

Primjena algi u tehnologiji i održivom razvoju

Ćevapović, Sena

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:193:414650>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-06-26**

Repository / Repozitorij:

BIotech

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Biotechnology and Drug Development - BIOTECHRI Repository](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI
ODJEL ZA BIOTEHNOLOGIJU
Preddiplomski sveučilišni studij
„Biotehnologija i istraživanje lijekova“

Sena Čevapović
Primjena algi u tehnologiji i održivom razvoju
Završni rad

Rijeka, 2023.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
ODJEL ZA BIOTEHNOLOGIJU
Preddiplomski sveučilišni studij
„Biotehnologija i istraživanje lijekova“

Sena Čevapović
Primjena algi u tehnologiji i održivom razvoju
Završni rad

Rijeka, 2023.

Mentor rada: Doc. dr. sc. Stribor Marković

Završni rad obranjen je dana _____

Pred povjerenstvom:

1. _____

2. _____

3. _____

Rad ima _____ stranica, _____ slika, _____ tablica i _____ literaturnih
navoda.

Sažetak:

Nedostatak visokokvalitetnih prehrambenih proizvoda postaje globalni problem, a u budućnosti će se proizvodnja hrane trebati povećati za gotovo 90%. Alge su visokonutritivne te mogu pridonijeti rješenju ovog izazova, implementirajući se u funkcionalnu hranu. Alge, ključne za fotosintezu, podijeljene su na mikroalge i makroalge. Također, alge dijelimo prema njihovom klorofilu koji sadrže te koji im daje specifičnu boju, pa tako razlikujemo crvene, zelene i smeđe alge. Alge su prepoznate po svojim zdravstvenim prednostima, uključujući antioksidacijska, antibakterijska, antivirusna i neuroprotektivna svojstva. Različite vrste, poput *Chlorella vulgaris*, nude poboljšanje glukoze u krvi te potporu mršavljenju. U industriji hrane za formiranje gelova i viskoznih otopina, možemo pronaći polisaharide algi kao što su agar, alginat i karagenan. U proizvodnji agara dominiraju alge *Gelidium* i *Gracilaria* te se u prehrambenoj industriji koristi oko 90% agara, a preostali dio se koristi u laboratorijima. Alginati i karagenani isto se koriste zbog svojstava gela te imaju široku primjenu u kozmetičkoj i farmaceutskoj industriji. Crvene alge poput *Dulse* i *Nori* nude esencijalne minerale i vitamine, dok smeđe alge kao *Arame*, *Kombu*, *Morski špageti* i *Wakame* pružaju velike količine makronutrijenata. S druge strane, zelene alge poput *Chlorella vulgaris*, doprinose prehrambenoj industriji i istraživanju biogoriva. Drugae vrsta zelenih mikroalgi imaju različite pogodnosti, *Dunaliella* proizvodi β -karoten, a *Haematococcus pluvialis* astaksantin. Alge zbog svojih bioaktivnih spojeva imaju potencijalnu primjenu u farmaceutskoj industriji, posebno alginati koji se koriste u liječenju GERB-A, zacjeljivanju rana i dostavi lijekova. Nadalje, *Chlamydomonas reinhardtii* je istražena mikroalga s potencijalom u medicinskoj industriji i proizvodnji cjepiva, a rekombinantni proteini iz ove alge imaju perspektivnu primjenu u farmaceutskoj proizvodnji.

Ključne riječi: alge, prehrambena industrija, farmaceutska industrija, zdravstvene prednosti

Summary:

The lack of high-quality food products is becoming a worldwide issue, and in the future, food production will need to increase by almost 90%. Algae, being highly nutritious, can contribute to addressing this challenge by being incorporated into functional food. Algae, crucial for photosynthesis, are classified into microalgae and macroalgae. They are further categorized based on their chlorophyll content, which gives them distinct colors, we distinguish red, green, and brown algae. Algae are renowned for their health benefits, including antioxidant, antibacterial, antiviral, and neuroprotective properties. Various types, such as *Chlorella vulgaris*, offer improvements in blood glucose and support weight loss. In the food industry, algae-derived polysaccharides like agar, alginate, and carrageenan are used for forming gels and viscous solutions. In agar production, *Gelidium* and *Gracilaria* algae dominate, with around 90% of agar used in the food industry, while the remainder serves laboratories due to its thickening properties. Alginates and carrageenans find extensive use in the cosmetic and pharmaceutical industries due to their gel-forming characteristics. Red algae like *Dulse* and *Nori* provide essential minerals and vitamins, whereas brown algae such as *Arame*, *Kombu*, *Sea Spaghetti*, and *Wakame* offer substantial macronutrients. On the other hand, green algae like *Chlorella vulgaris* contribute to the food industry and biofuel research. Different species of green microalgae offer various benefits; for example, *Dunaliella* produces β -carotene, and *Haematococcus pluvialis* produces astaxanthin. Algae, rich in bioactive compounds, hold potential applications in the pharmaceutical industry, especially alginates used in treating GERD, wound healing, and drug delivery. Furthermore, *Chlamydomonas reinhardtii*, a researched microalga, shows potential in the medical industry and vaccine production. Recombinant proteins from this algae present promising applications in pharmaceutical manufacturing.

Key words: algae, food industry, pharmaceutical industry, health benefits

Sadržaj:

1.	Uvod	1
2.	Alge kao ključna održiva alternativa.....	4
2.1.	Općenito o algama	4
2.2.	Alge u prehrani: zašto su ključne za zdravlje i održivost.....	7
2.3.	Inovacije za zdravu prehranu.....	9
2.4.	Alge u industriji hrane	10
3.	Alge kao izvor mikronutrijenata	13
3.1.	Nutritivna bogatstva crvenih algi (Dulse i Nori).....	13
3.2.	Zdravi okusi smeđih algi.....	14
3.3.	Zelene alge: najveći doprinos prehrambenoj industriji.....	15
4.	Alge u tehnologiji lijekova.....	17
4.1.	Opće karakteristike alginata	18
4.2.	Biomedicinske primjene alginata	18
4.3.	Inovacije u terapijskoj primjeni alginata	19
4.4.	Važnost mikroalge <i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	20
4.4.1.	Rekombinantni proteini i njihova primjena u terapiji.....	21
5.	Alge u poljoprivredi i održivom razvoju.....	22
5.1.	Alge kao ekološki prihvatljiviji izvor gnojiva i bio-stimulansa	22
5.2.	Alge kao carbon sink.....	23
6.	Literatura	26

1. Uvod

S obzirom na mnoga pitanja u suočavanju s izazovima poput klimatskih promjena, biotehnologija i održivi razvoj postaju fokus istraživanja u suvremenom društvu. Usmjerenost inovacija za održivu proizvodnju i zaštitu našeg okoliša posljedica je potrebe za globalnim napretkom kako bi buduće generacije mogle živjeti kvalitetan život. Alge se sve više prepoznaju kao ključni element za postizanje održivosti na različitim razinama. U posljednjem desetljeću, stručnjaci sve više prepoznaju alge kao nezaobilazan element za postizanje rješenja protiv globalnih izazova. Jednostanične ili višestanične alge, fotosintetski su organizmi koji imaju iznimnu sposobnost apsorpcije ugljikovog dioksida. Ovaj potencijal algi ključan je faktor za održiva rješenja današnjice. Za njihov uzgoj potrebno je minimalno vode i tla, što ih čini puno naprednijima u usporedbi s konvencionalnim biljkama. Osim što ne zahtijevaju obradive površine, mnoge vrste algi u mogućnosti su prilagoditi se različitim okolišnim uvjetima, pa čak i ekstremnim. Njihova brza stopa rasta također doprinosi njihovom potencijalu. Tijekom posljednjih desetljeća, alge možemo primijeniti u mnogim sektorima, time se mogu uklopiti u koncept cirkularne bioekonomije, još poznate kao 3R („reduce, reuse, recycle“). Smanjenje, recikliranje i ponovna upotreba od velike su važnosti u borbi protiv klimatskih promjena. Alge, ali i kombinacija algi i mikroorganizama od iznimne su važnosti za ponovnu upotrebu bioloških resursa bez katastrofalnih utjecaja na okoliš.¹

