i>Asparagopsis taxiformis</i> (Delile) Trevisan de Saint-Léon (Ex. <i>A. sanfordiana</i> ).....	12
4.1.2. <i>Gracilaria gracilis</i> (Stackhouse) Steentoft, L.M.Irvine & Farnham, 1995 .....	13
4.1.3. <i>Amphiroa rigida</i> J.V. Lamouroux 1816.....	14
<b>4.2. Zelene alge .....</b>	<b>16</b>
4.2.1. <i>Flabellia petiolata</i> (Turra) Nizamuddin 1987.....	16
4.2.2. <i>Codium bursa</i> (Olivi) C. Agardh 1817 .....	18
4.2.3. <i>Codium adhaerens</i> C.Agardh, 1822.....	19
4.2.4. <i>Ulva lactuca</i> Linnaeus, 1753.....	20
<b>4.3. Smeđe alge .....</b>	<b>22</b>
4.3.1. <i>Halopteris filicina</i> (Grateloup) Kützing 1843 .....	22
4.3.2. <i>Halopteris scoparia</i> (Linnaeus) Sauvageau 1904 .....	23
4.3.3. <i>Dictyota dichotoma</i> (Hudson) J.V.Lamouroux 1809 .....	24
4.3.4. <i>Taonia atomaria</i> (Woodward) J. Agardh 1848.....	26
4.3.5. <i>Fucus virsoides</i> J. Agardh 1868.....	26
4.3.6. <i>Dictyopteris plypodioides</i> (A.P.De Candolle) J.V.Lamouroux 1809 .....	28
4.3.7. <i>Gongolaria barbata</i> (Stackhouse) Kuntze 1891 .....	28
4.3.8. <i>Ericaria crinita</i> (Duby) Molinari & Guiry, 2020.....	30

3.2.9. <i>Ericaria amentacea</i> (C. Agardh) Molinari & Guiry 2020 (ex. <i>Cystoseira amentacea</i> (C. Agardh) Bory de Saint-Vincent, 1832) .....	31
3.2.10. <i>Treptacantha barbata</i> (Stackhouse) Orellana & Sansón 2019 (ex. <i>Cystoseira barbata</i> (Stackhouse) C. Agardh, 1820) .....	32
3.2.11. <i>Cystoseira corniculata</i> (Turner) Zanardini, 1841 .....	32
3.2.12. <i>Padina pavonica</i> (Linnaeus) Thivy, 1960 .....	34
<b>5. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>35</b>
<b>6. LITERATURA .....</b>	<b>37</b>



## 1. UVOD

Ovaj rad daje pregled dosadašnjih istraživanja kemijske raznolikosti alga Jadranskog mora s ciljem njihove primjene u biotehnologiji. Biotehnologija je multidisciplinarna znanost koja se bavi primjenom organizama, stanica, njihovih dijelova i molekularnih analoga za dobivanje novih proizvoda organizama ili usluga. Biotehnološki proizvodi pripadaju vrlo različitim gospodarskim i uslužnim djelatnostima, poput proizvodnje industrijskih kemikalija i enzima (alkoholi, organske kiseline, aminokiseline, amilaze, proteaze), proizvodnje hrane (fermentirana hrana i pića, bakterijske i fungalne starter kulture za fermentirane namirnice, humani probiotici, mikrobnj proteini, pekarski, pivski i vinski kvasac), farmaceutike i zdravstva (terapijski proteini, monoklonska protutijela, vakcine, antibiotici, signalne molekule, dijagnostički agensi, enzimski inhibitori, probiotici kao živi lijekovi), poljoprivrede i stočarstva (krmiva, silaža, kompost, biološka gnojiva, animalne vakcine, animalni probiotici, biološki insekticidi i pesticidi) energetike (biogoriva: etanol, metan, vodik), bioremedijacije (biološko pročišćavanje otpadnih voda, obrada čvrstih otpadaka) (Marić, 2000). Ovdje je potrebno naglasiti kako biotehnologiju prema području primjene dijelimo na više grana ili boja pa se tako plava biotehnologija bavi istraživanjem slatkovodnih i morskih resursa s ciljem razvoja novih industrijskih proizvoda i usluga, a neki od tih proizvoda se primjenjuju u prehrambenoj, kozmetičkoj, farmaceutskoj, kemijskoj industriji te proizvodnji biogoriva (Ivančić Šantek, 2020).

Kroz povijest su istraživanja kemijske raznolikosti Jadranskog mora bila ograničena, iako je bioraznolikost morskog ekosustava Jadrana odavno prepoznata. Fauna bentosa Jadranskog mora sadržava čak 2597 vrsta alga, od kojih su 152 vrste endemi (Dobrinčić i sur., 2021). Zbog svoje bogate kemijske i biološke raznolikosti te kompleksnih ekosustava isprepletenih brojnim jedinstvenim interakcijama, morski okoliš područje je zanimljivih istraživanja, a morske alge prepoznate su kao vrijedan izvor različitih bioaktivnih spojeva. Alge su raznolika skupina fotosintetskih autotrofnih organizama koji imaju ključnu ulogu u slatkovodnim i morskim ekosustavima. Njihova glavna uloga u akvatičnim ekosustavima je ona primarnog proizvođača koji putem procesa fotosinteze pretvara ugljikov dioksid i hranjive tvari u organsku tvar, pri čemu se oslobađa kisik. Alge su jedna od najraznolikijih skupina organizama te broje između 30 000 i 1 milijuna vrsta (Guiry, 2012). Bogate su proteinima, mineralima, vitaminima, vlaknima, aminokiselinama i mnogim ljekovitim tvarima. Brojne su primjene alga u biotehnološke svrhe, a najčešće se koriste u prehrambenoj industriji kao funkcionalna hrana i prirodna bojila, farmaceutskoj i kozmetičkoj industriji, agrikulturi kao

stočna hrana i biofertilizator te u procesima bioremedijacije. Zanimljiva je i njihova primjena u proizvodnji biogoriva. U biotehnoške svrhe, osim cijele biomase alge, koriste se primarni i sekundarni metaboliti, rezervne tvari, pigmenti i sl.

U ovom radu predstavljena su istraživanja biotehnoški zanimljivih alga Jadranskog mora. Obrađene su različite vrste alga te je dan pregled pronađenih spojeva i metoda njihove izolacije. Udio proteina u biomasi mikroalga određen je spektrofotometrijski, lipidne klase određene su pomoću tankoslojne kloromatografije, a identifikacija i kvantifikacija karotenoida i klorofila provedena je visoko učinkovitom tekućinskom kromatografijom. Za ekstrakciju spojeva iz makroalga primijenjene su metode hidrodestilacije i ekstrakcije čvrstom fazom ili superkritičnim CO<sub>2</sub>, a za identifikaciju izoliranih spojeva plinska kromatografija s masenom spektrometrijom. Navedene su fiziološke funkcije i biološke aktivnosti identificiranih spojeva, s naglaskom na biotehnošku primjenu u različitim industrijama.

## 2. MORSKE ALGE

Alge su jednostavni autotrofni organizmi koji u svojim stanicama imaju klorofil, a mogu biti građene od jedne stanice ili više stanica koje djeluju kao kolonija ili višestanični organizam. Prisutne su posvuda na Zemlji, u moru, rijekama, jezerima, tlu, živim organizmima i biljkama, dakle, gotovo svugdje gdje sunčeva svjetlost omogućava fotosintezu. Jednostanične i kolonijalne vrste obično žive suspendirane u vodenom stupcu kao dio planktona, dok makroalge žive pričvršćene za substrat u bentalu. Veličina alga može varirati od 0,2-2 milimetara do 60 metara (Barsanti i Gaultieri, 2014).

Pojam alge opisuje različite životne oblike te ne predstavlja taksonomsku podjelu, raznovrsni se mikrofiti i makrofiti smatraju algama, bilo da se radi o cijanobakterijama ili eukariotskim algama te je njihova klasifikacija podložna izmjenama. U ovom radu prućena je klasifikacija alga koju je predložio Lee (2008), a s obzirom na dostupne podatke u literaturi dana je i podjela na jednostanične i višestanične bentoske oblike. Lee (2008) je klasificirao alge u dvije skupine; prokariote i eukariote koje su dalje podijeljene na odjele. Prokarioti imaju samo jedan odjeljak Cyanophyta, dok su eukarioti dalje podijeljeni na temelju građe membrane kloroplasta.

Procjenjuje se da na Zemlji postoji između 30 000 do više od milijun vrsta alga, od kojih većina živi u moru (Gallardo, 2014). Ogromnu raznolikost ove skupine potvrđuju primjeri alge *Ostreococcus tauri*, najmanjeg eukariotskog organizma veličine 1  $\mu\text{m}$  (Courties i sur., 1998) i *Macrocystis pyrifera*, smeđe alge poznate po šumama kelpa koje dosežu veličine preko 60 metara (Cribb, 1954).

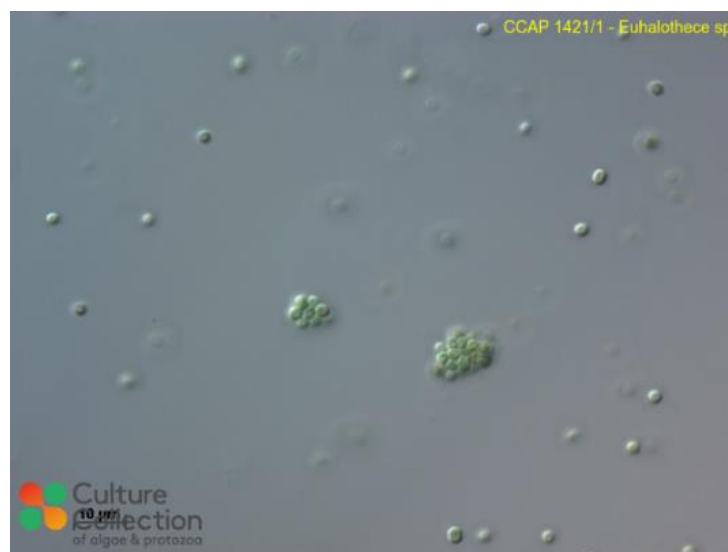
U biotehnoškoj svrhe može se koristiti cijela biomasa alge, a također se mogu zasebno koristiti pigmenti, rezervne tvari, primarni i sekundarni metaboliti. Alge imaju izvrstan nutritivni sastav bogat proteinima, ugljikohidratima, vitaminima lipidima i mineralima, što ih čini odličnim izvorom hrane za ljudsku konzumaciju, kao i za hranjiva u akvakulturi te kao visoko kvalitetna prirodna gnojiva u poljoprivredi. Alge se sve češće koriste u procesima bioremedijacije te kao biofilteri u akvakulturi na način da akumuliraju teške metale i višak nutrijenata. Alge imaju potencijal u proizvodnji biogoriva, s obzirom da se masne kiseline mikroalga mogu konvertirati u biodizel, a ugljikohidrati makroalga u bioetanol (Carvalho i Pereira, 2014), no upitno je da li je ovakav način proizvodnje učinkovit. Daleko najšira primjena i ekonomska vrijednost alga je upotreba agara, alginata i karagenana u prehrambenoj industriji gdje se najčešće koriste kao stabilizatori i emulgatori. Ovi se spojevi primjenjuju i u farmaceutskoj i tekstilnoj industriji te u proizvodnji boja.

### 3. BIOTEHNOLOŠKI POTENCIJAL MIKROALGA

Jednostanične alge su primarni proizvođači organske tvari u morskom ekosustavu i kao takve sačinjavaju samu bazu morske hranidbene mreže, a ujedno su i jedan od najvećih proizvođača kisika u atmosferi. Prisutne su u svim morskim staništima (Garson, 1989), a osim u morskim prisutne su u gotovo svim staništima na Zemlji. Iako su jednostanične, mogu formirati jednostavne nitaste i kolonijalne oblike, veličine su od nekoliko mikrometara do nekoliko stotina mikrometara. Jednostanične alge i cijanobakterije (modrozelenne alge) poznate su po različitim bioaktivnim spojevima i nizu biotehnoloških primjena u brojnim industrijama. Prilagodile su se jedinstvenim staništima koja su nerijetko imala nepovoljne uvjete za život upravo pomoću primarnih i sekundarnih metabolita. Sadrže velik udio proteina, minerala, vitamina, pigmenata, ugljikohidrata i lipida, a odličan su izvor omega masnih kiselina koje ljudski organizam ne može sintetizirati već ih je potrebno unijeti prehranom (Grubišić, 2020). Zbog povoljnog nutritivnog sastava jako su važana karika u akvakulturnoj industriji. Uz to, zbog male veličine, visoke stope rasta i jednostavnog uzgoja u laboratorijskim uvjetima odlični su "laboratorijski organizmi" (Graham i Wilcox, 2000). Danas se ekstrakti mikroalgi mogu pronaći u mnogim proizvodima za njegu lica i kože, na primjer kremama protiv starenja, osvježavajućim ili regenerativnim proizvodima za njegu, kremama za sunčanje, omekšivačima i antiiritansima u pilinzima (Barsanti i Gualtieri, 2014). Neizostavan su resurs u farmaceutskoj i neutraceutskoj industriji, a također se sve češće koriste u prehrambenoj i kozmetičkoj industriji, kao i za proizvodnju biogoriva, bioplina, biodizela i bioetanol. Među izoliranim spojevima ove skupine, pigmenti su najzanimljiviji i često se upotrebljuju u već spomenutim industrijama te također u znanstvenim i kliničkim istraživanjima u obliku markera za receptore i antitijela (Begum i sur., 2016).

### 3.1. *Euhalothece* sp.

Vrste roda *Euhalothece* ubrajamo u odjeljak Cyanophyta, Cyanophyceae, a ovdje je dan pregled istraživanja na soju C1. Prema Grubišić i sur. (2022) koncentracija proteina cijanobakterije *Euhalothece* sp. soj C1 iznosila je 32,83 %, koncentracija ugljikohidrata 15,28 %, a koncentracija lipida 2,98 %, dok je glavna masna kiselina bila masna kiselina neparnog lanca, margarinska kiselina. Margarinska kiselina često se koristi kao biomarker u mikroalgalnim kulturama gdje služi za otkrivanje bakterijske kontaminacije (Viso i Marty, 1993), značajna je i kao biomarker za procjenu analize prehrane te biomarker za koronarnu bolest srca (Jenkins i sur., 2015), a pripisuje joj se i protutumorsko djelovanje (Xu i sur., 2019). Pronađeni su sterilni esteri i steroli koji povećavaju propusnost stanične membrane te djeluju kao signalne molekule (Dufourc, 2008). Cijanobakterija je sadržavala nisku koncentraciju pigmenata, pri čemu je karotenoid lutein bio glavni pigment. Lutein u istraživanjima pokazuje imunostimulirajuće djelovanje, djeluje kao zaštita od nekih kroničnih i upalnih bolesti, a također igra ulogu i u zaštiti očiju od oksidativnog stresa (Chung i sur., 2017). Grubišić i sur. (2022) su također pronašli i niske koncentracije flavonoida i fenola koji doprinose antioksidativnoj i protumikrobnoj aktivnosti mikroalga, a identificirali su monosaharide arabinozu i galaktozu koji imaju važnu ulogu u regulaciji šećera (Pasmans i sur., 2022). Oni su algu uzorkovali u blizini grada Šibenika, Jadrije i otoka Šolta, udio proteina u biomasi mikroalga određen je spektrofotometrijski, lipidne klase određene su pomoću tankoslojne klormatografije, a identifikacija i kvantifikacija spojeva provedena je analizom na uređaju za visoko učinkovitu tekućinsku kromatografiju.