Ovaj rad posvećen je proučavanju raznih dobrobiti algi i njihovih primjena. Primjenjive su u različitim sektorima, uključujući prehrambenu industriju, farmaceutsku industriju, ali i održiviju poljoprivrednu industriju. Sama prehrambena i poljoprivredna

industrija, međusobno su ovisne s obzirom na izazove današnjice. S obzirom na rapidni rast svjetske populacije, manjak obradivih površina te uključivanje raznih nepogodnih sredstava za poboljšanje usjeva, imaju negativan utjecaj na klimu. Naravno, potrebni su novi, ali i znatno održiviji izvori hrane kako bi se osiguralo dovoljno hrane za sve. Kao posljedica katastrofalnih učinaka na okoliš, klimatske promjene i ekstremne temperature, zasigurno utječu na tradicionalne poljoprivredne prakse te su potrebni otporniji izvori hrane koji se mogu prilagoditi promjenama klime. Također, s promjenama u načinu života i urbanizacijom, mijenjaju se i prehrambene navike ljudi. Povećana potrošnja mesa, mliječnih proizvoda i drugih namirnica koje zahtijevaju iznimne količine resursa, zahtijeva dodatne prilagodbe u industriji. Alge sadržavaju sve potrebne nutrijente, a svrha ovog rada je istražiti njihove mikronutrijente i makronutrijente te kako se to može primijeniti za postizanje funkcionalne hrane. One sadrže sve potrebne vitamine, minerale, proteine, masne kiseline te ih to čini idealnim dodatkom ljudskoj prehrani. Analizom mnogobrojnih literatura, možemo bolje razumjeti primjenu algi za poboljšanje kvalitete ljudskog zdravlja i kvalitete života. Iako su u mogućnosti zamijeniti dosadašnju prehranu i implementirati se u raznovrsne namirnice, veliki dio populacije ne prepoznaje ih atraktivnima za uvođenje u vlastitu prehranu, kako zbog okusa, tako i zbog svojeg prepoznatljivog pigmenta i izgleda. Postoje mnogi načini za poboljšanje samog okusa i izgleda algi, stoga su upravo one obećavajući izvor nutrijenata u budućnosti. ²

Pored nutritivnih dobrobiti, alge sa svojim bioaktivnim komponentama imaju ulogu u stvaranju, odnosno zamjeni lijekova sa potencijalnim nuspojavama. Promatrajući dosadašnje rezultate, možemo bolje razumjeti mehanizme djelovanja algi na ljudski organizam te kako ih optimizirati za terapijsku primjenu. Dakle, ovaj rad otkriva kako različiti spojevi ovih organizama mogu biti od velike koristi u farmaceutskoj industriji, s

posebnim naglaskom na smanjenje ugljičnog otiska. Kako farmaceutski sektor brzo napreduje, nova istraživanja i dostignuća neprestano se objavljuju. Analizom literature osigurava se praćenje najnovijih spoznaja i tehnoloških inovacija u području algi. Osim toga, identifikacijom izazova i nedostataka u poznatim istraživanjima, buduća istraživanja moguće je usmjeriti prema rješavanju tih problema.

Ovaj rad također je usmjeren na poljoprivredna rješenja, a alge su se pokazale izrazito sposobnima u različitim aspektima. S obzirom na obavljanje fotosinteze, mogu apsorbirati velike količine ugljikovog dioksida, dušika i fosfora. Posljedično dolazi do smanjenja emisija stakleničkih plinova i sprječavanja onečišćenja tla i voda. Uz raznu literaturu, dolazi do istraživanja njihove primjene kao prirodna gnojiva te kao „carbon sinka“. Pored toga, ističe se važnost za pronalaskom obnovljivih izvora energije. Prva generacija biogoriva usmjerena je na prehrambene usjeve poput kukuruza i šećerne trske za proizvodnju etanola te soje i palminog ulja za proizvodnju biodizela. No, proizvodnja goriva iz dosadašnjih izvora ne zadovoljava potrebne količine. Nedavna istraživanja istaknula su potencijal algi kao jednog od najperspektivnijih izvora za proizvodnju održivih tekućih biogoriva. Pomoću različitih modela algi, otvoren je put za razumijevanje njihovog metabolizma te istovremene primjene genetskog inženjeringa za dobivanje visokokvalitetnih proizvoda. Unatoč mnogim prednostima, postoje izazovi u kultivaciji algi, njihovoj masovnoj proizvodnji i ekstrakciji. Identifikacijom tih izazova moguće je razmotriti potencijalna rješenja u budućnosti. ³

2. Alge kao ključna održiva alternativa

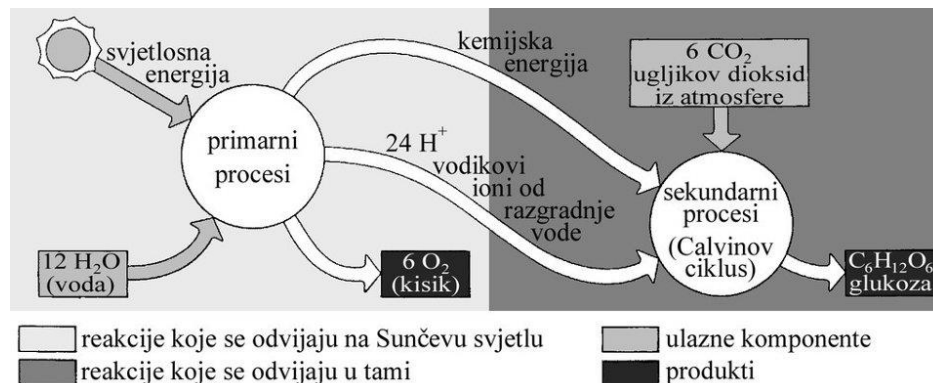
S obzirom na količinu dostupne hrane, naglo povećanje broja populacije jedan je od najvećih problema današnjice. Dosadašnja istraživanja pokazuju da će svjetska populacija do 2050. godine dosegnuti masivan broj ljudi od čak 10 milijardi. Stoga, proizvodnja hrane morat će se povećati za nešto manje od 90% (sa 36% na 56%). Posljedica ovog problema je nedostatak visoko nutritivnih i kvalitetnih sastojaka, a ponajviše proteina. Potrebno je pronaći nove, ali i održive izvore proteina i visoko nutritivne hrane. Odgovor je upravo u algama, zbog njihovih bogatih sastojaka, moguća su alternativa za poboljšanje ljudskog zdravlja u mnogim aspektima, počevši od hrane. Očekuje se da će ovi organizmi pridonijeti rješavanju problema nedostatka hrane, ali će u isto vrijeme zadovoljavati održivost proizvodnje i nemaju katastrofalan utjecaj na okoliš kao većina proteinskih izvora trenutne industrije. Sa svojim doprinosom ekosustavu, imaju značajnu vrijednost u ukupnoj biomasi, čineći otprilike 70% prehrambenog lanca ovisno o regiji. ⁴

Adekvatan način uvođenja novih raznovrsnih i održivih proizvoda, ključan je faktor za budućnost održive biotehnologije. Općenito, uspješan proizvod mora zadovoljiti nekoliko bitnih stavki, a to su: okus, cijena i kvaliteta. Prema dosadašnjim istraživanjima, alge su u mogućnosti zadovoljiti sve od navedenoga, jedini nedostatak je manjak znanja o njihovom korištenju. Jedan od većih izazova za uvođenje algi u prehranu na neke prostore je njihov karakterističan okus i miris, kao i prepoznatljiva tamna pigmentacija. ⁴

2.1. Općenito o algama

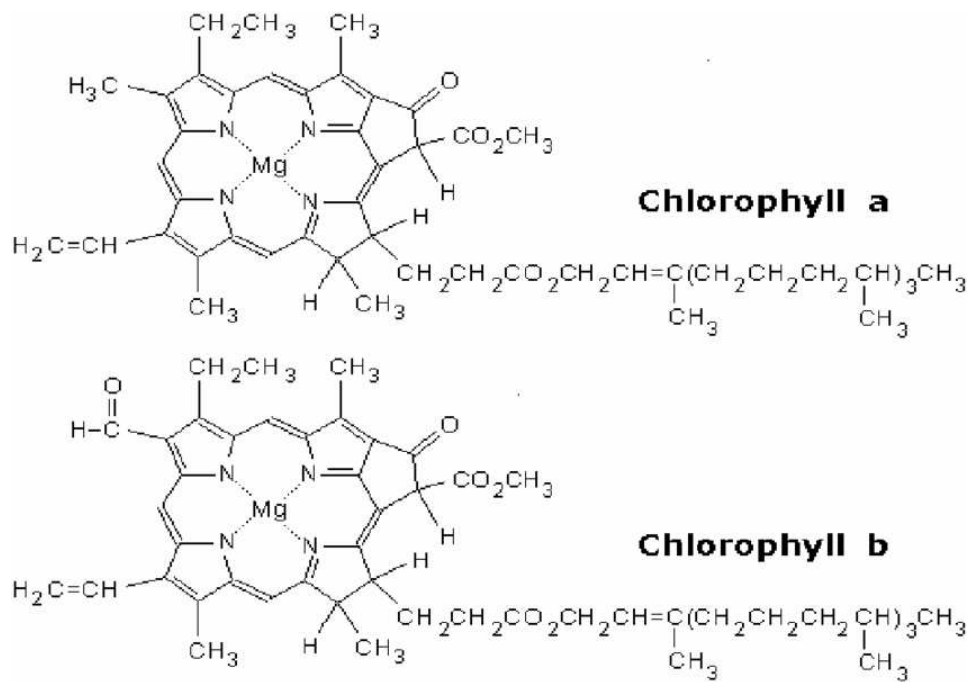
Alge su fotosintetski organizmi i možemo ih pronaći u vodenom, ali i kopnenom okolišu (vlažne površine ili kao epifiti). Glavna uloga algi je sposobnost procesa fotosinteze (Slika 1), u kojem se voda i ugljikov

dioksid uz pomoću svjetlosti pretvara u glukozu (hranu), a kao nusprodukt oslobađa se kisik.



Slika 1. Pojednostavljeni prikaz fotosinteze.

Ovisno o različitim kriterijima, alge možemo podijeliti na više načina; prva podjela je prema veličini na mikroalge i makroalge. Mikroalge su jednostanične te se često nazivaju fitoplanktonom, one su mikroskopske i manje. S druge strane, makroalge su višestanične, veće i vide se golim okom, a nerijetko se mogu zamijeniti s biljkama. Prema staništu poznajemo slatkovodne alge koje naseljavaju rijeke i jezera, morske alge koje su najučestalije i naseljavaju mora i oceane te one najrjeđe, koje se nalaze na vlažnom kopnu. Ovisno o količini pojedinih pigmenata klorofila, alge se još mogu podijeliti prema boji, a to su crvene alge (*Rhodophyta*) koje sadrže klorofil a, fikoeritrin i fikocijanin, zelene alge (*Chlorophyta*) koje sadrže klorofil a i b (Slika 2) te smeđe alge (*Phaeophyta*) koje sadrže klorofil a, fuksocijanin i alginat. Pored ovih vrsti algi, postoji dodatna izdvojena vrsta, a to su alge *Chromista*, razlikuju se prema svojim morfološkim oblicima i ekološkim prilagodbama. ⁴



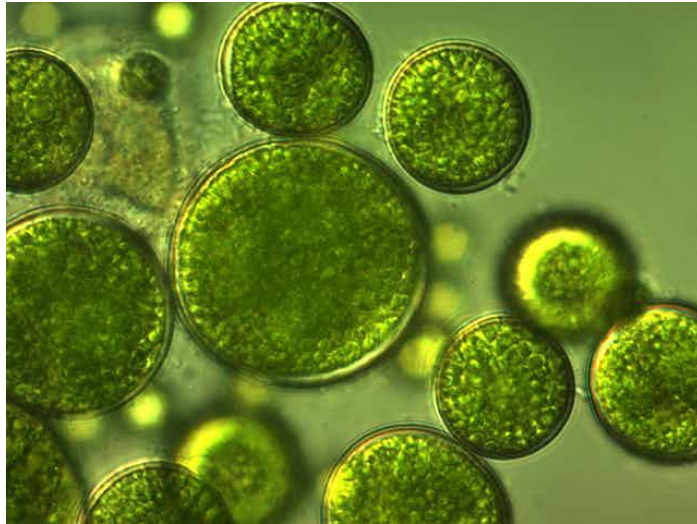
Slika 2. Prikaz razlike u kemijskoj strukturi klorofila a i b.

Ukoliko alge usporedimo s biljkama, osim što imaju veći udio proteina, one ne zahtijevaju obradiva zemljišta kao ni dodatne izvore vode, što ih čini još jednostavnijima. Moguće ih je uzgajati u različitim uvjetima, od oceana i jezera pa sve do fotobioreaktora koji će biti spomenuti nadalje u tekstu. Lokalni uzgoj algi doprinosi održivosti i tako se pojednostavljuje sami proces proizvodnje zbog smanjenja emisija povezanih s transportom algi. Istraživanje prostornih i agroekoloških uvjeta za uzgoj algi ključni je faktor za ostvarivanje punog potencijala algi, kao održivi i hranjivi izvor proteina i drugih nutrijenata. Osim kao hrana, alge se trenutno upotrebljavaju kao gnojiva, u kozmetičkoj industriji, ali imaju potencijal i zamijeniti dosadašnje neodržive materijale i kemikalije. Procjenjuje se da u svijetu ima otprilike 30 tisuća različitih vrsta algi, dok se koristi samo oko 220 vrsta. Korištenje crvenih algi zauzima preko 50%, smeđe alge oko 30%, a ostalih 20% pripada korištenju zelenih algi. Oko 145 vrsta koristi se izravno u hrani, dok se ostatak koristi u ostalim industrijama. Za sami uzgoj algi u takozvanoj „morskoj agronomiji“, koristi se svega 12 vrsta. ⁵

2.2. Alge u prehrani: zašto su ključne za zdravlje i održivost

S obzirom na sve veću učestalost bolesti koje su uzrokovane intenzivnim i nezdravim načinom života, javlja se potreba za prirodnim i adekvatnim nutrijentima u prehrambenim proizvodima. Sama vrijednost hrane ne očituje se samo u prisutnosti esencijalnih hranjivih tvari, već se temelji i na dostupnosti drugih bioaktivnih spojeva koji imaju utjecaj na naše zdravlje i homeostazu organizma. Alge sadrže i proizvode brojne bioaktivne tvari, uključujući proteine, lipide, ugljikohidrate, masne kiseline i drugo. Zbog bogatih nutrijenata, alge su pokazale raznolika svojstva poput antioksidacijskih, antibakterijskih, antivirusnih, neuroprotektivnih i drugih. Fokusirajući se na nutrijente, alge imaju potencijal u ostvarivanju funkcionalne hrane. Njihov dodatak različitim proizvodima, ne samo da poboljšava kvalitetu prehrane, nego donosi i mnogobrojne zdravstvene benefite. Kombinacija algi i fermentirane hrane, dokazano bi dala visoku prehrambenu vrijednost, istovremeno zadovoljavajući sve esencijalne hranjive tvari. ⁵

Iako se smatraju novim pojmom adekvatne prehrane, jestive alge konzumiraju se već stoljećima te su neizostavni dio Azijske i Latinoameričke kulture. Zelene i smeđe alge, osim što su bogate proteinima, poznate su po karakterističnom okusu umami-ja. Kao i kod većine prehrambenih ili organskih proizvoda, svaka vrsta alge ima svoje prednosti, ali i nedostatke. Primjer je *Chlorella vulgaris* zbog svoje prekrute stanične stijenke (Slika 3) koja se mora obraditi enzimski i mehanički prije konzumacije u obliku tablete, tekućine ili praha. Mikroalge bez obzira na svoju veličinu već su sada uvelike zastupljene i pružaju razne zdravstvene koristi. Poznata mikroalga je upravo *Chlorella vulgaris* i bogata je prehrambenim vlaknima, a u svojoj suhoj masi može sadržavati čak 70% proteina. Zbog prisutnosti klorofila i fotosinteze, važno je za napomenuti da se cijanobakterije poput *Spiruline* i *Aphanizomenona* nerijetko zamjenjuju s algama. ⁶

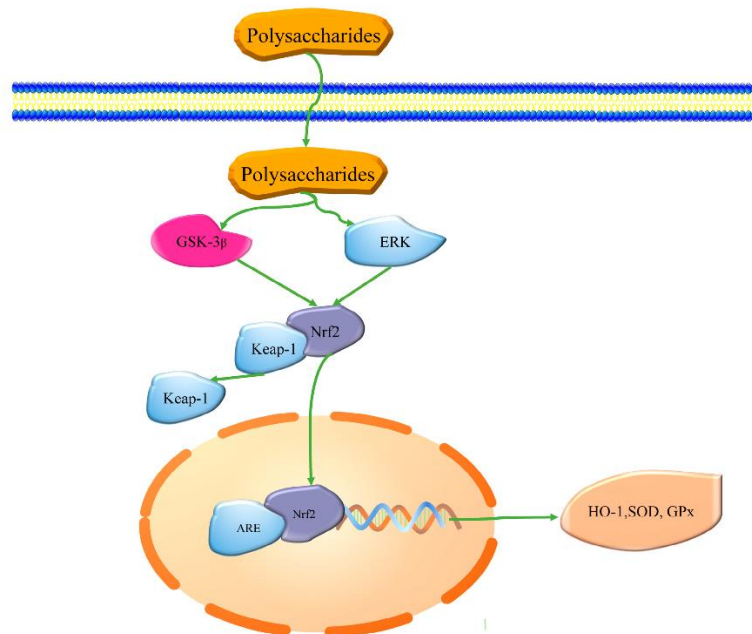


Slika 3. Mikroskopski prikaz *Chlorella Vulgaris*

Ključna uloga u rastu i metabolizmu algi je omjer dušika u proteinu (N:C omjer), za mnoge vrste algi ovaj omjer nalazi se između 4 i 5 (4 ili 5 N u odnosu na C). Kako je dušik esencijalan element sinteze proteina i drugih bioloških makromolekula, alge ga također trebaju za svoj rast i razvoj. Alge svoj ugljik dobivaju upravo iz ugljikovog dioksida te sa vodom i svjetlom prolaze proces fotosinteze do stvaranja glukoze. Ukoliko je ovaj omjer optimalan, postojat će ravnoteža između rasta algi (sinteza potrebnih proteina) te njihove provedbe fotosinteze. Ukoliko je spomenuti omjer prilagođen, crvene i zelene alge imaju oko 30-35% proteina, a smeđe alge imaju nešto niži postotak. U usporedbi sa sojom i jajima, alge su nešto niže u razini esencijalnih aminokiselina, no sadržavaju visoke razine asparaginske i glutaminske kiseline koje im daju prepoznatljiv okus. ⁴