Slika 1. *Euhalothece* sp. (<https://www.ccap.ac.uk/catalogue/strain-1421-1>)

### 3.2. *Tetraselmis* sp.

Vrste roda *Tetraselmis* ubrajamo u odjeljak Chlorophyta, a ovdje je dan pregled istraživanja na sojevima Z3 i C6. Prema istraživanju Grubišić i sur. (2022), biomasa *Tetraselmis* sp. Z3 sadržavala je 4,87 % lipida dok je *Tetraselmis* sp. C6 imao 4,77 % lipida, *Tetraselmis* sp. soj C6 imao je sadržaj proteina od 62,86 %, a *Tetraselmis* sp. soj Z3 od 36,32 %. Zbog visokog udjela proteina proučavani sojevi mikroalgi mogu se koristiti kao dodaci hrani i hrani za životinje (Grubišić i sur., 2022), a ova se mikroalga obično koristi kao živi plijen u akvakulturi (Ma i Hu, 2023). Oba soja *Tetraselmis* sp. imala su visoku koncentraciju glukuronske kiseline koja je poznata kao značajan detoksikant u zaštiti ljudskog zdravlja (Vina i sur., 2013). *Tetraselmis* sp. Z3 imao je visoke koncentracije višestruko nezasićenih masnih kiselina, uključujući  $\omega$ -3 masne kiseline: eikosapentaensku, dokozaheksaensku i alfa-linolensku kiselinu. Eikosapentaenska i dokosaheksaenska kiselina najznačajnije su masne kiseline mnogih vrsta dijatomeja (Yi i sur., 2017). Ove kiseline pokazuju brojne pozitivne učinke za ljudsko zdravlje; imaju protutumorsno, protuviralno i protumikrobno djelovanje, primjenjuju se kod ateroskleroze, hipertenzije i raznih upalnih problema, imaju važnu ulogu u zaštiti kardiovaskularnog sustava (Sapieha i sur., 2011), zdravlja očiju (Hallahan i Garland, 2005) te se koriste kod liječenja psihičkih poremećaja (Lafourcade i sur., 2011). Među pigmentima ovih sojeva, osim klorofila, isticali su se karotenoidi ksantofili lutein i neksantin koji u biljkama i algama ima fotozaštitnu ulogu (Giossi i sur., 2020). S obzirom na visok sadržaj fenola, flavonoida i karotenoida, *Tetraselmis* sp. je pokazao i odličan antioksidativni potencijal. I ova vrsta je sadržavala monosaharide arabinozu i galaktozu koji imaju važnu ulogu u regulaciji šećera (Pasmans i sur., 2022). Grubišić i sur. (2022) su alge uzorkovali u blizini grada Šibenika, Jadrije i otoka Šolta, udio proteina u biomasi mikroalga određen je spektrofotometrijski, lipidne klase određene su pomoću tankoslojne klormatografije, a identifikacija i kvantifikacija spojeva provedena je analizom na uređaju za visoko učinkovitu tekućinsku kromatografiju.



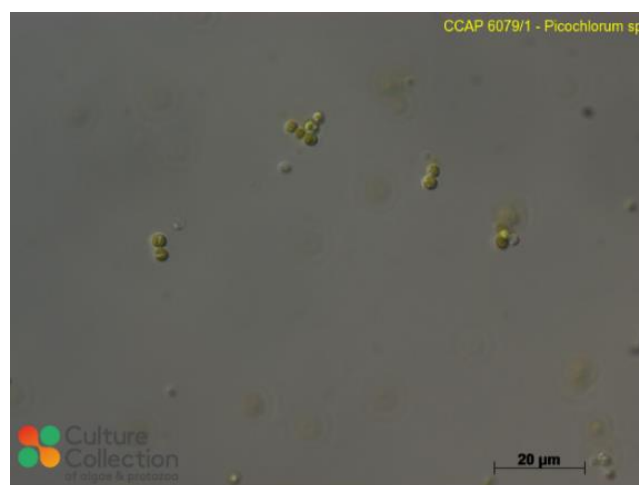
Slika 2. *Tetraselmis* sp.

<https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/tetraselmis>

### 3.3. *Picochlorum* sp.

Vrste roda *Picochlorum* ubrajamo u odjeljak Chlorophyta, a ovdje je dan pregled istraživanja na soju D3. Prema istraživanju Grubišić i sur. (2022), proteini su bili glavne makromolekule u biomasi ove alge. Biomasa *Picochlorum* sp. bila je bogata glikolipidima i fosfolipidima, glavnim komponentama kloroplasta mikroalga (Yao i sur., 2015). Glikolipidi pokazuju protuupalna, protutumorska, protubakterijska, protuviralna, protumikrobna, imunostimulativna svojstva, dok se fosfolipidi primjenjuju kao sastojak u funkcionalnoj hrani, kozmetici i farmaceutskim proizvodima (Yi i sur., 2017; Kellogg i sur., 2015). U visokoj koncentraciji pronađena je margarinska kiselina, čiji je značaj ranije opisan. Pronađene su visoke koncentracije pigmenata, osobito klorofila i karotenoida, te je ksantofil bio glavni karotenoid. Karotenoidi imaju ključnu ulogu u zaštiti organizma od velikog intenziteta svjetlosti (Pagels i sur., 2021) te djeluju kao antioksidansi u stanicama mikroalga s obzirom na izvrsnu sposobnost vezanja slobodnih radikala (Almendinger i sur., 2021). Jedan od glavnih identificiranih monosaharida bila je fukoza koja sudjeluje u reakcijama transfuzije krvi, adheziji leukocita i endotela posredovanoj selektinom, interakcijama domaćina i mikroba kao i u nekim patološkim procesima, uključujući rak i aterosklerozu (Becker i Lowe, 2003),

Ovo je alga od industrijskog interesa zbog svoje brze stope rasta, otpornosti na visoku temperaturu i salinitet te genetski podesivog nuklearnog i genoma kloroplasta (Dahlin i Guarnieri 2021). Grubišić i sur. (2022) algu su uzorkovali u blizini grada Šibenika, Jadrije i otoka Šolta, udio proteina u biomasi mikroalga određen je spektrofotometrijski, lipidne klase određene su putem tankoslojne klormatografije, a identifikacija i kvantifikacija spojeva provedena je analizom na uređaju za visoko učinkovitu tekućinsku kromatografiju.



Slika 3. *Picochlorum* sp. (<https://www.ccap.ac.uk/catalogue/strain-6079-1>)



### 3.4. *Nitzschia* sp.

Vrste roda *Nitzschia* ubrajamo u odjeljak Heretokontophyta razred Bacillariophyceae, a ovdje je dan pregled istraživanja na soju S5. Prema Grubišić i sur. (2022), glavne makromolekule pronađene u dijatomeji *Nitzschia* sp. bili su proteini (59,28 %), zbog čega se ova mikroalga može koristiti kao dodaci hrani i hrani za životinje. Identificirane su miristinska i eikosapentaenska kiselina, a njihov značaj u tome što miristinska kiselina smanjuje upalu kože i nocicepciju (Alonso-Castro i sur., 2021), dok eikosapentaenska kiselina služi za obranu od račića (Jüttner, 2001) te je dokazano kako sprječava kardiovaskularne bolesti i snižava kolesterol (Medina i sur., 1999). Sterilni esteri bili su brojniji od sterola, a pronađeni su i fukoksantin i karotenoidi. Ksantofil fukoksantin povezan je s antioksidativnim, protutumorskim, protuupalnim, neuroprotektivnim i protudijabetičkim djelovanjem pa se najčešće primjenjuje u medicinske i nutraceutičke svrhe (Fung i sur., 2013; Peng i sur., 2011). U algi *Nitzschia* sp. pronađen je i fenol, spoj koji u mikroalgama inducira antioksidativni odgovor uslijed povećane izloženosti UV svjetlosti (Duval i sur., 2000). Glavni monosaharid bila je fukoza, čiji je značaj već opisan. Grubišić i sur. (2022) algu su uzorkovali u blizini grada Šibenika, Jadrije i otoka Šolta, udio proteina u biomasi mikroalga određen je spektrofotometrijski, lipidne klase određene su pomoću tankoslojne klormatografije, a identifikacija i kvantifikacija spojeva provedena je analizom na uređaju za visoku učinkovitu tekućinsku kromatografiju.

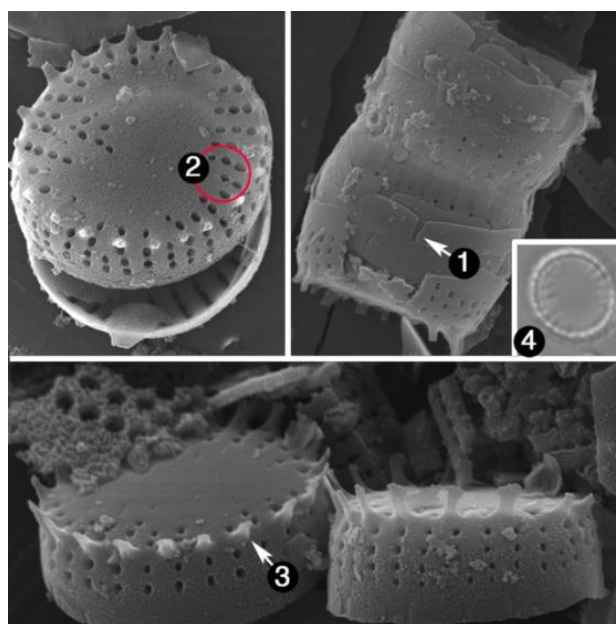


Slika 4. *Nitzschia* sp.

([http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB/Images/heterokontophyta/raphidineae/Nitzschia/sp\\_10b.html](http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB/Images/heterokontophyta/raphidineae/Nitzschia/sp_10b.html))

### 3.5. *Nanofrustulum shiloi*

*Nanofrustulum shiloi* ubrajamo u odjeljak Heretokontophyta razred Bacillariophyceae, a ovdje je dan pregled istraživanja na soju D1. Prema Grubišić i sur. (2022), dijatomeja *Nanofrustulum shiloi* sadržava velike količine neutralnih lipida (68,36 %), sadržaj proteina iznosio je 56,22 %, a ugljikohidrata 17,14 %. Velike količine lipida čine ovu vrstu potencijalnim izvorom obnovljivog i održivog stočnog hranjiva te postoji potencijal za primjenu u proizvodnji biodizela (Grubišić i sur. 2022). Fukoksantin je bio važan sastojak ove alge, a pronađene su velike količine arahidonske, eikosapentaenske i alfa-linolenske kiseline. Nezasićene masne kiseline jednostaničnih alga tvore membrane, dok zasićene masne kiseline služe kao rezerva energije (Alam i sur., 2020; Barkia i sur., 2019). Arahidonska kiselina ima ključnu ulogu u održavanju pravilne funkcije neurona (Tokuda i sur., 2014) i neurovaskularne membrane, a ima pozitivne učinke pri regulaciji središnjeg živčanog sustava, te kod oštećenja vida i sluha nedonoščadi (Crawford i sur., 2003). U istraživanjima je arahidonska kiselina povezana s citotoksičnim (Pompeia i sur., 2003) i protuupalnim učincima (Moradi i sur., 2016), a također induciraju apoptozu stanica nekoliko tipova raka debelog crijeva (Zhang i sur., 2015). Sve navedeno čini ovu algu obećavajućom vrstom u modernoj biotehnologiji (Blaginina i sur 2024). Grubišić i sur. (2022) algu su uzorkovali u blizini grada Šibenika, Jadrije i otoka Šolta, udio proteina u biomasi mikroalgi određen je spektrofotometrijski, lipidne klase određene su pomoću tankoslojne klormatografije, a identifikacija i kvantifikacija spojeva provedena je analizom na uređaju za visoko učinkovitu tekućinsku kromatografiju.



Slika 5. *Nanofrustulum shiloi* (<https://diatoms.org/genera/nanofrustulum>)

#### **4. BIOTEHNOLOŠKI POTENCIJAL MAKROALGA**

Makroalge su višestanični fotoautotrofni organizmi koji u morskom ekosustavu djeluju kao primarni proizvođači, a osim toga imaju i ključnu ulogu u strukturi morskog ekosustava tako što pružaju sklonište mlađi različitih organizama. U morskom okolišu makroalge najčešće rastu na stijinama, pijesku, mulju, koraljima ili na drugim morskim organizmima kao epifiti ili epizoe. Većina makroalga raste na čvrstom substratu obalnih voda gdje postoji velika količina nutrijenata i sunčeve svjetlosti potrebne za fotosintezu. Kao sesilni organizmi koji žive u turbulentnim staništima makroalge su morale razviti mehanizme obrane te se prilagoditi fluktuacijama u okolišu, zbog čega proizvode sekundarne metabolite koji imaju razne biološke i ekološke uloge i odgovorni su za njihovu dugu evolucijsku povijest. Morske makroalge izvrstan su izvor nutrijenata i bioaktivnih molekula sa širokim rasponom primjene u prehrambenoj, farmaceutskoj, kozmetičkoj i tekstilnoj industriji. Masne kiseline, polisaharidi, proteini, vitamini, minerali, pigmenti, polifenoli, amonikiseline, peptidi samo su neki od mnogih bioaktivnih spojeva makroalga. Posebno se ističu polisaharidi zbog velikog potencijala za komercijalnu upotrebu. Specifični su za svaku skupinu algi, pa tako zelene alge imaju polisaharid ulvan, smeđe alge imaju fukoidan, laminarin i alginat, a crvene alge imaju agar i karagenan (Samaraweera i sur., 2011). Višestruko nezasićene masne kiseline iznimno su važne za ljudsko zdravlje te pokazuju brojna biološka djelovanja kao što su zaštita kardiovaskularnog sustava, protuproliferativno djelovanje i protuupalno djelovanje (Barbosa i sur., 2014).

## 4.1. Crvene alge

Crvene alge ubrajamo u odjeljak Rhodophyta (Lee, 2008), a boja po kojoj je ova skupina alga dobila ime potječe od pigmenata iz skupine fikobiliproteina: fikoeritrina i fikocijanina. Crvene alge posjeduju i ostale pigmente kao što su klorofil a (klorofil b i c nisu zabilježeni), a za pojedine je svojste utvrđeno postojanje klorofila d, zatim  $\beta$ -karotena i brojnih ksantofila iz skupine karotenoida (Bold i Wynne, 1985). Žive na grebenima i stjenovitom morskom dnu, a neke manje vrste crvenih alga žive kao epibionti. Većinom su makrofiti i višestanični organizmi te mogu narasti do 1 metra. Za ovu se skupinu alga u literaturi veže najveći broj bioaktivnih spojeva (Cikoš i sur., 2019) kao i najveća raznolikost sekundarnih metabolita (Maschek i sur., 2008) u usporedbi s ostalim algama. Sulfatirani galaktan agar poznat je po svojim hidrokolooidnim svojstvima i širokoj upotrebi u mikrobiologiji, te je građevni element stanične stijenke. Osim njega važan je i karagenan koji jednako tako ima svojstva formiranja različitih gel stanja i sastavni je građevni element stanične stijenke crvenih alga. Monoterpeni crvenih alga osobito su zanimljivi zbog opisanog citotoksičnog djelovanja (El Gamal, 2010), a brojna istraživanja povezuju ih s protutumorskim djelovanjem protiv različitih vrsta tumora (Cikoš i sur., 2019). U raznim istraživanjima pripisuju im se citotoksična, protuvirusna, anthelmintička, protuupalna, neurofiziološka, insekticidna, protumikrobna i brojna druga svojstva (Kim, 2012).

### 4.1.1. *Asparagopsis taxiformis* (Delile) Trevisan de Saint-Léon (Ex. *A. sanfordiana*)

U Jadranskom je moru alga *A. taxiformis* invazivna vrsta, a Stipanović je (2020) uzorkovala na području Splita. Za ekstrakciju spojeva korištene su metode hidrodestilacije i mikroekstrakcije čvrstom fazom te za identifikaciju spojeva plinska kromatografija s masenom spektrometrijom. Glavni halogenirani ugljikovodici u ove vrste bili su tribrommetan i dibromjodmetan, od kojih treba istaknuti tribrommetan koji pokazuje anestetička svojstva (Kash i sur., 2003). Organohalogeni spojevi izolirani iz alga ključni su za njihovo preživljavanje. Morske alge skladište organohalogene spojeve u vezikularnim stanicama te ih na taj način mogu lako izlučiti i odbiti predatore (Gribble, 1994). Uz to, ova vrsta ima snažna protugljivična, protubakterijska i antiprotozoalna svojstva (Genovese i sur., 2009), a zanimljivo je istaknuti da kao dodatak hrani *Asparagopsis* učinkovito suzbija proizvodnju metana kod mliječnih krava (Roque i sur., 2019).