Pored vrijednog nutritivnog sastava, alge pružaju potporu metabolizmu te zdravlju našeg crijevne mikroflore te protuupalno (lipidi iz algi dovode do smanjenja proupalnih enzima i medijatora) i antioksidativno djelovanje (Slika 4). Posebno se ističe učinak na glukozu, metabolizam lipida te sitost. Kliničke studije prikazane u raznim radovima pokazuju raznovrsne benefite, kao što su poboljšanje glukoze u krvi, povećanje osjećaja sitosti te posljedično smanjenje tjelesne mase. Kod dijabetičara i srčanih

bolesnika, uočena je smanjena razina ukupnog kolesterola i LDL-kolesterola. Važno je napomenuti da su potrebna daljnja istraživanja kako bi se odredila optimalna doza i trajanje konzumacije algi radi postizanja željenih zdravstvenih benefita. ⁷



Slika 4. Signalni put Nrf2 gena povezan s antioksidativnim djelovanjem polisaharida iz algi.

2.3. Inovacije za zdravu prehranu

Inovativni prehrambeni proizvodi od algi postaju sve učestaliji, što ukazuje na globalni napredak i prepoznatljivost njihovih mogućnosti. Izazov predstavljaju visoki troškovi ekstrakcije i pročišćavanja proteina te se prehrambena industrija fokusira na korištenje cijelih algi. Osim cijele alge, moguće je dodavanje algi kao sastojaka u hranu, kao što su salate, sushi ili zdravija alternativa smoothie-ja.

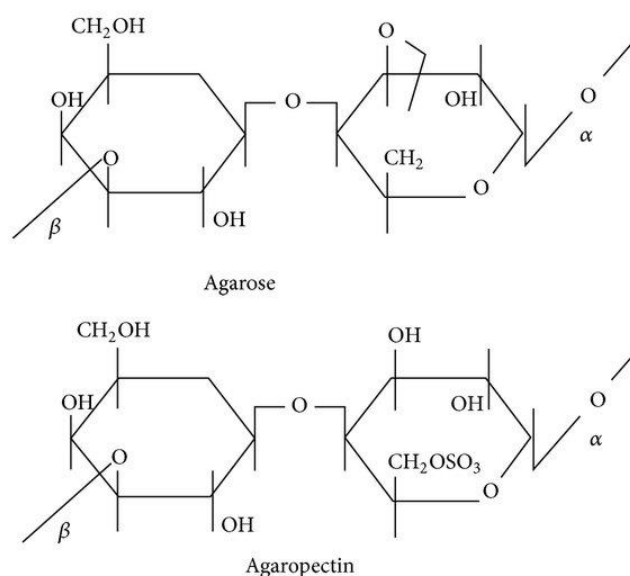
Bogate biljnim bjelančevinama, alge su alternativa za mesne proizvode, posebice zbog svog profila aminokiselina. Kako bi okus i tekstura mesnih proizvoda bila prikladna, neke vrste mikroalgi miješaju se s koncentratima soje. Nadalje, dodatak Chlorelle u tekuću hranu u manjim koncentracijama od 0.5-1%, povećava antioksidativnu aktivnost, sadržaj fenola kao i povećani udio proteina. ⁶

Zbog manjka senzorskih svojstava u mliječnim proizvodima koji sadrže alge, njihova optimizacija ključna je za prihvaćanje te njihov prepoznatljiv okus i teksturu. Posljedica ove prilagodbe, trebala bi biti povećanje prihvatljivosti i povećanje biodostupnosti korisnih komponenti. ⁶

2.4. Alge u industriji hrane

Alge su rasprostranjene diljem svijeta te se zbog svojih prednosti koriste u različitim industrijama. Iako su u Aziji (Japan, Koreja i Kina) u sirovom obliku sastavni dio skoro svakog jela, ostatak svijeta ih koristi u prehrambenoj industriji za postizanje različitih svojstava hrane. Agar, alginat i karagenan, glavni su polisaharidi koji se dobivaju iz morskih algi. Ovi polisaharidi koji se nalaze u staničnoj stijenci nekih vrsta algi, još poznati kao fikokoloidi, imaju široku primjenu u prehrambenoj, farmaceutskoj industriji i općenito biotehnologiji, zbog sposobnosti formiranja viskoznih otopina i gelova. ⁵

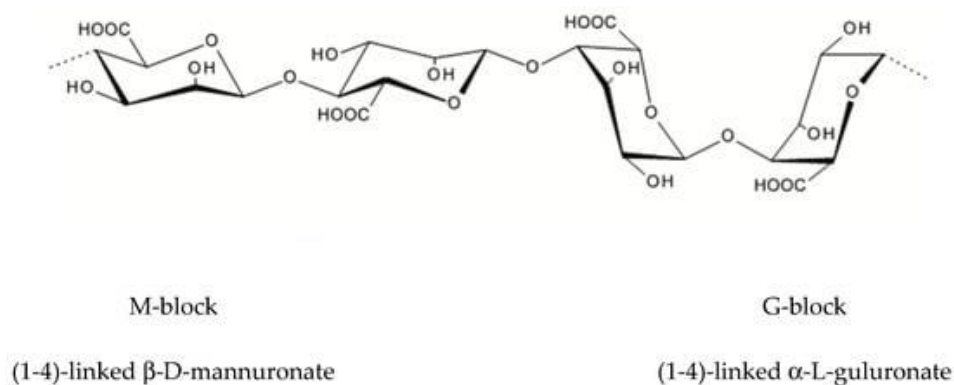
Agar je polisaharid koji se dobiva iz crvenih algi, a sastavljen je od agaroze i agarokpektina. Agarozna se sastoji od D-galaktoznih ostataka koji su povezani β -1,4-glikozidnom vezom s 3,6-anhidro-L-galaktozom. Sama struktura agaropektina je nešto složenija jer su dijelovi šećernih jedinica zamijenjeni sulfonskim skupinama na položaju C-6. (Slika 5)



Slika 5. Kemijska struktura agaroze i agaropektina.

Za proizvodnju agara najčešće korištene alge su *Gelidium* i *Gracilaria*. Postoji nekoliko neobičnih svojstava agara kao što je termoreverzibilnost gela, odnosno agar se može pretvoriti iz tekućeg u gel stanje i obrnuto, ovisno o temperaturi. Ostala svojstva su visoka temperatura taljenja (oko 85°C) zbog koje se jelima s agarom omogućava da zadrže svoj prvobitni oblik i neutralnog je okusa i mirisa. Oko 90% proizvedenog agara koristi se u prehrambenoj industriji, a ostalih 10% koristi se u laboratorijske svrhe zbog toga što je dobar agens zgušnjavanja medija za kultiviranje bakterija, tkiva, stanica i kvasaca. U prehrani se upotrebljava kao vegetarijanski želatin te se dodaje raznim namirnicama. ⁶

Alginati se dobivaju iz smeđih algi te se također koriste u prehrambenoj industriji zbog svojstava gela. Osnovnu građu alginata (Slika 6) i njegovu strukturu čine β -D-manuronska kiselina i α -L-guluronska kiselina te su povezane β -1,4-glikozidnim vezama.