Slika 6. *Asparagopsis taxiformis*

(Izvor: <https://www.atlantisgozo.com/asparagopsis-taxiformis-red-algae/>)

#### 4.1.2. *Gracilaria gracilis* (Stackhouse) Steentoft, L.M.Irvine & Farnham, 1995

Alge is roda *Gracilaria* jedne su od najvažnijih prirodnih izvora agarnih polisaharida (Bourgougnon i Stiger-Pouvreau, 2012). *G. gracilis* ima velik potencijal za primjenu u brojnim industrijama, a osobito su zanimljivi fikobiliproteini i njihova primjena kao prirodna bojila za hranu i kozmetiku, kao proteini za ljudsku hranu i stočna hranjiva (Francavilla i sur., 2013a) te kao agarni polimeri koji bi se mogli koristiti kao prirodni predlošci za proizvodnju nanokristala metalnih oksida (Francavilla i sur., 2013b). Prema istraživanju Francavilla i sur. (2013b), provedenom u Južnom Jadranu u talijanskoj uvali Lesina, u crvenoj makroalgi *G. gracilis* identificirani su brojni fikobiliproteini, od kojih su najbrojniji R-fikoeritrin, alofikocijanin i fikocijanin. Zanimljiva je primjena fikobiliproteina u medicinskoj dijagnostici u obliku fluorescentnih markera (Francavilla i sur., 2015). Francavilla i sur. (2013b) su za dobivanje agara koristili metodu ekstrakcije potpomognute mikrovalovima.



Slika 7. *Gracilaria gracilis* (Izvor:

[https://www.aphotomarine.com/red\\_seaweed\\_gracilaria\\_gracilis.html](https://www.aphotomarine.com/red_seaweed_gracilaria_gracilis.html))

#### 4.1.3. *Amphiroa rigida* J.V. Lamouroux 1816

Cikoš i sur. (2022) su algu *Amphiroa rigida* uzorkovali u blizini Zadra (Šepurine), a za identifikaciju spojeva koristili su superkritični CO<sub>2</sub> te plinsku kromatografiju s masenom spektrometrijom. Prema njihovom istraživanju masne kiseline činile su najveći dio vršnih para ove alge; najznačajnije su bile heksadekanska kiselina, oleinska kiselina, miristinska kiselina, palmitoleinska kiselina i linolna kiselina. Heksadekanska kiselina bi se mogla koristiti kao prirodni antioksidans i protubakterijsko sredstvo u farmaceutskoj industriji jer je pokazala učinkovitost protiv *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli* i *Klebsiella pneumoniae* (Ganesan i sur, 2024), dok veliki broj istraživanja ukazuje na pozitivne učinke oleinske kiseline za ljudsko zdravlje kao što je smanjenje krvog tlaka i kolesterola, no s druge strane, zabilježeni su i negativni učinci ove kiseline za ljudsko zdravlje pa je stoga potrebno provesti daljnja istraživanja (Karacor i sur., 2015). Palmitoleinska kiselina posjeduje izrazito protuupalno djelovanje (Astudillo i sur, 2018) i protubakterijsku aktivnost protiv *S. aureus* (Watanabe i sur 2021), dok linolna kiselina pokazuje protuupalno djelovanje (Kolar i sur., 2019). Diterpenski alkohol (E)-fitol pronađen je u ovoj algi manjim količinama metodom superkritičnog CO<sub>2</sub> (Cikoš i sur., 2021) nego kad je korištena metode hidroddestilacije (Cikoš i sur., 2022). Ovom spoju pripisuju se protutoksična, protuupalna, protudijabetička, protumikrobna, protutumorska, protugljivična, protumutagena i antikonvulzivna aktivnost (Taj i sur, 2021). I koncentracija  $\beta$ -jonona razlikovala se s obzirom na metodu ekstrakcije, a ovaj spoj kod biljaka ima ulogu u odbijanju insekata (Havaux, 2014). U manjim količinama pronađeni su heptadekan i pentadekan. Heptadekan služi algama kao zaštita od oksidativnog

stresa, a u istraživanju provedenom na laboratorijskim štakorima dokazano je kako heptadekan djeluje na ekspresiju gena u bubrezima tako što suzbija oštećenja povezana sa starenjem (Kim i sur., 2013). Pentadekan ima sposobnost inhibicije rasta parazita *Leishmania infantum* (Bruno i sur., 2015). Kamenarska i sur. (2006) utvrdili su da se sastav vršnih para crvenih i smeđih alga većim dijelom sastoji od estera masnih kiselina i ugljikovodika, što potvrđuje istraživanje Cikoš i sur. (2022). Esteri masnih kiselina imaju važnu ulogu u komunikaciji između insekta i biljke, te je pretpostavka da na sličan način djeluju i kod alga (Kamenarska i sur., 2006). Uz to, postoji poveznica između antibiotskih svojstava nekih alga i stearinske, linolne, palmitinske, miritinske, laurinske i kaprinske kiseline (Kanas i sur., 1992), a sve su pronađene u istraživanju Cikoš i sur. (2022).



Slika 8. *Amphiroa rigida* (Izvor: <https://eol.org/pages/893305>)

## 4.2. Zelene alge

Zelene alge ubrajamo u odjeljak Chlorophyta (Lee, 2008), a boja po kojoj je ova skupina alga dobila ime rezultat je prisutnosti klorofila a i b u podjednakim udjelima. Naglo rastu u priobalnim vodama uz prisutnost visoke koncentracije nutrijenata kao i u onečišćenim vodama. Postoji preko 15000 vrsta zelenih alga te oko 500 rodova (Leliaert, 2019). U Mediteranskom moru pronađeno je otprilike 214 vrsta, te je u hrvatskom dijelu Jadrana zabilježeno 118 vrsta iz razreda Bryopsidophyceae, Chlorophyceae i Ulvophyceae. Po građi talusa zelene alge mogu biti nitaste, listolike, sjevaste, sifonalne i sifonokladalne (Antolić i sur., 2011). Zelene se alge najčešće koriste u prehrambenoj industriji te za izolaciju pigmenata. Spojevi izolirani iz zelenih alga povezuju se s protuupalnim, citotoksičnim, imunosupresivnim, protubakterijskim, protoplazmodijalnim, protuvirusnim, protumutagenim i protugljivičnim učincima (Kim, 2012). Posebno su zanimljivi polisaharidi poput ulvana, sulfatiranih ramnana, sulfatirani arabinogalaktana, sulfatiranih galaktana i sulfatirani manana kojima se pripisuju brojna biološka svojstva; antikoagulacijska, protuvirusna, protutumorska, antioksidativna, antihiperlipidemijska i antihepatotoksična svojstva (Wang i sur., 2014; Lee i sur., 2004).

### 4.2.1. *Flabellia petiolata* (Turra) Nizamuddin 1987

Algu *Flabellia petiolata* uzorkovali su Jerković i sur. (2018) u srednjem Jadranu, blizu otoka Mala Smokvica te su iz nje metodom mikroekstrakcije čvrstom fazom izolirali različite spojeve. Služeći se plinskom kromatografijom s masenom spektrometrijom u kemijskom profilu vršnih para *F. petiolata* identificirali su kao glavni spoj dimetil sulfid, visoko hlapljivi spoj koji djeluje kao kemoatraktor za fitoplankton, zooplankton, bakterije, ribe i morske ptice (Seymour i sur., 2010). Zatim, identificiran je tribrommetan, kao i razgradni produkti karetenoida, C13-norizoprenoidi  $\alpha$ -jonon,  $\beta$ -jonon i  $\beta$ -ciklocitral. Ovi su spojevi zanimljivi s obzirom da je  $\alpha$ -jonon povezan s poticanjem funkcija keratinocita i ubrzanim oporavkom epidermalne barijere (Yang i sur., 2023), dok je  $\beta$ -ciklocitral regulator rasta korijena biljaka (Dickinson i sur., 2019). U istom istraživanju je pronađen samo jedan monoterpen, 1,8-cineol, dok se među aldehydima ističu 3-metilbutanal, 3-metilbut-2-enal, heksanal i pent-1-en-3-ona. Spoj 1,8-cineol u istraživanjima je pokazao brojne farmakološke učinke od kojih su najznačajniji protuupalni i antioksidativni učinci, osim toga moguća je primjena ovog spoja u liječenju respiratornih i kardiovaskularnih bolesti, te Alzheimerove bolesti (Cai i sur., 2020), a



u tijeku su klinička istraživanja o učinku ovog spoja kod liječenja bronhitisa, astme i kronične opstruktivne plućne bolesti (Worth i sur., 2009). Uz to, u vršnim parama alge *F. petiolata* zastupljeni su viši aciklički ugljikovodici, uglavnom heptadekan i pentadekan čiji je značaj ranije opisan, a pronađeni su diktipteren D' i diktipteren C, dok su od fenilpropanskih derivata identificirani benzaldehid i fenilacetaldehid (Jerković i sur., 2018). Diktiptereni C i D imaju ulogu feromona (Nollet i sur., 2012). Benzaldehid je jedan od najvažnijih aromatskih aldehida te ima značajni industrijsku upotrebu u proizvodnji parfema i preradi pigmenata (Haffenden i sur., 2001), a u istraživanjima je pokazao protutumorska, protubakterijska i protugljivična svojstva (Lee i sur., 2014). Prirodni benzaldehid koristi se za izradu sredstava za aromatiziranje hrane te za proizvodnju industrijskih bojila i začina, a također se primjenjuje u farmaceutskoj industriji (Chen i sur., 2014). Kranjac i sur. (2020) u pregledu navode prisustvo brojnih alifatskih C-8 spojeva od kojih se ističu isparljivi feromon fukoseraten, te alifatskih spojeva do sedam atoma ugljika, među kojima su najzastupljeniji ketoni i aldehidi, među kojima se ističe keton 6-metilhept-5-en-2-on. koji se može koristiti kao prehrambeni aditiv (aroma) i kao sastojak mirisa (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6-Methylhept-5-en-2-ol#section=Uses>).



Slika 9. *Flabellia petiolata* (<https://doris.ffessm.fr/Especies/Flabellia-petiolata-Udotee-737>)

#### 4.2.2. *Codium bursa* (Olivi) C. Agardh 1817

Prema istraživanju Jerković i sur. (2019b) u hidrodestilatu svježeg uzorka alge *C. bursa* uzorkovane na području Srednjeg Jadrana u blizini otoka Iški Mrtovnjak pronađeni su viši zasićeni ugljikovodici heptadekan i dokozan te su također identificirani spojevi diizooktil-ftalat i dibutil-ftalat. Dokozan je značajan spoj u organskoj sintezi, a koristi se i kao sastojak mirisa (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Docosane#section=Uses>). U velikoj količini pronađeni su (E)-fitol i heksadekanska kiselina, ranije opisanog značaja. U vršnim parama alge pronađeni su niži alifatski alkoholi okt-1-en-3-ol i oktan-1-ol, kao i oksidirani alifatski spojevi heksan-1-ol, oktan-2,3-dion, 6-metilhept-5-en-2-on, 2-etilhept-5-en-2-on i (E)-okt-2-enal te alifatski aldehidi male molekulske mase; nonanal, oktanal i dekanal. Ovi aldehidi pokazali su protugljivično djelovanje protiv micelija *Aspergillus flavus* na sjemenkama kukuruza (Qian i sur., 2021) te uz daljnja istraživanja, mogu biti korišteni u prehrambenoj i agrikulturnoj industriji kao konzervatori žitarica. Aromatski spojevi benzaldehid i benzil-alkohol identificirani su u vršnim parama svježeg i suhog uzorka alge. Identificirani su  $\alpha$ -jonon i  $\beta$ -jonon čiji je značaj već opisan, te diterpenski alkohol 4-ketoizoforon, industrijski važan intermedijer u sintezi karotenoida i aroma (<https://www.medchemexpress.com/ketosisophorone.html>). Sveukupno je pronađeno 19 masnih kiselina među kojima je oleinska kiselina bila glavna, potom su slijedile palmitinska kiselina, linolna i stearinska kiselina, koja ima ulogu u metabolizmu inzulina (Tsuchiya i sur., 2013). Jerković i sur. (2019b) su tijekom istraživanja kemijskog profila alge koristili hidrodestilaciju, mikroekstrakciju čvrstom fazom i superkritičnim CO<sub>2</sub> te plinsku kromatografiju s masenom spektrometrijom. Prema istraživanju Cikoš i sur. (2022), koji su za metodu koristili ekstrakciju superkritičnim CO<sub>2</sub> te plinsku kromatografiju s masenom spektrometrijom glavni spojevi pronađeni u *C. bursa* bili su heksadekanska kiselina, oleinska kiselina, tetradekanska kiselina, palmitoleinska kiselina, linolna kiselina i pentadekanska kiselina čija je uloga već opisana. Ovi autori su algu uzorkovali u blizini poluotoka Rtina u Srednjem Jadranu. Kranjac i sur. (2020) u pregledu navode kako je najzastupljeniji spoj u vršnim parama svježeg uzorka alge *C. bursa* bio je dimetil sulfid, dok je u suhom uzorku postotak dimetil sulfida bio znatno manji. Drugi po redu najzastupljeniji spoj vršnih para svježeg uzorka bio je heptadekan. Pronađeni su i ostali zasićeni ugljikovodici kao pentadekan, heksadekan, oktadekan, nonadekan, čija je uloga ranije opisana, te su pronađeni alkani (E)-heptadek-8-an koji je među najvažnijim komponentama okusa alga (Akakabe et al., 2005) te nonadek-1-an koji ima protumikrobnu aktivnost (Hsouna i sur., 2011).



Slika 10. *Codium bursa*

(<https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=image&tid=145079&pic=48558>)

#### 4.2.3. *Codium adhaerens* C.Agardh, 1822

Radman i sur. (2021) su algu *Codium adhaerens* uzorkovali u blizini poluotoka Rtina/Paška vrata, a za izolaciju kemijskih spojeva koristili su svježi i suhi uzorak koji su podvrgli indirektnoj mikroekstrakciji čvrstom fazom i hidrodestilaciji te plinskoj kromatografiji s masenom spektrometrijom. Prema njihovom istraživanju ova alga bila je bogata omega 6 masnim kiselinama što znači da je potencijalan izvor višestruko zasićenih masnih kiselina značajnih u ljudskoj i životinjskoj prehrani. Dimetil sulfid bio je glavni spoj pronađen u svježem uzorku *C. adhaerens*, dok je u suhom uzorku najviše je bilo alkana, od koji je heptadekan bio glavni. U suhom uzorku također su identificirana tri organojoda: jodometan, dijodometan i 1-jodopentan. Bravo-Linares i sur. (2010) dokazali su da alge proizvode veće koncentracije jodiranih spojeva, osobito jodometan, kao odgovor na stres. Radman i sur. (2021) su zabilježili značajan porast derivata klorofila i produkata razgradnje karetenoide (norizoprenoidi) u suhom uzorku *C. adhaerens*; udio (E)-fitola i njegovog oksidacijskog produkta fitona porastao je za vrijeme sušenja, što upućuje na razgradnju klorofila. U svježem uzorku pronađena su dva C10-norisoprenoida (safral i  $\beta$ -ciklocitral) te C13-norisoprenoid ( $\beta$ -jonon), čiji je značaj već naveden, a identificirani su i manje polarni spojevi: derivati klorofila, masne kiseline, gliceridi, terpeni, steroidi i karotenoidi. Karotenoidi, klorofili i masne kiseline imaju primjenu kao dodaci hrani, steroidi iz zelenih algi povezani su sa ženskom plodnošću (Arini, 2021), a terpenoidi

moгу biti potencijalni izvor antioksidansa za terapiju raka (Ferdous i Yusof, 2021). Uz to, otkriveni su i brojni spojevi s antioksidativnim svojstvima: fukoksantin, feofitin a i feoforbid a. Feofitin a je povezan s protuupalnim (Okai i sur., 1997) i antioksidativnim (Nishibori i sur.,1998) djelovanjem, dok je feoforbid fotosenzibilizator koji je pokazao protuproliferativne učinke na nekoliko vrsta tumora (Saide i sur., 2020).



Slika 11. *Codium adhaerens*

(Izvor: [https://www.algaebase.org/search/species/detail/?species\\_id=241](https://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=241))

#### 4.2.4. *Ulva lactuca* Linnaeus, 1753

Za potreba istraživanju Botić (2018) zelena alga *Ulva lactuca* uzorkovana je na lokaciji Lučka kapetanija u Splitu, a ekstrakcija se provodila različitim otapalima pri različitim temperaturama. Prema istom istraživanju, najveća koncentracija ukupnih fenola kod alge *U. lactuca* identificirana je u acetonskom ekstraktu pripremljenom pri temperaturi od 40°C, najveća koncentracija flavonoida pronađena u vodenom ekstraktu pripremljenom pri 20°C, a najveća vrijednost ukupnih tanina pronađena je u acetonskom ekstraktu pripremljenom pri 40°C. Većina fenolnih spojeva alga ima široku paletu bioloških aktivnosti, poput protudijabetičkih, protuupalnih, protumikrobnih, protuvirusnih, protualergijskih, protudijabetičkih, antioksidativnih, protiv fotostarenja, protiv svraba, hepatoprotektivnih, hipotenzivnih, neuroprotektivna i protutumorska svojstva, flavonoidi se istražuju u medicini vezano za njihovu potencijanu ulogu u protudijabetičkom području (Cotas i sur., 2020) dok tanini igraju vrlo značajnu ulogu kao sirovina za održive zelene industrije (Singh i Kumar, 2019). Uz to, vrste roda *Ulva* posjeduju fitokemikalije s antioksidativnim, protuvirusnim, protutumorskim,

protuupalnim i imunomodulatornim svojstvima (de Jesus Raposo i sur., 2015). Pal i sur. (2021) dokazali su kako kloroformne frakcije alge *U. lactuca* uspješno induciraju smrti stanica raka vrata maternice, dok je u istraživanju Anjali i sur. (2019) *U. lactuca* pokazala izvrsna protubakterijska svojstva protiv *E. coli*, *K. pneumonia* i *Salmonella typhi*.



Slika 12. *Ulva lactuca*

(Izvor: <https://www.biolib.cz/en/taxonimage/id7080/?taxonid=138096&type=1>)

## Smeđe alge

Smeđe alge ubrajamo u odjeljak odjeljak Heterokontophyta, razred Phaeophyceae. (Lee, 2008), a boja po kojoj je ova skupina alga dobila ime potječe od ksantofila i fukoksantina koji zbog svoje visoke koncentracije prikrivaju ostale pigmente kao što su klorofil a i c,  $\beta$  karoteni i ostali ksantofili (Bold i Wynne, 1985). Polisaharid krizolaminarin je glavna rezervna tvar smeđih alga. Ove alge često rastu u turbulentnim vodama s jakim strujanjima te su za prilagodbu razvile visoku elastičnost koju postižu pomoću skupine fikokoloida zvanih alginati u staničnoj stijenci. Mogu biti mikroskopske veličine, pa sve do najvećih alga, kelpova, no najčešće su makrofiti. Gotovo sve vrste žive u moru, uglavnom pričvršćene za stijene do 10 metara dubine. Česti su obraštajni organizmi drugih alga i morskih cvjetnica (epifiti), mogu živjeti u talusu drugih alga (endofiti), a ponekad se mogu naseliti i na životinje (epizooiti). Najzastupljenija su skupina alga u kozmetičkoj i farmaceutskoj industriji. Opisana su citotoksična, protutumorska, nematocidna, protugljivična, protuupalna, algicidna, hepatoprotektivna, antioksidativna i brojna druga svojstva povezana sa spojevima izoliranim iz ove skupine alga (Kim, 2012). U Jadranskom moru poznato je 170 vrsta smeđih alga iz 11 taksonomskih redova (Antolić i sur., 2011).

### 4.3.1. *Halopteris filicina* (Grateloup) Kützinger 1843

Jerković i sur. (2018) su algu *H. filicina* uzorkovali na području Srednjeg Jadrana u blizini otoka Mala Smokvica, a za izolaciju spojeva koristili metodu indirektnu mikroekstrakcije čvrstom fazom te plinsku kromatografiju s masenom spektrometrijom. Glavni pronađeni spoj bio je dimetil sulfid, što znači da je ova vrsta izvor sumporovih spojeva u morskom ekosustavu. Uz to su pronađeni C8 spojevi: isparljivi feromon fukoseraten i benzaldehid, C17 alkani te halogenirani ugljikovodici tribrommetan i 1-jodopentan. Poznato je kako halogenirani spojevi vršnih para sudjeluju u obrambenim mehanizmima alge (Franssen, 1994), dok benzaldehid posjeduje insekticidna, antioksidativna, protumikrobna svojstva i stoga je moguća njegova primjena u poljoprivredi (Ullah i sur., 2015). Nadalje, Jerković i sur. (2018) su identificirali alifatske spojeve do sedam ugljikovih atoma, posebno ketone i aldehide (3-metilbutanala, 3-metilbut-2-enala, heksanala i pent-1-en-3-ona) koji su u literaturi povezani s antibiotskim učincima (Lincoln i sur., 1991), a dokazano je protuupalno djelovanje ketona izoliranih iz smeđe alge *Sargassum fulvellum* (Kim i sur., 2019). Pronađena su dva C11-

ugljikovodika, diktiopteren D' i diktiopteren C'. Druga skupina zastupljenih alifatskih spojeva pronađenih u vršnim parama *H. filicina* su viši aciklički ugljikovodici poput heptadekana i pentadekana, a među C8-spojevima se ističu se oktan-1-ol, oktanal, oktan-3-on, (3E)-okta-1,3-dien, (3E,5Z)-okta-1,3,5-trien te okt-1-en-3-ol. Zatim, pronađeni su i razgradni produkti karetenoida, C13-norizoprenoidi  $\alpha$ -jonon,  $\beta$ -jonon i  $\beta$ -cklocitral. Biotehnološki značaj ovih spojeva naveden je ranije.



Slika 13. *Halopteris filicina*

(Izvor: <https://www.marlin.ac.uk/species/detail/28>)

#### 4.3.2. *Halopteris scoparia* (Linnaeus) Sauvageau 1904

Čagalj i sur. (2022) uzorkovali su algu *Halopteris scoparia* u blizini otoka Čiova, a za izolaciju kemijskih spojeva koristili su svježi i suhi uzorak koji su podvrgli metodi indirektno mikroekstrakcije čvrstom fazom i hidrodestilaciji te plinskoj kromatografiji s masenom spektrometrijom. Prema njihovom istraživanju, najbrojniji spojevi vršnih para *H. scoparia* bili su benzaldehid, pentadekan i pentadek-1-an, o čijoj potencijalnoj biotehnološkoj važnosti se ranije pisalo. Također su identificirani terpeni od kojih je najznačajniji seskviterpen germakren D koji na receptorima neurona djeluje kao feromon i sudjeluje u interakciji "biljka-insekt" (Stranden i sur., 2002), a također odbija razne parazite kao što su komarci i krpelji na biljkama (Kiran i sur., 2007; Bruce i sur., 2005). Setzer i sur. (2006) utvrdili su kako germakren D ima i protutumorska svojstva. Pronađen je (E)-fitol, diterpenski alkohol koji je pokazao

protumikrobna (Saha i Bandyopadhyay, 2020), protuupalna (Silva i sur., 2014) i protutumorska svojstva (Kim i sur., 2015), te su pronađeni i ostali diterpenski alkoholi (izopačidiktol A i cembra-4,7,11,15-tetraen-3-ol) te seskviterpenski alkohol gleenol (Čagalj i sur., 2022). Skupina seskviterpena posebno je zanimljiva zbog širokog spektara bioloških svojstava od kojih su neka; protutumorska (Barbier i sur., 2001), protubakterijska (Bach i sur., 2011), protuupalna i citotoksična (Mathema i sur., 2012). Uz to, značajni su kao kemotaksonomski markeri (Masuda i sur., 1996), dok je za gleenol dokazano da ima i protuhelminthska svojstva te regulira rast na listovima biljaka (Bozan i sur., 1999).



Slika 14. *Halopteris scoparia*

(Izvor: [https://www.aphotomarine.com/brown\\_seaweed\\_halopteris\\_scoparia.html](https://www.aphotomarine.com/brown_seaweed_halopteris_scoparia.html))

#### 4.3.3. *Dictyota dichotoma* (Hudson) J.V.Lamouroux 1809

Prema istraživanju Jerković i sur. (2018) najzastupljeniji spoj vršnih para alge *Dictyota dichotoma* uzorkovane u blizini otoka Mala Smokvica u Srednjem Jadranu bio je seskviterpen germakren D. Pronađeni su brojni drugi seskviterpeni od kojih su najznačajniji germakren B,  $\delta$ -kadinen,  $\gamma$ -kadinen,  $\beta$ -kadinen, trans-kadina-1,4-dien koji imaju protugljivična svojstva (Kundu i sur., 2013) te skviterpen biciklogermakren koji je u istraživanjima pokazao protugljivične (Silva i sur., 2007) i protubakterijske učinke (Esteves i sur., 2005). Identificirani su ketoni 6-metilhept-5-en-2-on i okt-1-en-3-on, kao i isparljivi feromon fukoseraten čiji je



značaju ranije opisan. Za ekstrakciju spojeva Jerković i sur. (2018) koristili su indirektnu mikroekstrakciju čvrstoj fazi te plinsku kromatografiju s masenom spektrometrijom. I Radman i sur. (2022a) su proučavali ovu algu, uzorkovanje su obavili u blizini otoka Čiova, a za izolaciju i identifikaciju spojeva koristili su hidrodestilaciju i indirektnu mikroekstrakciju čvrstoj fazi te plinsku kromatografiju s masenom spektrometrijom. Prema njihovom istraživanju glavni spojevi identificirani u svježem uzorku alge *D. dichotoma* bili su pentadekan i okt-1-en-3-ol, o čijem značaju je već pisano. Najbrojnija skupina isparljivih spojeva bili su terpeni, od kojih su glavni bili diterpeni izopačidiktol A i alkohol cembra-4,7,11,15-tetraen-3-ol. Izopačidiktol A i njegovi izomeri su pokazali snažan protutrombotski učinak putem inhibicije trombina (Pereira i sur., 2017), dok u prirodi cembranoidi mogu djelovati kao kemijski obrambeni spojevi (Lai i sur., 2017). Uz to, ovi diterpeni kao i većina ostalih, povezani su s biološkim učincima kao što su protuvirusni i citotoksični učinci, a također djeluju kao kemijska obrana (Chen i sur., 2018). Među seskviterpenima glavni spoj je bio gleenol čija je aktivnost već navedena. Glavni spojevi dobiveni hidrodestilacijom svježe alge bili su diterpeni izopačidiktol A te njegov izomer pačidiktol A.



Slika 15. *Dictyota dichotoma*

(Izvor: V. Botić)

#### 3.2.4. *Taonia atomaria* (Woodward) J. Agardh 1848

Jerković i sur. (2019a) su uzorkovali algu *Taonia atomaria* u blizini otoka Visa a za ekstrakciju i identifikaciju spojeva koristili su metodu hidrodestilacije i mikroekstrakcije na čvrstoj fazi te plinsku kromatografiju s masenom spektrometrijom. Prema njihovom istraživanju seskviterpeni su bili najzastupljenija skupina spojeva u vršnim parama alge, među kojima je glavni seskviterpen svježeg uzorka te alge bio germakren D, dok su ostali značajniji spojevi bili epibiciklozeskvifelandren, kadina-3,5-dien, trans-kadina-1(6),4-dien, zonaren,  $\beta$ -kubeben i seskviterpenski alkohol gleenol. Epibiciklozeskifelandren bi mogao biti povezan s antidermatofitskim djelovanjem (Kuiate i sur 2006), a aktivnost ostalih spojeva već je opisana. Od zanimljivijih spojeva pronađenih u destilatu alge ističu se dimetil sulfid, diterpen pačidiktol A i seskviterpen  $\delta$ -kadinol koji pokazuje citotoksično djelovanje, a postoji i mogućnost njegove primjene kao novog i održivog sredstva protiv tumora (Ringel i sur., 2022).



Slika 16. *Taonia atomaria*

(Izvor: [https://www.seaweed.ie/descriptions/Taonia\\_atomaria.php](https://www.seaweed.ie/descriptions/Taonia_atomaria.php))

#### 3.2.5. *Fucus virsoides* J. Agardh 1868

Prema istraživanju Jerkovića i sur. (2021), glavni spojevi u svježem uzorku alge *F. virsoides* bili su pentadekan i pentadek-1-an, dok su u suhom uzorku to bili niži alifatski spojevi, benzaldehid i benzil alkohol o čijoj potencijalnoj biotehnološkoj važnosti se ranije pisalo. Primjenom metode hidrodestilacije svježeg uzorka najbrojniji su bili alkani pentadek-1-an i

(E)-pentadek-7-an, dok je hidrodestilat suhog uzorka bio bogat aldehidom tridekanalom koji se često koristi u proizvodnji parfema (Janus i sur., 2019). Pronađene su oleinska, arahidonska kiselina i miristinska kiselina, čiji je značaj također opisan. Među karotenoidima identificiran je fukoksantin, dok je feofitin a bio glavni spoj među derivatima klorofila. Jerković i sur. (2021) su koristili hidrodestilaciju i mikroekstrakciju čvrstom fazom te plinsku kromatografiju s masenom spektrometrijom, a algu su uzorkovali u Srednjem Jadranu, u Novigradskom moru.

Prema istraživanju Cikoš i sur. (2022) ekstrakt *F. virsoides* bio je bogat masnim kiselinama, među kojima je oleinska kiselina bila glavna, zatim su slijedile tetradekanska, heksadekanska, oktadekanska i palmitoleinska kiselina. U manjim količinama pronađeni su terpen dihidroaktinidiolid i monoterpenoid hidroksilakton loliloid. Loliloid je posebno zanimljiv upravo zato što posjeduje brojna antioksidativna svojstva (Yang i sur., 2011), svojstva inhibitora klijanja kao i repelentna svojstva (Okunade i Wiemer, 1985) te imunosupresivno djelovanje (Okada i sur., 1994). Također, opisano je inhibitorno djelovanje na rast i proliferaciju mišje limfocitne leukemije i humanog nazofaringealnog karcinoma (Pettit i sur., 1980). Cikoš i sur. (2022) su koristili ekstrakciju superkričnim CO<sub>2</sub>, te plinsku kromatografiju s masenom spektrometrijom, a algu su uzorkovali u Novigradskom moru.

Dobrinčić i sur. (2021) koji su ovu algu uzorkovali na jugozapadnoj obali Novigradskog mora te su za ekstrakciju spojeva koristili ekstrakciju potpomognutom mikrovalovima i ubranu ekstrakciju otapalima pri povišenom tlaku identificirali su glukozu, fukozu, arabinozu te galakturonsku kiselinu koja je povezana s antioksidativnim i protutumorskim djelovanjem (Hosseini Abari i sur 2021).