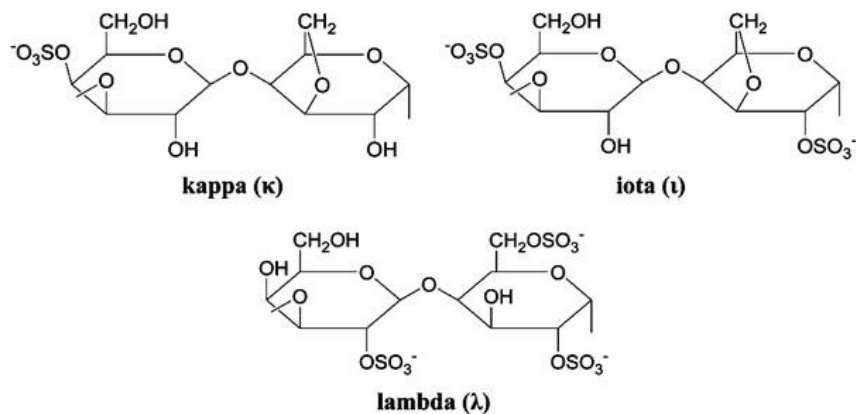


Slika 6. Kemijska struktura alginata.

Ukoliko alginat ima veći udio guluronske kiseline, pružat će snažna svojstva geliranja, dok će alginat s većim udjelom manuronske kiseline pružat veću viskoznost. Biološka uloga alginata u morskom sustavu je pružanje elastičnosti i mehaničke čvrstoće algama te sprječava njihovo isušivanje tijekom razdoblja niskih plima. Glavni izvori alginata u algama su *Laminaria* i *Ascophyllum*. Ovaj polisaharid poboljšava estetiku proizvoda, osiguravajući glatku teksturu te pospješuje zadržavanje vode. ⁶

Karagenani, treći fikokoloidi s istim svojstvima, dobivaju se iz crvenih algi. Općenito, struktura karagenana uključuje dvije vrste šećernih jedinica, a to su galaktoza i 3,6-anhidrogalaktoza, povezane α -1,3- i β -1,4-glikozidnim vezama. Jedna vrsta karagenana topljiva je u hladnoj vodi i ima viskozna svojstva, dok druga ima gel svojstva ovisno o prisutnosti određenih iona. Ukoliko su prisutni ioni poput kalija ili kalcija, ova struktura omogućit će karagenanima da stvaraju gelove različitih tekstura, što ih dodatno čini popularnima u raznim industrijama uključujući prehrambenu, kozmetičku, ali i farmaceutsku industriju. ⁶

Glavna sirovina za proizvodnju karagenana je *Chondrus crispus* koja je još poznata pod nazivom „Irish moss“. Različite vrste algi proizvest će različite tipove karagenana, a glavni su: kappa, iota i lambda (Slika 7). Ovaj polisaharid poznat je po svojoj sposobnosti vezanja i stabilizacije mliječnih proteina, pa se tako koristi u mliječnim proizvodima. Kao i alginat, svojstvo zadržavanja vode tipično je za karagenan, stoga se koristi i u mesnoj industriji. ⁵



Slika 7. Kemijska struktura različitih tipova karagenana.

Različiti fikokoloidi koji se koriste kao prirodni aditivi u prehrambenoj industriji, imaju posebne kodove ⁵:

- Alginska kiselina – E400
- Natrijev alginat – E401
- Kalijev alginat – E402
- Amonijev alginat – E403

- Kalcijev alginat – E404
- Propilen glikol alginat – E405
- Agar – E406
- Karagenan – E407
- Polurafinirani karagenan ili prerađena morska trava eucheuma – E407A

3. Alge kao izvor mikronutrijenata

Zbog sve veće razine svijesti o važnosti mikronutrijenata za očuvanje optimalnog zdravlja, istraživanje novih izvora postalo je ključno. Sukladno tome, alge su se pokazale kao fokus za nove izvore zbog svojih izuzetnih benefita i pružanja različitih mikronutrijenata, kao što su vitamini, minerali i antioksidansi. Ovi nutrijenti imaju esencijalnu ulogu u našem organizmu tako što podržavaju metaboličke procese i imunološki sustav. Alge koje obuhvaćaju raznoliku skupinu fotosintetskih organizama, imaju izuzetnu sposobnost pružanja različitih mikronutrijenata u većim koncentracijama nego tradicionalni izvori hrane. Općenito, alge su bogate vitaminima A, C, D, E, K i B. Također, alge su značajan izvor minerala poput željeza, kalcija, kalija, joda i magnezija. Osim mikronutrijenata, alge imaju veliki udio prehrambenih vlakana, omega-3 i omega-6 masnih kiselina te ostalih fitonutrijenata. ⁸

3.1. Nutritivna bogatstva crvenih algi (Dulse i Nori)
 Crvene alge često se koriste u raznim kuhinjama diljem svijeta, primjeri jestivih crvenih algi su Dulse (*Palmaria palmata*) i Nori (*Porphyra spp.*). Dulse (*Palmaria palmata*) je poznata po svojem nutritivnom sastavu, posebice po nekoliko esencijalnih minerala kao što su: jod (sinteza hormona štitnjače), željezo (hemoglobin) i kalij (ravnoteža elektrolita). Iako je jod esencijalni nutrijent za rad štitnjače, postoje studije koje istražuju povezanost između unosa joda i rizika od papilarnog karcinoma štitnjače (PTC). Daljnja istraživanja povezanosti pretjeranog unosa joda i raka štitnjače, potrebna su kako bi se dobila jasnija slika ovog problema.

Vitamin B12 (održavanje živčanog sustava) i vitamin C (snažni antioksidansi) također čine veliki udio nutritivnog sastava ove crvene alge. Pored vitamina C, snažni antioksidansi koje sadrži ova alga su flavonoidi i karotenoidi koji štite stanice od oksidativnog stresa. ⁹

Druga spomenuta alga Nori (*Porphyra spp.*) također je bogata jodom, željezom i kalijem kao i većina ostalih algi. Ova alga se ističe po svojoj visokoj vrijednosti vitamina A te nadmašuje količine ovog vitamina u povrću i ribi. Pored vitamina A, sadrži značajne količine vitamina B12. Između ostalog, Nori sadrži nizak postotak masti te više od 60% tih masti su višestruko nezasićene omega-3 i omega-6 masne kiseline koje moramo unositi hranom jer ih naše tijelo ne može proizvesti. ⁹

3.2. Zdravi okusi smeđih algi

Smeđe alge ili Phaeophyta uglavnom se koriste u azijskoj kuhinji, ali u posljednje vrijeme se sve više prepoznaju i u drugim dijelovima svijeta. Neke od poznatih jestivih smeđih algi su: Arame (*Eisenia bicyclis*), Kombu (*Saccharina japonica*), morski špageti (*Himanthalia elongata*) te Wakame (*Undaria pinnatifida*).

Arame (*Eisenia bicyclis*), jedna je od najhranjivijih morskih algi koja je bogata raznim elementima. Sa svojim sadržajem minerala poput joda, kalcija, željeza, magnezija i kalija, Arame je izvor esencijalnih hranjivih tvari. Pored toga, bogata je vitaminima B, posebno B9 folnom kiselinom.

Kombu (*Saccharina japonica*) se ističe kao jedna od najpoznatijih morskih algi, a bogata je jodom. Osim joda, alginska kiselina koju posjeduje Kombu, važna je za poticanje izlučivanja teških metala iz tijela te tako ima ulogu u detoksikaciji organizma.

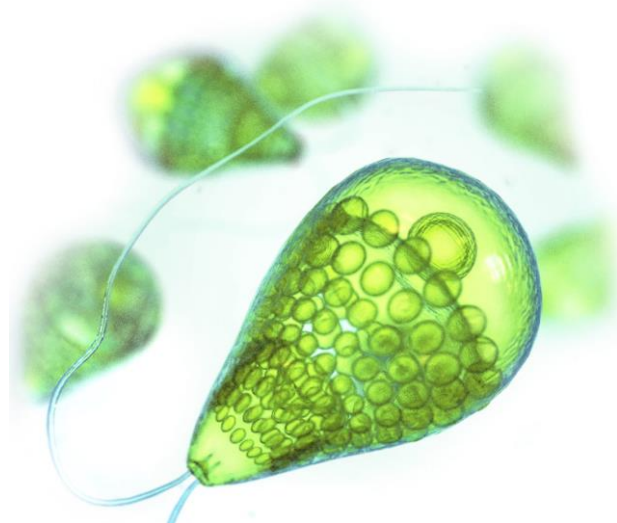
Morski špageti (*Himanthalia elongata*) su još jedna posebna alga koja ima veliku udio u bogatoj prehrani. Ova alga sadrži vitamine poput A, C i B, ali i minerale kalcij, magnezij, kalij i željezo.