Slika 17. *Fucus virsoides*

(Izvor: [https://dalibor-andres.from.hr/uw/jas\\_002.htm](https://dalibor-andres.from.hr/uw/jas_002.htm))

### 3.2.6. *Dictyopteris polypodioides* (A.P.De Candolle) J.V.Lamouroux 1809

Prema istraživanju Cikoš i sur. (2022), glavni spoj pronađen u uzorku alge *Dictyopteris polypodioides* bio je 3-heksil-4,5-ditiacikloheptanon, nakon njega slijedile su heksadekanska kiselina i oleinska kiselina. Pronađeni su C11-ugljikovodici, diktiopteren A i diktiopteren C, koji djeluju kao feromoni, dok njihovi razgradni produkti služe algama kao kemijska obrana (Maschek i sur., 2008). Diktioptereni se često koriste u proizvodnji kozmetičkih ili farmaceutskih proizvoda, a često se nalaze u parfemima i dezodoransima (Kajiwara i sur., 2003; Gedouin i sur., 2007). Cikoš i sur. (2022) algu su uzorkovali u blizini otoka Čiovo, a za metodu ekstrakcije koristili su ekstrakciju superkritičnim CO<sub>2</sub> te plinsku kromatografiju s masenom spektrometrijom.



Slika 18. *Dictyopteris polypodioides*

(Izvor: [https://www.seaweed.ie/descriptions/Dictyopteris\\_polypodioides.php](https://www.seaweed.ie/descriptions/Dictyopteris_polypodioides.php))

### 3.2.7. *Gongolaria barbata* (Stackhouse) Kuntze 1891

Prema istraživanju Cikoš i sur. (2022), glavni spoj pronađen u algi *Gongolaria barbata* bila je heksadekanska kiselina, a identificirane su palmitoleinska, oktadekanska, tetradekanska, heptadekanska, pentadekanska, oleinska i linolna kiselina te (E)-fitol čiji je značaj već naveden. U kemijskom profilu vršnih para svježih uzoraka *G. barbata* pronađeni su seskviterpeni  $\tau$ -kadinol i  $\delta$ -kadinen, dok je kod suhih uzoraka zabilježen pad količine seskviterpena. Seskviterpen  $\tau$ -kadinol se često zbog svog mirisa, koristi u prehrambenoj i kozmetičkoj industriji kao dodatak eteričnim uljima i začinima (Sun i sur., 2022). U istraživanjima je povezan s baktericidnim (Claeson i sur., 1992), fungicidnim i insekticidnim

djelovanjem (Wu i sur., 2005). Prema Takei i sur. (2006)  $\tau$ -kadinol pokazao je protutumorska svojstva, a osim toga u istraživanjima je zabilježena i njegova uloga relaksatora glatkog mišića, te su potrebna daljnja klinička istraživanja kako bi odredili potencijal ovog spoja i moguću primjenu u medicinske svrhe (Claeson i sur., 1991). Cikoš i sur. (2022) algu su uzorkovali u blizini mjesta Šepurine u okolici Zadra, te su za ekstrakciju i identifikaciju spojeva koristili superkritični CO<sub>2</sub> i plinsku kromatografiju s masenom spektrometrijom.

Prema istraživanju Radman i sur. (2022c), u eteričnom ulju svježeg uzorka ove alge pronađeni su alifatski spojevi, od kojih je oktadekan-1-ol bio glavni spoj, dok su u eteričnom ulju suhog uzorka ove alge pronađene linolna i oleinska kiselina te (E)-fitol. U vršnim parama ove alge pronađeni su alkani pentadekan i heptadekan te seskviterpeni, osobito  $\tau$ -kadinol i  $\delta$ -kadinen. Glavni pigmenti bili su fukoksantin i  $\beta$ -karoten, a među masnim kiselinama ističu se palmitinska, stearinska, miristinska, oleinska i arahidonska kiselina. Biotehnološki značaj ovih spojeva je ranije opisan. Radman i sur. (2022c) koristili su hidrodestilaciju i mikroekstrakciju čvrstom fazom te plinsku kromatografiju s masenom spektrometrijom, a algu su uzorkovali u blizini Zadra.



Slika 19. *Gongolaria barbata*

(Izvor: [https://www.inaturalist.org/taxa/1183115-Gongolaria-barbata/browse\\_photos](https://www.inaturalist.org/taxa/1183115-Gongolaria-barbata/browse_photos))

### 3.2.8. *Ericaria crinita* (Duby) Molinari & Guiry, 2020

Prema istraživanju Radman i sur. (2022b), u algi *Ericaria crinita* identificirani su amidi viših alifatskih kiselina (palmitoleamid, linoleamid, oleamid i erukamid) koje izlučuje štetna alga *Prymnesium parvum* (Bertin i sur., 2012). Oleamid je i endogena bioaktivna molekula koja algama služi za signalizaciju i pri tom aktivira različite biološke i farmakološke učinke (Cravatt i sur., 1995; Yang i sur., 2016). Pronađeni su i viši terpeni loliolid, izoamijiol i  $\beta$ -stigmasterol. Loliolid je pokazao je umjereno antioksidativno djelovanje (Yang i sur., 2011), izoamijol je povezan s insekticidnom aktivnosti protiv egipatskog komarca *Aedes aegypti* (Kilic i sur., 2021), a stigmasterol ima protudijabetički potencijal, smanjuje hiperglikemijske učinke i stoga se može koristiti kao dodatak prehrani za dijabetičare (Poulose i sur., 2021). Pronađen je fukoksantin, glavni karotenoid smeđih alga, te derivati klorofila feofitin a i b čiji je značaj već opisan. Radman i sur. (2022b) algu su uzorkovali jugozapadno od Novigradskog mora, a za ekstrakciju su koristili ekstrakciju čvrstom fazom.

Prema istraživanju Radman i sur. (2022c), najbrojniji spojevi pronađeni u algi *E. crinita* bili su diktiopteren D i C, (E)-fitol, izopačidiktol A, heksadekanska, palmitinska, stearinska i miristinska kiselina, te izomeri oleinske kiseline i arahidonske kiseline, a glavni pigmenti bili su fukoksantin i klorofil *a*. Biotehnološki značaj ovih spojeva naveden je ranije. Radman i sur. (2022c) koristili su hidrodestilaciju i mikroekstrakciju čvrstom fazom te plinsku kromatografiju s masenom spektrometrijom, a algu su uzorkovali na jugozapadnoj obali Novigradskog mora.



Slika 20. *Ericaria crinita* (Izvor: <https://www.fucaleanforests.com/about-the-project/ericaria-crinita-duby-molinari-guiry-2020/>)

3.2.9. *Ericaria amentacea* (C. Agardh) Molinari & Guiry 2020 (ex. *Cystoseira amentacea* (C. Agardh) Bory de Saint-Vincent, 1832)

Prema istraživanju Cikoš i sur. (2022) glavni spojevi pronađeni u algi *Ericaria amentacea* bile su masne kiseline; heksadekanska kiselina, palmitoleinska kiselina, oleinska kiselina, tetradekanska kiselina, linolna kiselina i oktadekanska kiselina. Identificirani su i *p*-anetol koji ima protumikrobno, protugljivično, protuhelminsko i insekticidno djelovanje (Marinov i Valcheva-Kuzmanova, 2015), zatim metil palminat koji ima protuupalno, antioksidativno i antiapoptotičko djelovanje što ga čini kardioprotektivnim sredstvom (Hamed i sur., 2020) te  $\beta$ -jonon čija je uloga ranije opisana. U ekstraktu *E. amentacea* pronađen je dibutil-ftalat koji je zanimljiv zbog svoje primjene u brojnim industrijskim proizvodima kao plastifikator ili otapalo (Namikoshi i sur., 2006). Također su, u istom istraživanju pronađeni ugljikovodici nonadekan i heptadekan, terpeni dihidroaktinidiolid i heksahidrofarnezil aceton. Cikoš i sur. (2022), algu su uzorkovali u blizini Dugog otoka, te su za ekstrakciju koristili superkritični CO<sub>2</sub> te plinsku kromatografiju s masenom spektrometrijom.

U svježem i suhom uzorku alge *E. amentacea* pronađeni su amidi viših alifatskih kiselina (palmitoleamid, linoleamid, oleamid, erukamid), zatim karotenoidi (fukoksantin) i derivati klorofila (feofitin a i b) te viši terpeni (loliolid, isoamijiol) (Radman i sur., 2022b). U istom istraživanju pronađeni su pentadekan, heptadekan, pentadekanal i heksan-1-ol. Glavni terpen bio je  $\delta$ -selinen koji je pokazao protubakterijsko i protugljivično djelovanje (Stephane i Jules, 2020). Radman i sur. (2022b) koristili su ekstrakciju čvrstom fazom te tekućinsku kromatografiju ultra visoke učinkovitosti s masenom spektrometrijom, a algu su uzorkovali u blizini Dugog otoka sjeverno od uvale Brbišić.



Slika 21. *Ericaria amentacea* (Izvor:

<https://www.marinespecies.org/photogallery.php?album=1033&pic=99484>)

3.2.10. *Treptacantha barbata* (Stackhouse) Orellana & Sansón 2019 (ex. *Cystoseira barbata* (Stackhouse) C. Agardh, 1820)

Dobrinčić i sur. (2021) uzorkovali su algu *Treptacantha barbata* u blizini Zadra te su za ekstrakciju koristili metode ekstrakcije potpomognute mikrovalovima i ubrzane ekstrakcije otapalima pri povišenom tlaku. Sulfatirani polisaharid fukoidan izoliran iz ove alge, u istraživanjima je povezan s brojnim bioaktivnim svojstvima, poput antikoagulantna, protuvirusna, protutumorska, protuupalna i protubakterijska svojstva (Dobrinčić i sur., 2020). Identificirani su saharidi arabinoza, glukoza, fukoza, ramnoza, fruktoza i galakturonska kiselina, čiju je značaj već ranije opisan.



Slika 22. *Treptacantha barbata*

(Izvor: [https://www.algaebase.org/search/species/detail/?species\\_id=Ua482f076280b7960](https://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=Ua482f076280b7960))

3.2.11. *Cystoseira corniculata* (Turner) Zanardini, 1841

Prema istraživanju Radman i Jerković (2022) u svježem i suhom uzorku alge *Cystoseira corniculata* najbrojniji su bili alifatski spojevi poput pentadekana i heptadekana te alifatskog



alkohola heksan-1-ola čiji je značaj već opisan. U svježem uzorku pronađeni su monoterpenni ( $\beta$ -ciklocitral,  $\beta$ -citral i  $\beta$ -ciklohomocitral) i seskviterpeni (kubenol,  $\beta$ -kubenen i germakren D), derivati benzena (benzil alkohol, fenol i benzaldehid), diktiopteren C' i D' te dimetil sulfid. Masne kiseline palmitinska, oleinska, miristinska i linolna o kojima je ranije pisano bile su najbrojniji spojevi hidrodestilata alge dok su esteri masnih kiselina, metil eikozanoat i butil stearat bili najbrojniji spojevi vršnih para alge. Ovi su spojevi zanimljivi jer se metil eikozanoat koristi kao analitički standard (<https://www.sigmaaldrich.com/HR/en/product/sial/10941>), a butil stearat je pokazao djelovanje protiv anemija srpastih stanica (Tshilanda i sur., 2014). Glavni terpen vršnih para *C. corniculata* bio je (E)-geranylgeraniol, spoj koji regulira proizvodnju testosterona (Ho i sur., 2018), u istraživanjima je pokazao protutumorska i antilišmanijska svojstva (Tokuhiro i sur., 2009), a postoji mogućnost njegove uporabe kao prekursora za sintezu vitamina A i E (Hyatt i sur., 2002). Pronađeni su i drugi terpeni (kubenol, seskviterpensi alkoholi i diterpensi alkoholi (cembra-4,7,11,15-tetraen-3-ol, pačidiktol A, izopačidiktol A i (E)- fitol o kojima je ranije pisano. Radman i Jerković (2022) algu su uzorkovali na Dugom otoku u uvali Luka, a za ekstrakciju su koristili hidrodestilaciju i mikroekstrakciju čvrstom fazom te plinsku kromatografiju s masenom spektrometrijom.



Slika 23. *Cystoseira corniculata* (Izvor: Lj. Iveša)

### 3.2.12. *Padina pavonica* (Linnaeus) Thivy, 1960

Za vrijeme istraživanja Jerković i sur. (2019a) u vršnim parama alge *Padina pavonica* pronađen je dimetil sulfid, oktan-1-ol i oktanal bili su glavni spojevi vršnih para *P. pavonica*. Ulje *P. pavonica* sadržavalo je mnogo diterpena i alifatskih spojeva, pronađeni su diktioterpen A i diktioterpen D' i alifatski alkoholi, viši alifatski esteri te diterpenski alkoholi trans-fitol i pačidiktol A čiji je značaj već opisan. Pronađeno je i nekoliko seskviterpena različitog djelovanja poput trans- $\alpha$ -bergamoten koji ima antioksidativne, protuupalne, imunosupresivne, citotoksične, protumikrobne, protudijabetičke i insekticidne učinke (Annaz i sur 2023),  $\alpha$ -humulena koji pokazuje protuupalno djelovanje (Viveiros i sur 2022) te  $\beta$ -bisabolena koji ima antikonvulzivno djelovanje (Orellana-Paucar i sur 2012). Jerković i sur. (2019a) su algu uzorkovali u blizini otoka Visa, a za ekstrakciju spojeva koristili su hidrodestilaciju i ekstrakciju čvrstom fazom te plinsku kromatografiju s masenom spektrometrijom.



Slika 24. *Padina pavonica*

(Izvor: [https://dalibor-andres.from.hr/uw/jas\\_001.htm](https://dalibor-andres.from.hr/uw/jas_001.htm))

## 5. ZAKLJUČAK

Zbog svoje kemijske i biološke raznolikosti morska i oceanska prostranstva su najistraživanija područja na Zemlji. Među brojnim morskim organizmima alge su vrlo značajan izvor bioaktivnih spojeva i kao takve predmet su brojnih istraživanja. Izoliranim spojevima iz alga se u brojnim znanstvenim publikacijama pripisuju razna svojstva: protutumorska, antioksidativna, protuvirusna, protubakterijska i brojna druga. Najčešće se koriste u prehrambenoj i farmaceutskoj industriji, u proizvodnji biogoriva, za bioremedijaciju, u agrikulturi i akvakulturi. Ovaj rad daje pregled dosadašnjih istraživanja kemijske raznolikosti alga Jadranskog mora s ciljem njihove primjene u biotehnologiji. Navedene su fiziološke funkcije pronađenih spojeva, s naglaskom na njihovu biotehnološku primjenu u različitim industrijama. Sveukupno je obrađeno 5 jednostaničnih i 19 višestaničnih bentoskih oblika alga koje su uzorkovane na 17 lokaliteta duž obale Jadranskog mora.

Udio proteina u biomasi mikroalga određen je spektrofotometrijski, lipidne klase određene su pomoću tankoslojne klormatografije, a identifikacija i kvantifikacija karotenoida i klorofila provedena je visoko učinkovitom tekućinskom kromatografijom. Mikroalge su bile bogate margarinskom, arahidonskom, glukuronskom, miristinskom, eikosapentaenskom i dokosaheksaenskom kiselinom, a također su izolirani i saharidi arabinoza, galaktoza i fukoza dok se među pigmentima ističu karotenoidi lutein i fukoksantin.

Za ekstrakciju i identifikaciju spojeva iz makroalga korištene su hidrodestilacija i ekstrakcija čvrstom fazom ili superkričnim CO<sub>2</sub> te plinska kromatografija s masenom spektrometrijom. Kod iste vrste morskih makroalga uočene su razlike u kemijskom sastavu identificiranih spojeva što se može pripisati primijenjenoj metodi izolacije, kao i genetskim čimbenicima populacije ili različitim uvjetima u morskim staništima. Među zanimljivijim spojevima izoliranih iz crvenih alga su halogenirani ugljikovodici, fikobiliproteini, masne kiseline (heksadekanska, oleinska, miristinska, palmitoleinska, linolna kiselina) (E)-fitol, heptadekan i β-jonon. Među najzastupljenijim spojevima zelenih alga bili su dimetil sulfid, tribrommetan, kao i razgradni produkti karotenoida, α-jonon, β-jonon i β-ciklocitral, diktipteren D' i diktipteren C, benzaldehid, heptadekan, masne kiseline (oleinska, palmitinska kiselina, linolna, stearinska) i diterpenski alkohol (E)-fitol. Najznačajniji spojevi izolirani iz smeđih alga bili su dimetil sulfid, masne kiseline (palmitinska, oleinska palmitoleinska, miritinska linolna, heksadekanska), zatim karotenoidi (fukoksantin) i derivati klorofila (feofitin a i b), (E)-fitol i pačidiktol A. Pronađeno je i nekoliko seskviterpena (τ-kadinol i δ-kadinen,

germakren D), seskviterpenski alkohol gleenol, te viši terpeni (loliolid, isoamijiol) Uz to, zabilježeni su pentadekan, heptadekan te diktiopteren C' i D', pentadekanal,  $\beta$ -jonon, a identificirani su saharidi fukoidan, arabinoza, glukoza, fukoza, ramnoza, fruktoza i galakturonska kiselina.

Jadransko more jedno je od najbolje očuvanih dijelova Mediterana, a unatoč istraživanjima obrađenima u ovom radu, kemijska raznolikost Jadrana slabo je istražena. Alge Jadranskog mora imaju bioaktivne spojeve kao što su pigmenti, masne kiseline, terpenoidi i sl. od kojih neki posjeduju antioksidativna, protuupalna, protubakterijska, protugljivična, protuviralna, protuhelminthska, protutumorska i druga svojstva, a neki sudjeluju u komunikaciji s okolišem kao i obrani od potencijlnih opasnosti iz tog okoliša. Nedvojbeno je da Republika Hrvatska, sa svojim pristupom Jadranskom moru i svim njegovim bioraznolikostima ima velik potencijal za razvoj biotehnologije alga. Kontinuirana istraživanja kemijske raznolikosti te poticanje istih, širenje svijesti o održivom i ekološki prihvatljivom iskorištavanju resursa (alga), suradnja među sektorima, tehnološko unapređenje, samo su neki od brojnih koraka koji se trebaju poduzeti kako bismo što efikasnije iskoristili biotehnološki potencijal alga u Jadranskom moru.

## 6. LITERATURA

Akakabe, Y., Washizu, K., Matsui, K., Kajiwara, T. 2005. Concise synthesis of (8Z,11Z,14Z)-8,11,14-heptadecatrienal, (7Z,10Z, 13Z)-7,10,13-hexadecatrienal, and (8Z,11Z)-8,11-heptadecadienal, components of the essential oil of marine green alga *Ulva pertusa*. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*. 69 (7): 1348-1352.

Alam, Md.A., Xu, J.L. Wang, Z. 2020. *Microalgae biotechnology for food, health, and high value products* (1st edition). Springer. Singapore. 483 pp.

Almendinger, M., Saalfrank, F., Rohn, S., Kurth, E., Springer, M., Pleissner, D. 2021. Characterization of selected microalgae and cyanobacteria as sources of compounds with antioxidant capacity. *Algal Research*. 53:102168.

Alonso-Castro, Á., Serrano-Vega, R., Gutierrez, S.P., Isidoria-Espinoza, M., Solorio-Alvarado, C. 2021. Myristic acid reduces skin inflammation and nociception. *Journal of food biochemistry*. 46(1):e14013.

Annaz, H., El Fakhouri, K., Ben Bakrim, W., Mahdi, I., El Bouhssini, M., Sobeh, M. 2023. Bergamotenes: A comprehensive compile of their natural occurrence, biosynthesis, toxicity, therapeutic merits and agricultural applications. *Critical Reviews In Food Science and Nutrition*. 6:1-20.

Antolić, B., Nikolić, V., Žuljević, A. 2011. Crveni popis morskih algi i morskih cvjetnica Hrvatske. 61.

Anjali, K.P., Sangeetha, B.M., Devi, G., Raghunathan, R., Dutta, S. 2019. Bioprospecting of seaweeds (*Ulva lactuca* and *Stoechospermum marginatum*): The compound characterization and functional applications in medicine-a comparative study. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 200:111622.

Arini, L. A. 2021. The study of sex steroid hormone compound in green algae (*Chlorophyta*) for female fertility: A literature review. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 913 012085.

Astudillo, A.M., Meana, C., Guijas, C., Pereira, L., Lebrero, P., Balboa, M.A., Balsinde, J. 2018. Occurrence and biological activity of palmitoleic acid isomers in phagocytic cells. *Journal of lipid research*. 59(2):237-249.

Bach, S.M., Fortuna, M.A., Attarian, R., de Trimarco, J.T., Catalan, C.A.N., Av-Gay, Y., Bach, H. 2011. Antibacterial and cytotoxic activities of the sesquiterpene of the sesquiterpene lactones cnicin and onopordopicrin. *Natural product communications*. 6(2):163-166.

Barbier, P., Guise, S., Huitorel, P., Amade, P., Pesando, D., Briand, C., Peyrot, V. 2001. Caulerpenyne from *Caulerpa taxifolia* has an antiproliferative activity on tumor cell line SK-N-SH and modifies the microtubule network. *Life Sciences*. 70(4):415-429.

Barbosa, M., Valentao, P., Andrade, P.B. 2014. Bioactive compounds from macroalgae in the new millenium: implications for neurodegenerative diseases. *Marine Drugs*. 12(9):4934-4972.

Barkia, I., Saari, N., Manning, S.R., 2019. Microalgae for high-value products towards human health and nutrition. *Marine Drugs*. 17(5):304.

Barsanti, L. i Gualtieri, P. 2014. *Algae: Anatomy, biochemistry, and biotechnology* (Second Edi). CRC Press. Pisa, Italy. 326.

Becker, D.J., Lowe, J.B. 2003. Fucose: biosynthesis and biological function in mammals. *Glycobiology*. 13(7), 41R–53R.

Begum, H., Yusoff, F.Md., Banerjee, S., Khatoon, H., Shariff, M. 2016. Availability and utilization of pigments from microalgae. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 56(13):2209-2222.

Bertin, M.J., Zimba, P.V., Beauchesne, K.R., Huncik, K.M., Moeller, P.D.R. 2012. Identification of toxic fatty acid amides isolated from the harmful alga *Prymnesium parvum* Carter. *Harmful Algae*. 20:111–116.

Blaginina, A., Zheleznova, S. N., Miroshnichenko, E.S., Gevorgiz, R., Ryabushko, L.I. 2024. the Diatom *Nanofrustulum shiloi* As a Promising Species in Modern Biotechnology. *Applied biochemistry and microbiology* 60(3):483–495.

Bold, H.C., Wynne, M.J. 1985. *Introduction to the Algae: Structure and Reproduction*, (2nd edn). Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ, 720 pp.

Botić, V. 2018. Utjecaj primijenjene metode ekstrakcije na izolaciju bioaktivnih komponenti iz jadranskih algi *Ulva lactuca*, *Dictyota dichotoma* i *Padina pavonica*. Završni rad, Sveučilište u Splitu. 39.

Bourgougnon, N. i Stiger-Pouvreau, V. 2012. Red and brown macroalgae along the French coasts, Metropole and overseas departments and territories. U: Kim, S.-K. (ur.). *Handbook of marine macroalgae: biotechnology and applied phycology* (first ed.). Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd. 58-105 pp.

Bozan, B., Ozek, T., Kurkcuglu, M., Kirimer, N., Can Baser, K.H. 1999. The analysis of essential oil and headspace volatiles of the flowers of *Pelargonium endlicherianum* used as an anthelmintic in folk medicine. *Planta Medica*. 65(8):781-782.

Bravo-Linares, C.M., Mudge, S.M., Loyola-Sepulveda, R.H. 2010. Production of volatile organic compounds (VOCs) by temperate macroalgae: The use of Solid Phase Microextraction (SPME) coupled to GC-MS as method of analysis. *Journal of the Chilean Chemical Society*. 55(2):227-232.

Bruce, T.J., Birkett, M.A., Blande, J., Hooper, A.M., Martin, J.L., Khambay, B., Prosser, I., Smart, L.E., Wadhams, L.J. 2005. Response of economically important aphids to components of *Hemizygia petiolata* essential oil. *Pest management science*. 61(11):1115-1121.

Bruno, F., Castelli, G., Migliazzo, A., Piazza, M., Galante, A., Lo Verde, V., Calderone, S., Nucatolo, G., Vitale, F. 2015. Cytotoxic Screening and In Vitro Evaluation of Pentadecane Against *Leishmania infantum* Promastigotes and Amastigotes. *The Journal of parasitology*. 101(6):701-705.

Cai, Z., Peng, J., Chen, Y., Tao, L., Zhang, Y., Fu, L., Long, Q., Shen, X. 2020. 1,8-Cineole: a review of source, biological activities, and application. *Journal of Asian Natural Products Research*. 23(10):938-954.

Carvalho, L.G., Pereira, L. 2014. Review of marine algae as source of bioactive metabolites: A marine biotechnology approach u: L. Pereira & J.M. Neto (Eds.) *Marine Algae: Biodiversity, Taxonomy, Environmental Assessment, and Biotechnology*. CRC Press. (pp. 195-227).

Chen, H., Ji, H. 2014. Effect of substitution degree of 2-hydroxypropyl  $\beta$ -cyclodextrin on the alkaline hydrolysis of cinnamaldehyde to benzaldehyde. *Supramolecular Chemistry*. 26(10-12): 796-803.

Chen, J., Li, H., Zhao, Z., Xia, X., Li, B., Zhang, J., Yan, X. 2018. Diterpenes from the Marine Algae of the Genus *Dictyota*. *Marine Drugs*. 16(5):159.

Chung, R.W.S., Leanderson, P., Lundberg, A.K., Jonasson, L. 2017. Lutein exerts anti-inflammatory effects in patients with coronary artery disease. *Atherosclerosis*. 262: 87-93.

Cikoš, A.-M., Aladić, K., Jokić, S., Živković, D., Jerković, I. 2022. Chemical profiles of less-volatile organic compounds from the Adriatic Sea macroalgae obtained by supercritical CO<sub>2</sub> extraction. *Croatian journal of food science and technology*. 14(2): 224-234.

Cikoš, A.-M., Flanjak, I., Bojanić, K., Babić, S., Čizmek, L., Čož-Rakovac, R., Jokić, S., Jerković, I. 2021. Bioprospecting of coralline red alga *Amphiroa rigida* J.V. Lamouroux: Volatiles, fatty acids and pigments. *Molecules*. 26(3): 520.

Cikoš, A.-M., Jurin, M., Čož-Rakovac, R., Jokić, S., Jerković, I. 2019. Update on Monoterpenes from Red Macroalgae: Isolation, Analysis, and Bioactivity. *Marine Drugs*. 17(9): 537.

Claeson, P., Radstorm, P., Skold, O., Nilsson, A., Hoglund, S. 1992. Bactericidal effect of the sesquiterpene  $\tau$ -cadinol on *Staphylococcus aureus*. *Phytotherapy Research*. 6(2): 94-98.

Claeson, P., Zygmunt, P., Hogestatt, E.D. 1991. Calcium antagonistic properties of the sesquiterpene  $\tau$ -cadinol: a comparison with nimodipine in the isolated rat aorta. *Pharmacology & Toxicology*. 69(3): 173-177.

Cotas, J., Leandro, A., Monteiro, P., Pacheco, D., Figueirinha, A., Gonçalves, A.M.M., da Silva, G.J., Pereira, L. 2020. Seaweed Phenolics: From Extraction to Applications. *Marine Drugs*. 18(8):384.

Courties, C., Perasso, R., Chretiennot, M.-J., Gouy, M., Guillou, L., Troussellier, M. 1998. Phylogenetic analysis and genome size of *Ostreococcus tauri* (Chlorophyta, Prasinophyceae). *Journal of Phycology*. 34(5): 844-849.

Cravatt, B.F., Prospero-Garcia, O., Siuzdak, G., Gilula, N.B., Henriksen, S.J., Boger, D.L., Lerner, R.A. 1995. Chemical characterization of a family of brain lipids that induce sleep. *Science*. 268(5216): 1506-1509.

Crawford, M.A., Golfetto, I., Ghebremeskel, K., Min, Y., Moodley, T., Poston, L., Phylactos, A., Cunnane, S., Schmidt, W. 2003. The potential role for arachidonic and docosahexaenoic acids in protection against some central nervous system injuries in preterm infants. *Lipids*. 38(4): 303-315.

Cribb, A. B. 1954. *Macrocystis pyrifera* (L.) Ag. in Tasmanian Waters. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*. 5(1):1-34

Čagalj, M., Radman, S., Šimat, V., Jerković, I. 2022. Detailed Chemical Prospecting of Volatile Organic Compounds Variations from Adriatic Macroalga *Halopteris scoparia*. *Molecules*. 27(15): 4997.

Dahlin, L.R., Guarnieri, M.T. 2021. Development of the high-productivity marine microalga, *Picochlorum renovo*, as a photosynthetic protein secretion platform. *Algal Research*, 54: 102197.

de Jesus Raposo, M.F., de Morais, A.M., de Morais, R.M. 2015. Marine polysaccharides from algae with potential biomedical applications. *Marine Drugs*. 13(5): 2967-3028.

Dickinson, A.J., Lehner, K., Mi, J., Jia, K.-P., Mijar, M., Dinneney, J., Al-Babili, S., Benfey, P.N. 2019.  $\beta$ -Cyclocitral is a conserved root growth regulator. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 116(21): 10563-10567.

Dobrinčić, A., Balbino, S., Zorić, Z., Pedisić, S., Kovačević, D.B., Garofulić, I.E., Dragović-Uzelac, V. 2020. Advanced technologies for the extraction of marine brown algal polysaccharides. *Marine Drugs*. 18(3): 168.



Dobrinčić, A., Pedisić, S., Zorić, Z., Jurin M., Roje, M., Čož-Rakovac, R., Dragović-Uzelac, V. 2021. Microwave Assisted Extraction and Pressurized Liquid Extraction of Sulfated Polysaccharides from *Fusuc virsoides* and *Cystoseira barbata*. *Foods*. 10(7): 1481.

Dufourc, E.J. 2008. Sterols and membrane dynamics. *Journal of chemical biology*, 1(1-4): 63-77.

Duval, B., Shetty, K., Thomas, W.H. 1999. Phenolic compounds and antioxidant properties in the snow alga *Chlamydomonas nivalis* after exposure to UV light. *Journal of Applied Phycology*. 11(6), 559-566.

El Gamal, A.A. 2010. Biological importance of marine algae. *Saudi pharmaceutical journal*. 18(1):1-25.

Esteves, I., Souza, I.R., Rodrigues, M., Cardoso, L.G.V., Santos, L.S., Sertie, J.A.A., Perazzo, F.F., Lima, L.M., Schneedorf, J.M., Bastos, J.K., Carvalho, J.C.T. 2005. Gastric antiulcer and anti-inflammatory activities of the essential oil from *Casearia sylvestris* Sw. *Journal of ethnopharmacology*. 101(1-3):191-196.

Ferdous, U. T., Yusof, Z. N. B. 2021. Algal Terpenoids: A Potential Source of Antioxidants for Cancer Therapy. *Sec. Pharmacology of Anti-Cancer Drugs*. 12.

Francavilla, M., Franchi, M., Monteleone, M., Caroppo, C. 2013a. The Red Seaweed *Gracilaria Gracilis* as a Multi Products Source. *Marine Drugs*. 11(10): 3754-3776.

Francavilla, M., Pineda, A., Lin, C.S.K., Franchi, M., Trotta, P., Romero, A.A., Luque, R. 2013b. Natural porous agar materials from macroalgae. *Carbohydrate Polymers*. 92(2): 1555-1560.

Francavilla, M., Manara, P., Kamaterou, P., Monteleone, M., Zabaniotou, A. 2015. Cascade approach of red macroalgae *Gracilaria gracilis* sustainable valorization by extraction of phycobiliproteins and pyrolysis of residue. *Bioresource Technology*. 184: 305-313.

Franssen, M.C.R. 1994. Halogenation and oxidation reactions with haloperoxidases. *Biocatalysis*. 10(1-4):87-111.