Wakame (*Undaria pinnatifida*), iako je invazivna vrsta, donosi mnogo zdravstvenih benefita. Posebno se ističe po razinama fukoksantina,

pigmenta koji ima antioksidativno, antikancerogeno i protuupalno djelovanje. ⁵

3.3. Zelene alge: najveći doprinos prehrambenoj industriji

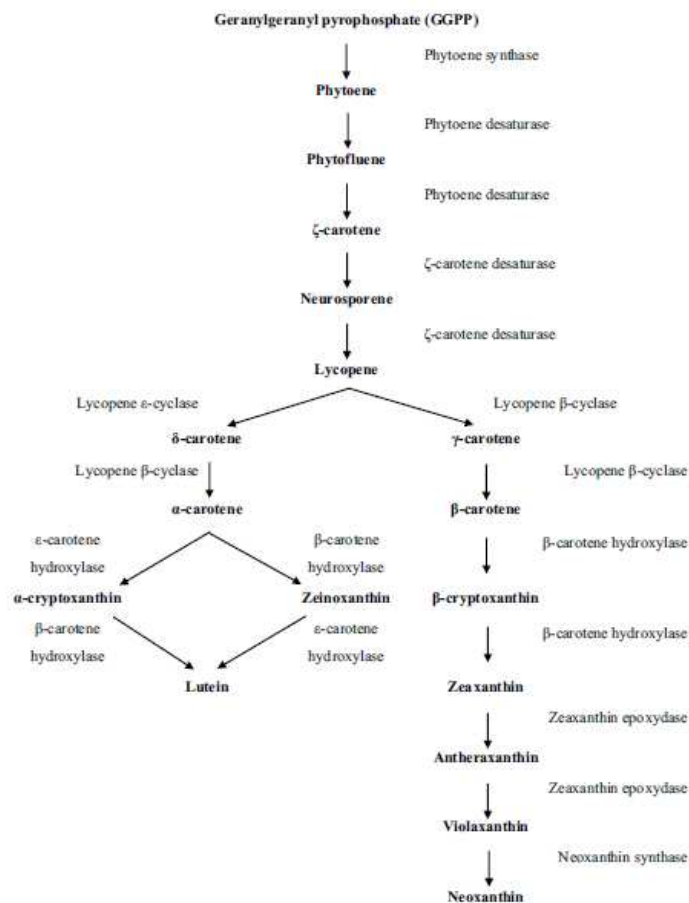
Zelene alge se zbog različitih svojstava posebno ističu u industrijskom sektoru. Osim nutritivnog sastava za prehrambenu industriju, njihova sposobnost brzog rasta čini ih izuzetno važnima u istraživanju biogoriva. Neke od najpoznatijih zelenih algi su mikroalga *Dunaliella* (Slika 8), *Haematococcus pluvialis* te *Chlorella vulgaris*.



Slika 8. Prikaz mikroalge Dunaliella

Dunaliella je industrijski veoma važna alga, različite vrste ove alge i njihove prilagodbe ekstremnim uvjetima čine ju vrlo korisnom u raznim sektorima. *Dunaliella salina* uzgaja se u slanim vodama (koncentracija soli 0,5% do 0,35%) te se prilagođava ovim uvjetima na način da regulira unutarstanične količine glicerola, održavajući tako osmotsku ravnotežu. Ostale vrste koje opstaju u nepovoljnim uvjetima su *Dunaliella acidophila* (raste u izrazito kiselim uvjetima, pH 0-1) i *Dunaliella antarctica* koja pokazuje otpornost na izrazito niske temperature. Nadalje, različite vrste ove alge sintetiziraju velike količine karotenoida i lipida, posebice β -karotena. To je ključni sastojak za industrijsku proizvodnju, a *Dunaliella salina* se smatra najučinkovitijim izvorom, proizvodnja se potiče visokim

intenzitetima svjetla i stresnim uvjetima rasta. Unatoč prirodnim izvorima, industrijska proizvodnja proizvodnja β -karotena većinom se odvija kemijskom sintezom. Karotenoidi iz ove mikroalge u prehrambenoj industriji koriste se kao prirodno bojilo za juhe, voćne sokove i mliječne proizvode, dok istovremeno pružaju koncentriran izvor β -karotena. Osim kao bojilo, ubacuju se u funkcionalne namirnice kako bi se poboljšao nutritivni profil proizvoda. Sinteza karotenoida (Slika 9) složen je proces te obuhvaća mnogo koraka i različitih enzima.



Slika 9. Metabolički put proizvodnje karotenoida u *Dunaliella*

Dunaliella, osim što je izvor karotenoida, predstavlja i značajan resurs lipida, do 25% u suhoj masi. Sadrži masne kiseline poput palmitinske, alfa-linolenske i oleinske kiseline. Iako može rasti na autotrofni i heterotrofni način, općenito ova alga preferira autotrofni rast uz svjetlost

kao ključni izvor energije, dok u nepovoljnim uvjetima raste heterotrofno, koristeći organske tvari iz okoline. ¹⁰

Druga veoma zastupljena zelena mikroalga *Haematococcus pluvialis* sve se više koristi kao izvor astaksantina, crvenog pigmenta iz skupine karotenoida koji je uvelike zastupljen u prehrambenoj, kozmetičkoj i farmaceutskoj industriji. Slično kao karotenoidi, astaksantini se koriste kao prirodno bojilo u ribljnoj hrani i morskim plodovima te kao dodatak prehrani zbog svojeg potencijala doprinosa zdravlju. ¹¹

Iako se astaksantin može proizvesti sintetički, prirodni izvori iz ove alge su pouzdaniji i sigurniji za upotrebu. Prirodni astaksantin je ekološki prihvatljivija opcija, sigurniji je za ljudsko zdravlje, ima veći antioksidativni učinak, ali zahtjeva bolje i prilagođenije uvjete proizvodnje te je ova opcija puno skuplja od sintetički proizvedenog. Sami proces biosinteze prirodnog astaksantina zahtjeva prilagodbu temperature (20-28°C), pH (7-7,85) vrijednosti i intenziteta svjetla, ovim putem postiže se visoka gustoća stanica te je proces kultivacije znatno olakšan. ¹¹

Već spomenuta zelena mikroalga, *Chlorella vulgaris* poznata je po visokom sadržaju vitamina, minerala i antioksidansa. U njezinom sastavu, znatno se ističu vitamini B kompleksa, uključujući B1, B2, B3, B6 i B12, esencijalni za metabolizam i živčani sustav. Što se tiče minerala, ova mikroalga sadrži značajne količine željeza, magnezija, cinka i selena, nužnih za pravilan rad organizma. Osim toga, *Chlorella vulgaris* predstavlja izvor esencijalnih masnih kiselina, uključujući omega-3 i omega-6 masne kiseline, koje podržavaju zdravlje srca, mozga i kože. ⁶

4. Alge u tehnologiji lijekova

Kako alge naseljavaju vodene ekosustave diljem svijeta, raznovrsnost ovih organizama izaziva sve veći interes u znanosti i istraživanju. Osim njihove raznolikosti, otpornost na ekstremne uvjete te bogatstvo hranjivim tvarima čini ih izuzetno zanimljivima. Pored zdravstvenih benefita u prehrani, ovi organizmi također se istražuju kao potencijalne

alternative u tehnologiji lijekova. Zbog svojih jedinstvenih biokemijskih svojstava postaju korisne u razvoju inovativnih farmaceutskih tehnologija. Svojim fitokomponentama, alge su u mogućnosti zamijeniti konvencionalne lijekove s potencijalnim nuspojavama. Važno je za naglasiti da zbog ubrzanog načina života i neadekvatne prehrane, sve je veći porast broja oboljelih od kroničnih bolesti. Upravo je ovo razlog za dodatna istraživanja ovih organizama i njihovih dobrobiti u farmaceutskoj industriji.

4.1. Opće karakteristike alginata

Komercijalni alginat se obično ekstrahira iz smeđih algi, već spomenutih *Laminaria japonica* i *Ascophyllum nodosum*. Taj se ekstrakt filtrira, a u filtrat se dodaje natrijev ili kalcijev klorid kako bi došlo do taloga, nakon što se talog dodatno pročisti, suha masa alginata u *Ascophyllum nodosum* iznosi 22–30%, a za *Laminaria japonica* iznosi 25–44%. Nadalje, jednostavnost modifikacije bakterija i biosinteze alginata pomoću bakterija, mogla bi omogućiti proizvodnju alginata s različitim karakteristikama. Ovisno iz koje alge alginat potječe, duljina i sastav polisaharida će se razlikovati. Alginati su općenito kopolimeri izgrađeni u blokovima (1,4)-vezanih β -D-manuronata (M) i α -L-guluronata (G). Ovi blokovi sastoje se od uzastopnih G ostataka (GGGGGG), uzastopnih M ostataka (MMMMMM) i naizmjeničnih M i G ostataka (GMGMGM).¹²

4.2. Biomedicinske primjene alginata

Alginat, dobiven iz smeđih algi, pokazuje korisna svojstva u biomedicinskim primjenama. Uključujući zacijeljivanje rana i metabolizam lijekova, ali ponajviše se ističe klinička primjena kod GERB-A (gastroezofagealna refluksna bolest). Ukoliko želučana kiselina izaziva probleme u jednjaku, još poznato kao GERB, stanice jednjaka postaju ozbiljno oštećene. Na primjeru stanica Barretovog jednjaka (promjena na sluznici koja se javlja uslijed bolesti), istraživanje je pokazalo da određeni

alginati pomažu očuvati vitalnost stanica te smanjuju mogućnost ozbiljnih komplikacija koje mogu dovesti do raka. ¹³

Također je korišten zbog svoje biokompatibilnosti, niske toksičnosti te gel svojstava. Alginat se može koristiti za stvaranje hidrogela koji zbog svoje sličnosti sa izvanstaničnim matriksom oponaša njegove funkcije zacjeljivanja rana i dostave bioaktivnih tvari. Otopine natrijevog alginata pokazuju tipična reološka svojstva gela (kako se otopine ponašaju pod utjecajem sile), time i potencijalnu korist za popravak hrskavice.