Fung, A., Hamid, N., Lu, J. 2013. Fucoxanthin content and antioxidant properties of *Undaria pinnatifida*. *Food chemistry*. 136(2):1055-1062.

Gallardo, T. 2014. Marine algae: General aspects (biology, systematics, field and laboratory techniques). U: Pereira, L. i Neto, J.M. ur., *Marine Algae: Biodiversity, Taxonomy, Environmental Assessment, and Biotechnology*. CRC Press. 1-67.

Ganesan, T., Subban, M., Christopher Leslee, D.B. Kuppanan SB., Seedeivi, P. 2024. Structural characterization of n-hexadecanoic acid from the leaves of *Ipomoea eriocarpa* and

its antioxidant and antibacterial activities. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 14, 14547–14558.

Garson, M.J. 1989. Biosynthetic studies on marine natural products. *Natural Product Reports*. 6(2): 143-170.

Gedouin, A., Vallee, R., Morvan, P., Vincent, L. 2007. Use of plant pheromones for the preparations of cosmetic or pharmaceutical compositions. *Chemical Abstracts*. 146, 527557.

Genovese, G., Tedone, L., Hamann, M.T., Morabito, M. 2009. The Mediterranean Red Alga *Asparagopsis*: A Source of Compounds against *Leishmania*. *Marine Drugs*. 7(3), 361-366.

Giossi, C., Cartaxana, P., Cruz, S. 2020. Photoprotective Role of Neoxanthin in Plants and Algae. *Molecules*. 25, 4617.

Graham, L. E., Wilcox, L.W. 1999. *Algae* (1st edition). Benjamin-Cummings Publishing Company, Reading, Massachusetts, 640.

Gribble, G. W. 1994. Natural Organohalogens: Many More Than You Think. *Journal of Chemical Education*. 71(11): 907-991.

Grubišić, M., 2020. Biotehnoški potencijal mikroalgi izoliranih iz rijeke Gacke i Jadranskog mora- karakterizacija i optimizacija uzgojnih uvjeta. Disertacija, Sveučilište u Zagrebu. 303.

Grubišić, M., Šantek, B., Zorić, Z., Čošić, Z., Vrana, I., Gašparović, B., Čož-Rakovac, R., Ivančić Šantek, M. 2022. Bioprospecting of Microalgae Isolated from the Adriatic Sea: Characterization of Biomass, Pigment, Lipid and Fatty Acid Composition, and Antioxidant and Antimicrobial Activity. *Molecules*. 27(4): 1248.

Guiry, M.D. 2012. How many species of algae are there? *Journal of Phycology* 48(5): 1057-1063.

Haffenden, L.J.W., Yaylayan, V.A., Fortin, J. 2001. Investigation of Vibrational Theory of Olfaction with Variouslly Labelled Benzaldehydes. *Food Chemistry*. 73(1):67-72.

Hallahan, B. i Garland, M.R. 2005. Essential fatty acids and mental health. *The British journal of psychiatry: the journal of mental science*. 186: 275-277.

Hamed, A.B., Mantawy, E.M., El-Bakly, W.M., Abdel-Mottaleb Y., Azab S.S. 2020. Putative anti-inflammatory, antioxidant, and anti-apoptotic roles of the natural tissue guardian methyl palmitate against isoproterenol-induced myocardial injury in rats. *Future Journal of Pharmaceutical Sciences*. 6(1), 31.

Havaux, M. 2014. Carotenoid oxidation products as stress signals in plants. *The plant journal: for cell and molecular biology*. 79(4): 597-606.

Ho, H.J., Shirakawa, H., Giriwono, P.E., Ito, A., Komai, M. 2018. A Novel Function of Geranylgeraniol in Regulating Testosterone Production. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*. 82(6): 956-962.

Hosseini Abari, A., Amini Rourani, H., Ghasemi, S.M., Kim, H., Kim, Y.G. 2021. Investigation of antioxidant and anticancer activities of unsaturated oligo-galacturonic acids produced by pectinase of *Streptomyces hydrogenans* YAM1. *Scientific Reports*. Apr 19;11(1):8491. doi: 10.1038/s41598-021-87804-9. PMID: 33875695; PMCID: PMC8055656.

Hsouna, A. B., Trigui, M., Mansour, R. B., Jarraya, R. M., Damak, M., Jaoua, S. 2011. Chemical composition, cytotoxicity effect and antimicrobial activity of *Ceratonia siliqua* essential oil with preservative effects against *Listeria inoculated* in minced beef meat. *International Journal of Food Microbiology*, 148 (1), 66–72.

Hyatt, J.A., Kottas, G.S., Effler, J. 2002. Development of Synthetic Routes to d,1- $\alpha$ -Tocopherol (Vitamin E) from Biologically Produced Geranylgeraniol. *Organic Process Research & Development*. 6(6): 782-787.

Ivančić Šantek, M. 2020. *Biotehnologija, Osvežimo znanje, Kemija u industriji*, 69 (5-6) 326–327.

Janus, T., Engell, S. 2021. Iterative process design with surrogate-assisted global flowsheet optimization. *Chemie Ingenieur Technik*. 93(12):2019-2028.

Jenkins, B., West, J.A., Koulman, A. 2015. A review of odd-chain fatty acid metabolism and the role of pentadecanoic acid (C15:0) and heptadecanoic acid (C17:0) in health and disease. *Molecules*. 20(2):2425-2444.

Jerković, I., Cikoš, A.-M., Babić, S., Čižmek, L., Bojanić, K., Aladić, K., Ul'yanovskii, N.V., Kosyakov, D.S., Lebedev, A.T., Čož-Rakovac, R., Trebše, P., Jokić, S. 2021. Bioprospecting of less-polar constituents from endemic brown macroalga *Fucus virsoides* J. Agardh from the Adriatic Sea and targeted antioxidant effects in vitro and in vivo (Zebrafish Model). *Marine drugs*. 19(5): 235.

Jerković, I., Kranjac, M., Marijanović, Z., Roje, M., Jokić, S. 2019a. Chemical diversity of headspace and volatile oil composition of two brown algae (*Taonia atomaria* and *Padina pavonica*) from the Adriatic sea. *Molecules*. 24(3), 495.

Jerković, I., Kranjac, M., Marijanović, Z., Šarkanj, B., Cikoš, A.-M., Aladić, K., Pedisić, S., Jokić, S. 2019b. Chemical diversity of *Codium bursa* (Olivi) C. Agardh headspace compounds, volatiles, fatty acids and insight into its antifungal activity. *Molecules*. 24(5), 842.

Jerković, I., Marijanović, Z., Roje, M., Kuš, P.M., Jokić, S., Čož-Rakovac, R. 2018. Phytochemical study of the headspace volatile organic compounds of fresh algae and seagrass from the Adriatic Sea (single point collection). *PLoS ONE*. 13(5): e0196462.

Jüttner, F. 2001. Liberation of 5,8,11,14,17-eicosapentaenoic acid and other polyunsaturated fatty acids from lipids as a grazer defense reaction in epilithic diatom biofilms. *Journal of Phycology*. 37(5): 744-755.

Kajiwara, T., Matsui, K., Akakabe, Y., Kawai, T., Ishihara, M. 2003. Preparation of dictyopterene B isomers and fragrance compositions containing them. *Chemical Abstracts*. 138, 369034.

Kamenarska, Z., Ivanova, A., Stancheva, R., Stoyneva, M., Stefanov, K., Dimitrova-Konaklieva, S., Popov, S. 2006. Volatile compounds from some Black Sea red algae and their chemotaxonomic application. *Botanica marina*, 49: 47-56.

Kanias, G.D., Skaltsa, H., Tsitsa, E., Loukis, A., Bitis, J. 1992. Study of the correlation between trace elements, sterols, and fatty acids in brown algae from the Saronikos Gulf of Greece. *Fresenius' Journal of Analytical Chemistry*. 344, 334-339.

Karacor, K. i Cam, M. 2015. Effects of oleic acid. *Medical Science and Discovery*. 2(1): 125-132.

Kash, T.L., Jenkins, A., Harrison, N.L. 2003. Molecular volume determines the activity of the halogenated alkane bromoform at wild-type and mutant GABA(A) receptors. *Brain research*. 960:36-41.

Kellogg, J., Esposito, D., Grace, M.H., Komarnytsky, S., Lila, M.A. 2015. Alaskan seaweeds lower inflammation in RAW 264.7 macrophages and decrease lipid accumulation in 3T3-L1 adipocytes. *Journal of Functional Foods*. 15: 396-407.

Kilic, M., Orhan, I.E., Eren, G., Okudan, E.S., Estep, A.S., Becnel, J.J., Tabanca, N. 2021. Insecticidal activity of forty-seven marine algae species from the Mediterranean, Aegean, and Sea of Marmara in connection with their cholinesterase and tyrosinase inhibitory activity. *South African Journal of Botany*. 143, 435-442.

Kim, C.-W., Lee, H.J., Jung, J.H., Kim, Y.H., Jung, D.B., Sohn, E.J., Lee, J.H., Woo, H.J., Baek, N.-I., Kim, Y.C. i sur. 2015. Activation of Caspase-9/3 and Inhibition of Epithelial Mesenchymal Transition Are Critically Involved in Antitumor Effect of Phytol in Hepatocellular Carcinoma Cells. *Phytotherapy research*. 29(7), 1026-1031.

Kim, D.H., Park, M.H., Choi, Y.J., Chung, K.W., Park, C.H., Jang, E.J., An, H.J., Yu, B.P., Chung, H.Y. 2013. Molecular study of dietary heptadecane for the anti-inflammatory modulation of NF- $\kappa$ B in the aged kidney. *PloS One*. 8(3): e59316.

Kim, M., Jeong, S., Kang, B., Kim, K. 2019. Anti-Inflammatory Effects of Grasshopper Ketone from *Sargassum fulvellum* Ethanol Extract on Lipopolysaccharide-Induced Inflammatory Response in RAW 246.7 Cells. *Journal of Microbiology and Biotechnology*. 29(5): 820-826.

Kim, S.-K. 2012. *Handbook of Marine Macroalgae: Biotechnology and Applied Phycology*. Chichester, West Sussex: Wiley-Blackwell, str. 608.

Kiran, S.R., Devi, P.S. 2007. Evaluation of mosquitocidal activity of essential oil and sesquiterpenes from leaves of *Chloroxylon swietenia* DC. *Parasitology Research*. 101(2), 413-418.

Kolar, M.J., Konduri, S., Chang, T., Wang, H., McNerlin, C., Ohlsson, L., Härröd, M., Siegel, D., Saghatelian, A. 2019. Linoleic acid esters of hydroxy linoleic acids are anti-inflammatory lipids found in plants and mammals. *The Journal of biological chemistry*. 294(27):10698-10707.

Kranjac, M., Zekić, M., Radonić, A., Marijanović, Z., Jokić, S., Jerković, I. 2020. BioProspecting Jadranskog mora: Pregled dosadašnjih istraživanja isparljivih organskih spojeva. *Kemija u Industriji* 69(9-10), 521-529.

Kundu, A., Saha, S., Walia, S., Shakil, N.A., Kumar, J., Annapurna, K. 2013. Cadinene sesquiterpenes from *Eupatorium adenophorum* and their antifungal activity. *Journal of environmental science and health. Part B, Pesticides, food contaminants, and agricultural wastes*. 48(6):516-22.

Lafourcade, M., Larrieu, T., Mato, S., Duffaud, A., Sepers, M., Matias, I., de Smedt-Peyrusse, V., Labrousse, V.F., Bretillon, L., Matute, C., Rodriguez-Puertas, R., Layé, S., Manzoni, O.J. 2011. Nutritional omega-3 deficiency abolishes endocannabinoid-mediated neuronal functions. *Nature neuroscience*. 14(3):345-350.

Lai, K.-H.; You, W.-J.; Lin, C.-C.; El-Shazly, M.; Liao, Z.-J.; Su, J.-H. Anti-Inflammatory Cembranoids from the Soft Coral *Lobophytum crassum*. *Marine Drugs* 2017, 15, 327.

Lee, R.E. 2008. *Phycology*, 4th edn. Cambridge University Press, London, p 561.

Lee, H.-H., Ahn, J.H., Kwon, A.R., Lee, E.S., Kwak, J.H., Min, Y.H. 2014. Chemical Composition and Antimicrobial Activity of the Essential Oil of Apricot Seed. *Phytotherapy Research*. 28(12):1867-1872.

Lee, J.B., Hayashi, K., Maeda, M., Hayashi, T. 2004. Antiherpetic activities of sulfated polysaccharides from green algae. *Planta medica*. 70(9):813-817.

Leliaert, F. 2019. Green algae: Chlorophyta and Streptophyta U: Schmidt, T.M. (ur.), Encyclopedia of Microbiology. Academic Press 4th ed., str. 457-468.

Lincoln, R.A., Strupinski, K., Walker, J.M. 1991. Bioactive compounds from algae. Life Chemistry Reports, 8, 97-183.

Ma, M., Hu, Q. Microalgae as feed sources and feed additives for sustainable aquaculture: prospects and challenges. Reviews in Aquaculture. 16(2):818–835.

Marić, V. (2000) Biotehnologija i sirovine, Stručna i poslovna knjiga, Zagreb, 247.

Marinov, V., Valcheva-Kuzmanova S. 2015. Review on the pharmacological activities of anethole. Scripta Scientifica Pharmaceutica, 2(2) 14-19.

Maschek, J.A., Baker, B.J. 2008. The Chemistry of Algal Secondary Metabolism. U: Amsler, C.D. ur., Algal Chemical Ecology. Berlin: Springer, str. 1-24.

Masuda, M., Abe, T., Suzuki, T., Suzuki, M. 1996. Morphological and chemotaxonomic studies on *Laurencia* composite and *L. okamurae* (Ceramiales, Rhodophyta). Phycologia. 35, 550-562.

Mathema, V.B., Koh, Y.S., Thakuri, B.C., Sillanpaa, M. 2012. Parthenolide, a sesquiterpene lactone, expresses multi anti-cancer and anti-inflammatory activities. Inflammation. 35(2):560-565.

Medina, A.R., Cerdán, L.E., Giménez, A.G., Páez, B.C., González, M.J.I., Grima, E.M. 1999. Lipase-catalyzed esterification of glycerol and polyunsaturated fatty acids from fish and microalgae oils. Journal of Biotechnology. 70(1-3):379-391.

Moradi, H., Oveisi, F., Khanifar, E., Moreno-Sanz, G., Vaziri, N.D., Piomelli, D. 2016. Increased Renal 2-Arachidonoylglycerol level is associated with improved renal function in a mouse model of acute kidney injury. Cannabis and Cannabinoid research. 1(1):218-228.

Namikoshi, M., Fujiwara, T., Nishikawa, T., Ukai, K. 2006. Natural abundance <sup>14</sup>C content of dibutyl phthalate (DBP) from three marine algae. Marine Drugs. 4(4), 290-297.

Okada, N., Shirata, K., Niwano, M., Koshino, H., Uramoto, M. 1994. Immunosuppressive activity of a monoterpene from *Eucommia ulmoides*. Phytochemistry. 37(1): 281-282.

Okai, Y., Higashi-Okai, K. 1997. Potent anti-inflammatory activity of pheophytin a derived from edible green alga, *Enteromorpha prolifera* (sujiao-nori). International journal of immunopharmacology. 19(6), 355-358.

Okunade, A.L. i Wiemer, D.F. 1985. (-)-Loliolide, an ant-repellent compound from *Xanthoxylum setulosum*. Journal of natural Products. 48(3), 472-473.

Orellana-Paucar, A.M., Serruys, A.S., Afrikanova, T., Maes, J., De Borggraeve, W., Alen, J., León-Tamariz, F., Wilches-Arizábal, I.M., Crawford, A.D., de Witte, P.A., Esguerra, C.V. 2012. Anticonvulsant activity of bisabolene sesquiterpenoids of *Curcuma longa* in zebrafish and mouse seizure models. *Epilepsy & behavior*. 24(1):14-22.