Osim spomenutog, modifikacija natrijevog alginata s polikaprolaktonom (PCL, sintetički biorazgradivi poliester), dovodi do produljenog oslobađanja lijekova u usporedbi s nemodificiranim alginatnim gelovima. Kao primjer, flurbiprofen se postepeno otpušta ukoliko se hidrogel kombinira ionskim i kovalentnim povezivanjem. Također su razvijene gel kuglice za modulaciju otpuštanja hidrofobnih lijekova, poput teofilina. Kombinacije alginata, hitosana i različitih lijekova pokazuju obećavajuće rezultate u dostavi lijekova u crijevima, debelom crijevu, koži i drugim tkivima. ¹²

4.3. Inovacije u terapijskoj primjeni alginata

Derivati alginata koji sadrže peptidne spojeve privlače veliku pažnju. Pripremaju se pomoću karboksilnih skupina šećernih ostataka tako što se dodaju bočni lanci peptida. Ova modifikacija dodavanjem odgovarajućih liganada, ključna je za poticanje i regulaciju staničnih interakcija. Sekvenca peptida arginin-glicin-asparaginska kiselina (RGD) često se koristi kao model adhezijskog liganda zbog učestalosti integrinskih receptora za ovaj peptid na različitim vrstama stanica ($\alpha v\beta 3$, $\alpha 5\beta 1$). Za prijanjanje na stanice, potrebna je tek minimalna koncentracija RGD peptida u alginatnim gelovima (10,0 $\mu\text{g}/\text{mg}$ alginata), osim toga ciklički RGD peptidi pokazali su se učinkovitima i u manjim koncentracijama. Kako bi se učinak gela lakše kontrolirao može se upotrijebiti pufer koji sadrži fosfat ili spojeve poput kalcijevog sulfata (CaSO_4) i kalcijevog karbonata (CaCO_3). Najčešća metoda stvaranja hidrogela iz alginata je

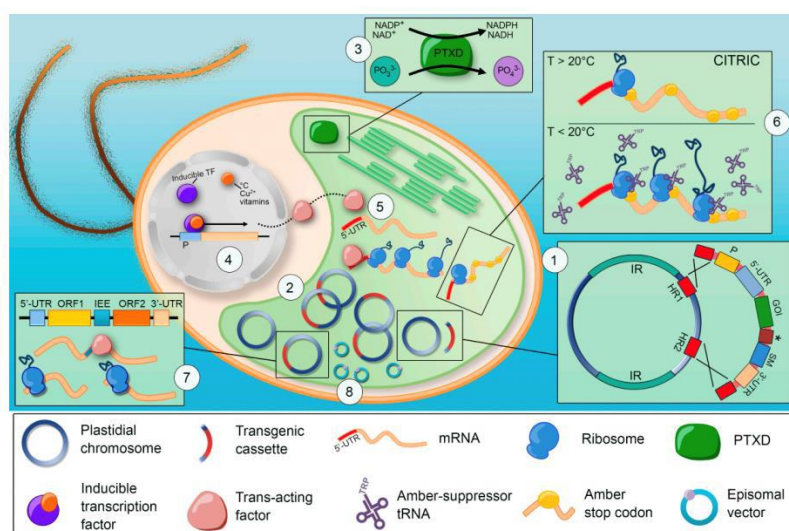
dodavanje dvovalentnih kationa (npr. Ca^{2+}). Zbog otpuštanja kalcijevih iona u fiziološkim uvjetima, ionski povezani hidrogelovi imaju ograničenu stabilnost te se radi toga istražuju rješenja za kovalentno povezivanje hidrogela. S ciljem poboljšanja svojstava gelova, kovalentno povezani gelovi omogućuju da veze ne mogu disocirati i ponovno se formirati. Fotokovalentno povezivanje jedan je od načina na koji se stvara fleksibilan i proziran hidrogel, koji je ujedno i primjenjiv u kirurškim zahvatima transplantacija rožnice bez potrebe šivanja. Alternativni pristup fotokovalentnog povezivanja koristi polialilamin kako bi se poboljšala mehanička svojstva gela bez toksičnosti. ¹²

4.4. Važnost mikroalge *Chlamydomonas reinhardtii*

Chlamydomonas reinhardtii (*C. reinhardtii*) jedna je od najistraženijih mikroalgi prema kojoj su otkriveni značajni biokemijski i metabolički procesi u eukariotima. Ovaj organizam pokazuje kako se može spojiti potražnja biomolekula i proteina te njihova održiva proizvodnja. Zbog učinkovite fotosinteze i sposobnosti hvatanja ugljika, ova mikroalga može zamijeniti konvencionalne kopnene usjeve koji nisu toliko održivi. Zainteresiranost i istraživanje ovog organizma je u porastu te njegova potencijalna primjena u medicinskoj industriji i proizvodnji cjepiva trenutno se smatra sigurnom. Općenito, stanice algi bogate su polisaharidima, ali *Chlamydomonas reinhardtii* posebno je bogata polisaharidima koji imaju različita svojstva kao što su stabilizacija, zgušnjavanje i gel svojstva. Važno je spomenuti dvije vrste polisaharida u ovim mikroalgama, a to su egzopolisaharidi (EPS) i sulfatirani polisaharidi (SP). EPS štite alge od vanjskih čimbenika te povećanjem stresnih uvjeta moguće je potaknuti nakupljanje tih ugljikohidrata u algama do čak 15 puta. Iako njihov mehanizam još nije u potpunosti jasan, zasad se smatra da SP iz *C. reinhardtii* može spriječiti bakterijske infekcije, inhibirati formiranje biofilma i djelovati protiv određenih tipova raka. ¹⁴

Pored polisaharida, lipidi također doprinose značaju ove vrste. Esencijalne masne kiseline, ALA (alfa-lipoična kiselina), DHA (dokosaheksaenoična kiselina) i EPA (eikosapentaenoična kiselina) posebno se ističu u ovoj algi. Sve tri kiseline imaju ključne uloge u funkciji tijela i očuvanju zdravlja. Samo neke od dobrobiti su borba protiv neuroloških poremećaja, upala i kardiovaskularnih oboljenja. ¹⁴

4.4.1. Rekombinantni proteini i njihova primjena u terapiji
 Osim korisnih markomolekula, rekombinantni proteini iz ovih algi koriste se kao genetski modificirane bjelančevine u farmaceutske svrhe. Oni su posebno korisni jer omogućavaju liječnicima da prilagode tretmane individualnim potrebama pacijenata. Mikroalge postaju ključne za proizvodnju terapijskih proteina te su u usporedbi s bakterijama ili biljkama, puno pristupačnije za proizvodnju proteina. Jednostavan genom i sposobnost preciznog prenošenja genetske informacije u kloroplastu mikroalge *C. reinhardtii* (Slika 10) čini ga idealnim za proizvodnju specifičnih proteina koji su nam potrebni. Sposobnost proizvodnje raznih antitijela i enzima, posebno je interesantan kod ovog kloroplasta te ga to čini iznimno važnim za budućnost biotehnologije i tehnologije lijekova. ¹⁵



Slika 10. Prikaz unutrašnjosti kloroplasta *C. reinhardtii*

Pored svih benefita, korištenje jednostanične alge *C. reinhardtii* za proizvodnju predstavlja velik izazov, posebno prelazak iz laboratorija na

industrijsku razinu zbog visokih troškova i rizika od kontaminacije. No, zahvaljujući genetskom inženjeringu, alge se mogu genetski modificirati kako bi bolje proizvodile vrijedne spojeve poput terapeutskih proteina i antitijela. Alge su posebno zanimljive zbog njihove genetike koja nudi prednosti nad drugim organizmima poput bakterija i kvasca. Iako postoje razne tehnike za uređivanje genoma poput CRISPR-Cas9, još uvijek postoje izazovi kao što su stabilnost gena i neželjene mutacije. ¹⁴