Pagels, F., Vasconcelos, V., Guedes, A.C. 2021. Carotenoids from cyanobacteria: Biotechnological potential and optimization strategies. *Biomolecules*. 11(5), 735.

Pal, A., Verma, P., Paul, S., Majumder, I., Kundu, R. 2021. Two species of *Ulva* inhibits the progression of cervical cancer cells SiHa by means of autophagic cell death induction. *3 Biotech*. 11(2):52.

Pasmans, K., Meex, RCR., Trommelen, J., Senden, JMG., Vaughan, E.E., van Loon, L.J.C., Blaak, E.E. 2022. L-arabinose co-ingestion delays glucose absorption derived from sucrose in healthy men and women: a double-blind, randomised crossover trial. *The British journal of nutrition*. 28;128(6):1072-1081.

Peng, J., Yuan, J.P., Wu, C.F., Wang, J.H. 2011. Fucoxanthin, a marine carotenoid present in brown seaweeds and diatoms: Metabolism and bioactivities relevant to human health. *Marine Drugs*. 9(10): 1806-1828.

Pereira, R.; Lourenço, A.; Terra, L.; Abreu, P.; Laneuville Teixeira, V.; Castro, H. Marine 2017. Diterpenes: Molecular Modeling of Thrombin Inhibitors with Potential Biotechnological Application as an Antithrombotic. *Marine Drugs*. 15, 79.

Pettit, G.R., Herald, C.L., Ode, R.H., Brown, P., Gust, D.J., Michael, C. 1980. The isolation of loliolide from an Indian Ocean Opisthobranch mollusc. *Journal of natural products*. 43(6), 752-755.

Pompeia, C., Lima, T., Curi, R. 2003. Arachidonic acid cytotoxicity: Can arachidonic acid be a physiological mediator of cell death? *Cell Biochemistry and Function*. 21(2): 97-104.

Poulose, N., Sajayan, A., Ravindran, A., Chandran, A., Priyadharshini, G.B., Selvin, J., Kiran, G.S. 2021. Anti-diabetic Potential of a Stigmasterol From the Seaweed *Gelidium spinosum* and Its Application in the Formulation of Nanoemulsion Conjugate for the Development of Functional Biscuits. *Frontiers in nutrition*. Sep 16;8:694362.

Qian, L., Xiaoman, Z., Yanli, X., Jingmeng, L. 2021. Antifungal properties and mechanisms of three volatile aldehydes (octanal, nonanal and decanal) on *Aspergillus flavus*. *Grain & Oil Science and Technology*. 4(3), 131-140.

Radman, S., Cikoš, A.-M., Flanjak, I., Babić, S., Čižmek, L., Šubarić, D., Čož-Rakovac, R., Jokić, S., Jerković, I. 2021. Less polar compounds and targeted antioxidant potential (in vitro and in vivo) of *Codium adhaerens* C. Agardh 1822. *Pharmaceuticals*. 14(9), 944.

Radman, S., Čagalj, M., Šimat, V., Jerković, I. 2022a. Seasonal Variability of Volatilome from *Dictyota dichotoma*. *Molecules*. 27(9), 3012.

Radman, S., Čižmek, L., Babić, S., Cikoš, A.-M., Čož-Rakovac, R., Jokić, S., Jerković, I. 2022b. Bioprospecting of less-polar fractions of *Ericaria crinita* and *Ericaria amentacea*: Developmental toxicity and antioxidant activity. *Marine Drugs*. 20(1), 57.

Radman, S., Jerković, I. 2022. Volatile Organic Compound Profiles of *Cystoseira corniculata* (Turner) Zanardini 1841 and *Ericaria amentacea* (C.Agardh) Molinari and Guiry 2020 (ex. *Cystoseira amentacea* (C.Agardh) Bory de Saint-Vincent, 1832). *Molecules*. 27(20), 7131.

Radman, S., Zekić, M., Flanjak, I., Cikoš, A.M., Jokić, S., Jerković, I. 2022c. Contribution to the chemodiversity of ex *Cystoseira* sp. – *Gongolaria barbata* and *Ericaria crinita* from the Adriatic Sea: Volatiles, fatty acids and major pigments. *Algal Research*. 63, 102653.

Ringel, M., Dimos, N., Himpich, S., Haack, M., Huber, C., Eisenreich, W., Schenk, G., Loll, B., Brück, T. 2022. Biotechnological potential and initial characterization of two novel sesquiterpene synthases from Basidiomycota *Coniophora puteana* for heterologous production of  $\delta$ -cadinol. *Microbial Cell Factories*. 19;21(1):64.

Roque, B.M., Salwen, J.K., Kinley, R., Kebreab, E. 2019. Inclusion of *Asparagopsis armata* in lactating dairy cows' diet reduces enteric methane emission by over 50 percent. *Journal of Cleaner Production*. 234, 132–138.

Rouis-Soussi, L.S., El Ayeb-Zakhama, A., Mahjoub, A., Flamini, G., Jannet, H.B., Harzallah-Skhiri, F. 2014. Chemical composition and antibacterial activity of essential oils from the Tunisian *Allium nigrum* L. *EXCLI journal*. 13:526-535

Saha, M., Bandyopadhyay, P.K. 2020. In vivo and in vitro antimicrobial activity of phytol, a diterpene molecule, isolated and characterized from *Adhatoda vasica* Nees. (Acanthaceae), to control severe bacterial disease of ornamental fish, *Carassius auratus*, Caused by *Bacillus licheniformis* PKBMS<sub>16</sub>. *Microbial pathogenesis*. 141, 103977.

Saide, A., Lauritano, C., Ianora, A. 2020. Pheophorbide *a*: State of the Art. *Marine Drugs*. 18(5): 257.

Samaraweera, A.M., Vidanarachchi, J.K., Kurukulasuriya, M.S. 2011. Industrial Applications of Macroalgae. U: Kim, S.-K. (ur.), *Handbook of Marine Macroalgae: Biotechnology and Applied Phycology*. West Sussex, England: JohnWiley & Sons, str. 500-521.



Sapieha, P., Stahl, A., Chen, J., Seaward, M.R., Willett, K.L., Krah, N.M., Dennison, R.J., Connor, K.M., Aderman, C.M., Liclian, E., Carughi, A., Perelman, D., Kanaoka, Y., Sangiovanni, J.P., Gronert, K., Smith, L.E.H. 2011. 5-Lipoxygenase Metabolite 4-HDHA is a Mediator of the Antiangiogenic Effect of  $\omega$ -3 Polyunsaturated Fatty Acids. *Science Translational Medicine*. 3(69):69ra12

Setzer, W.N., Schmidt, J.M., Noletto, J.A., Vogler, B. 2005. Leaf oil compositions and bioactivities of Abaco bush medicines. *Pharmacologyonline* 3: 794-802.

Seymour, J.R., Simo, R., Ahmed, T., Stocker, R. 2010. Chemoattraction to dimethylsulfoniopropionate throughout the marine microbial food web. *Science*. 329(5989): 342-345.

Silva, L., Oniki, G.H., Agripino D.G., Moreno, P.R.H., Young, M.C.M., Mayworm, M.A.S., Ladeira, A.M. 2007. Bicyclogermacrene, resveratrol and fungitoxic activity on leaves extracts of *Cissus verticillata* (L.) Nicolson & Jarvis (Vitaceae). *Revista Brasileira de Farmacognosia*. 17(3):361-367.

Silva, R.O., Sousa, F.B.M., Damasceno, S.R.B., Carvalho, N.S., Silva, V.G., Oliveira, F.R.M.A., Sousa, D.P., Aragao, K.S., Barbosa, A.L.R., Freitas, R.M., Madeiros, J.V. 2014. Phytol, a diterpene alcohol, inhibits the inflammatory response by reducing cytokine production and oxidative stress. *Fundamental & clinical pharmacology*. 28(4): 455-464.

Singh, A.P., Kumar, S. 2019. Applications of Tannins in Industry. U: Tannins - Structural Properties, Biological Properties and Current Knowledge Ur: Aires, A. Publisher: IntechOpen, London, 148.

Stephane, F.F.Y., Jules, B.K.J. 2020. Terpenoids as Important Bioactive Constituents of Essential Oils. U: Essential Oils—Bioactive Compounds, New Perspectives and Applications; IntechOpen: London, UK, 75–106.

Stipanović, N. 2020. Isparljivi organski spojevi invazivne crvene alge *Asparagopsis taxiformis* (Rhodophyta): halogenirani ugljikovodici. Diplomski rad, Sveučilište u Splitu. 39.

Stranden, M., Borg-Karlson, A.-K., Mustaparta, H. 2002. Receptor neuron discrimination of the germacrene D enantiomers in the moth *Helicoverpa armigera*. *Chemical Senses*. 27(2): 143-152.

Sun, Y., Xu, S., Fu, X., Lai, C., Guo, D. 2022. De novo biosynthesis of  $\tau$ -cadinol in engineered *Escherichia coli*. *Bioresources and Bioprocessing*. 9(1):29

Taj, T., Sultana, R., Shahin D.H., Chakraborty, M., Gulzar Ahmed, M., 2021. Phytol A Phytoconstituent, Its Chemistry And Pharmacological Actions. *International journal of Geographical Information Science*. 8(1), 395-406.

Takei, M., Umeyama, A., Arihara, S. 2006.  $\tau$ -cadinol and calamenene induce dendritic cells from human monocytes and drive Th1 polarization. *European journal of Pharmacology*. 537(1-3):190-199.

Tokuda, H., Kontani, M., Kawashima, H., Akimoto, K., Kusumoto, A., Kiso, Y., Koga, Y., Shibata, H. 2014. Arachidonic Acid-enriched Triacylglycerol Improves Cognitive Function in Elderly with Low Serum Levels of Arachidonic Acid. *Journal of oleo science*. 63(3): 219-227.

Tokuhiro, K., Muramatsu, M., Ohto, C., Kawaguchi, T., Obata, S., Muramoto, N., Hirai, M., Takahashi, H., Kondo, A., Sakuradani, E., Shimizu, S. 2009. Overproduction of Geranylgeraniol by Metabolically Engineered *Saccharomyces Cerevisiae*. *Applied and Environmental Microbiology*. 75(17): 5536-5543.

Tshilanda, D.D., Mpiana, P.T., Onyamboko, D.N., Mbala, B.M., Ngbolua, K.T., Tshibangu, D.S., Bokolo, M.K., Taba, K.M., Kasonga, T.K. 2014. Antisickling activity of butyl stearate isolated from *Ocimum basilicum* (Lamiaceae). *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*. 4(5):393-8.

Tsuchiya, A., Kanno, T., Nishizaki, T. 2013. Stearic Acid Serves as a Potent Inhibitor of Protein Tyrosine Phosphatase 1B. *Cellular Physiology and Biochemistry* 32 (5): 1451–1459.

Ullah, I., Khan, A.L., Ali, L., Khan, A.R., Waqas, M., Hussain, J., Lee, I.J., Shin, J.H. 2015. Benzaldehyde as an insecticidal, antimicrobial and antioxidant compound produced by *Photorhabdus temperata* M1021. *Journal of Microbiology*. 53(2): 127-133.

Vīna, I., Linde, R., Patetko, A., Semjonovs, P. 2013. Glucuronic acid from fermented beverages: biochemical functions in humans and its role in health protection. *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*. 14(2): 217-230 ref. 105

Viso, A.-C., & Marty, J.-C. 1993. Fatty acids from 28 marine microalgae. *Phytochemistry*. 34(6):1521-1533.

Viveiros, M.M.H., Silva, M.G., da Costa, J.G.M., de Oliveira, A.G., Rubio, C., Padovani, C.R., Rainho, C.A., Schellini, S.A. 2022. Anti-inflammatory effects of  $\alpha$ -humulene and  $\beta$ -caryophyllene on pterygium fibroblasts. *International journal of Ophthalmology*. 15(12):1903-1907.

Vlaeminck, B., Fievez, V., Cabrita, A.R.J., Fonseca, A.J.M., Dewhurst, R.J. 2006. Factors affecting odd- and branched-chain fatty acids in milk: A review. *Animal Feed Science and Technology*. 131(3-4):389-417.

Wang, L., Wang, X., Wu, H., Liu, R. 2014. Overview on biological activities and molecular characteristics of sulfated polysaccharides from marine green algae in recent years. *Marine Drugs*. 12(9), 4984-5020.

Watanabe, T., Yano, S., Kawai, T., Jinbo, Y., Nonomura, Y. 2021. Selective Antibacterial Activity of Palmitoleic Acid in Emulsions and Other Formulations. *Journal of Surfactants and Detergents*. 24:973–979.

Worth, H., Schacher, C., Dethlefsen, U. 2009. Concomitant therapy with Cineole (Eucalyptole) reduces exacerbations in COPD: A placebo-controlled double-blind trial. *Respiratory Research*. 10(1): 69.

Wu, C.L., Chien, S.C., Wang, S.Y., Kuo, Y.H., Chang, S.T. 2005. Structure-activity relationships of cadinane-type sesquiterpene derivatives against wood-decay fungi. *Holzforschung*. 59(6):620-627.

Xu, C., Wu, P., Gao, J., Zhang, L., Ma, T., Ma, B., Yang, S., Shao, G., Yu, Y., Huang, X., Yang, X., Zhang, B. (2019) Heptadecanoic acid inhibits cell proliferation in PC 9 non small cell lung cancer cells with acquired gefitinib resistance. *Oncology Reports*. 41(6):3499-3507

Yang, D., Fu, M., Zhao, Q., Wang, Y., Li, T., Feng, B., Li, E., Nishijima, Y., Sun, Z., Hu, Z. 2023.  $\alpha$ -ionone promotes keratinocyte functions and accelerates epidermal barrier recovery. *Annals of Translational Medicine*. 11(8):297.

Yang, W.-S., Lee, S.R., Jeong, Y.L., Park, D.W., Cho, Y.M., Joo, H.M., Kim, I., Seu, Y.B., Sohn, E.H., Kang, S.C. 2016. Antiallergic activity of ethanol extracts of *Arctium lappa* L. undried roots and its active compound, oleamide, in regulating Fc $\epsilon$ RI-mediated and MAPK signaling in RBL-2H3 cells. *Journal of agricultural and food chemistry*. 11;64(18): 3564-3573.

Yang, X., Kang, M.C., Lee, K.W., Kang, S.M., Lee, W.W., Jeon, Y.J. 2011. Antioxidant activity and cell protective effect of loliolide isolated from *Sargassum ringgoldianum* subsp. *Coreanum*. *Algae*. 26(2):201-208.

Yao, L., Gerde, J.A., Lee, S.L., Wang, T., Harrata, K.A. 2015. Microalgae lipid characterization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 18;63 (6): 1773-1787.

Yi, Z., Xu, M., Di, X., Brynjolfsson, S., Fu, W. 2017. Exploring valuable lipids in diatoms. *Frontiers in Marine Science*. 4,1-10.

Zhang, C., Yu, H., Shen, Y., Ni, X., Shen, S., Das, U.N. 2015. Polyunsaturated fatty acids trigger apoptosis of colon cancer cells through a mitochondrial pathways. *Archives of Medical Science*. 11(5):1081-1094.

Internet izvori:

<https://www.medchemexpress.com/ketosisophorone.html> (pristupljeno 2. 7. 2024.)

<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/1-Hexanol> (pristupljeno 2. 7. 2024.)

<https://www.sigmaaldrich.com/HR/en/product/sial/10941> (pristupljeno 2. 7. 2024)

<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6-Methylhept-5-en-2-ol#section=Uses>  
(pristupljeno 2. 7. 2024.)

<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Docosane#section=Uses> (pristupljeno 2. 7.  
2024.)

## **IZJAVA**

S punom odgovornošću izjavljujem da sam završni rad izradila samostalno, služeći se navedenim izvorima podataka i uz stručno vodstvo mentorice doc. dr. sc. Marine Brailo Šćepanović.

Katarina Paljetak