5. Alge u poljoprivredi i održivom razvoju

Povećanjem populacije, poljoprivreda se suočava s izazovima koji dovode do široke upotrebe sintetičkih gnojiva i pesticida, uzrokujući degradaciju tla i štetu okolišu. Kako bi se promicala održivost, postoji interes prema korištenju algi. Ovi organizmi su bogati hranjivim tvarima i korisnim spojevima koji pospješuju rast biljaka i otpornost na stres. Nedavna istraživanja naglašavaju njihov potencijal u ulozi bio-gnojiva, bio-stimulansa i bio-pesticida, nudeći održiva poljoprivredna rješenja. ¹⁶

Za uspjeh poljoprivrede, najvažnija je plodnost tla, a jedan od izazova današnjice za opstanak plodnosti tla je zastupljenost teških metala u okolišu. Naime, nedostatak dušika je ključni čimbenik smanjenja produktivnosti biljaka pa se tako preporučuje korištenje bio-gnojiva. Kao fotosintetski organizmi, alge osim što imaju mogućnost poboljšati kvalitetu tla te tako povećati produktivnost, također imaju veliku ulogu u smanjenju emisija CO₂. ¹⁷

5.1. Alge kao ekološki prihvatljiviji izvor gnojiva i bio-stimulansa

Bio-fertilizacija, ključna u održivoj poljoprivredi, koristi žive organizme poput algi kako bi se poboljšala plodnost tla bez teških kemikalija. Prirodna gnojiva, koja se mogu primjenjivati na različite načine (slika), doprinose očuvanju tla, ublažavaju klimatske promjene te dovode do

smanjenja teških bolesti koje su povezane s onečišćenjem. Iz tog razloga istražuju se alternative pesticidima i anorganskim gnojivima, koji imaju negativan učinak na usjeve i tlo.

Također, alge imaju izuzetnu sposobnost fiksacije atmosferskog dušika, transformirajući ga u amonijak te tako obogaćuju tlo hranjivim tvarima. Tradicionalna gnojiva često dovode do gubitka dušika u okoliš, stoga su alge u prednosti nad njima. Ekstrakti mikroalgi mogu zamijeniti kemijska gnojiva, dok makroalge s druge strane mogu pridonijeti većoj otpornosti tla na stres, a jedna od najpoznatijih smeđih algi s ovakvim učinkom je *Ascophyllum nodosum*.¹⁸

Alge poput *Anabaena variabilis* proizvode kelatore. Kelatori su spojevi koji imaju sposobnost vezanja metalnih iona ili drugih molekula. Osim vezanja, kelatori igraju važnu ulogu u procesima otapanja i povećanja dostupnosti minerala biljkama, stoga osim što alge imaju ulogu u fiksaciji dušika, ističu se i važnost fiksacije fosfora u tlu, čineći ga dostupnijim biljkama za rast i razvoj.¹⁹

Mikroalge proizvode raznovrsne molekule, uključujući fitohormone, polisaharide, aminokiseline i antioksidanse, čime pružaju bio-stimulante za poljoprivredne usjeve. Fitohormoni, poput auksina, citokinina i drugih, reguliraju ključne fiziološke procese biljaka, potičući rast korijena, cvatnju i prilagodbu na različite uvjete. Polisaharidi proizvedeni od mikroalgi potiču rast korijena, povećavaju apsorpciju vode i hranjivih tvari, dok aminokiseline djeluju kao prekursori proteina, pomažući biljkama da se prilagode nepovoljnim uvjetima.²⁰

5.2. Alge kao carbon sink

Kriza klimatskih promjena te tehnologija hvatanja ugljika i pohrane (CCS), zahtijevaju biološku alternativu hvatanja CO₂ pomoću mikroalgi. Zbog sposobnosti hvatanja CO₂ iz različitih izvora, mikroalge se ističu kao održivo rješenje. Također, pomoću genetskog inženjeringa može se dodatno poboljšati njihova učinkovitost hvatanja CO₂. Istraživanjem

ključnih vrsta mikroalgi te potrebnih uvjeta rasta, identificiraju se upravo one koje imaju visoku sposobnost za efikasno hvatanje. Neki od problema u tehnologiji uključuju nedostatak demonstracijskih uređaja, uzgoj na otvorenom i rizik od kontaminacije, stoga je potreban interdisciplinarni pristup i daljnji razvoj u biotehnologiji. ²¹

Iako postoje metode za hvatanje i skladištenje ugljika, poput kemijske apsorpcije, postavlja se pitanje o njihovoj sigurnosti za okoliš. Kao alternativno rješenje pomoću mikroalgi, ključ je u recikliranju CO₂ u biomasu pomoću procesa fotosinteze, gdje nastaju i drugi vrijedni proizvodi. Istraživanja algi i njihove mogućnosti uvođenja u biorafineriju, otvara vrata za inovativne proizvode i goriva. Sami koncept biorafinerije predstavlja iskorištavanje algalne biomase kako bi dobili biodizel (dobiven iz lipida), bioplin, bioetanol i biobutanol.

Unatoč njihovom ogromnom potencijalu, trenutna proizvodnja mikroalgi za proizvode poput biogoriva nije ekonomski održiva, a postizanje upravo ekonomske održivosti zahtijeva rješavanje izazova u procesima uzgoja i prerade algi. Smatra se da bi najbolje rješenje za ovaj problem bilo iskorištavanje biomase kroz ekstrahiranje i procesuiranje svake vrijedne komponente pojedinačno. ²²

Bilo jednostanične ili višestanična alge, imaju specifičnosti u fotosintetskom procesu što ih čini iznimno značajnima u procesu pohrane CO₂. Jedna od ključnih karakteristika fotosinteze kod algi je prisutnost spomenutih pigmenata u različitim vrstama algi. Klorofil, primarni pigment odgovoran za apsorpciju svjetlosti u fotosintezi, zastupljen je u različitim oblicima. Osim klorofila, neke alge sadrže i dodatne pigmente poput fikobiliproteina koji im omogućavaju apsorpciju svjetlosti u širem spektru. Ova raznolikost pigmenata algama omogućuje fotosintezu u uvjetima gdje biljke možda nisu tako učinkovite. Nadalje, neke vrste algi imaju visoku stopu fotosinteze, poput Chlorelle i Spiruline. ²³

Modifikacija gena odgovornih za fotosintetske procese imaju potencijal poboljšati brzinu i učinkovitost apsorpcije CO₂. Napredak u razvoju molekularnih alata omogućuje precizniju kontrolu gena i metabolizma, a ključni koraci su optimizacija kodona, modifikacija 5' područja te uvođenje introna i promotora. Fokus na inženjeringu fotosintetske proizvodnje je na terpenoidima, velikoj i raznolikoj skupini spojeva prisutnih u algama. Terpenoidi su poznati i kao izoprenoidi, prirodni organski spojevi koji potječu od izoprena. Mikroalge predstavljaju idealnu podlogu za proizvodnju terpenoida zbog njihove uobičajene sposobnosti korištenja CO₂. Osim toga, mikroalge sadrže plastidijski metil-eritritol fosfatni put (MEP) koji je efikasan u proizvodnji terpenoida i fiksaciji ugljika. Ciljani enzim u ovom putu je deoksiksuloza 5-fosfat sintaza (DXS) te genetskim modifikacijama ovog enzima moguće je postići visoki titar, odnosno visoku koncentraciju terpenoida. Pored modifikacija, postoje inovacije poput foto-bioreaktora za preciznu kontrolu fotosinteze i povećane učinkovitosti fiksacije CO₂. Kombinacija spomenutih alata predstavlja obećavajući put prema razvoju održivih tehnologija koje imaju potencijal doprinijeti borbi protiv klimatskih promjena. ²⁴

6. Literatura:

- 1 Dahiya D, Sharma H, Rai AK, Nigam PS. Application of biological systems and processes employing microbes and algae to Reduce, Recycle, Reuse (3Rs) for the sustainability of circular bioeconomy. *AIMS Microbiol* 2022; **8**: 83–102.
- 2 Diaz CJ, Douglas KJ, Kang K, Kolarik AL, Malinovski R, Torres-Tiji Y *et al.* Developing algae as a sustainable food source. *Front Nutr* 2022; **9**: 1029841.
- 3 Scranton MA, Ostrand JT, Fields FJ, Mayfield SP. Chlamydomonas as a model for biofuels and bio-products production. *Plant J* 2015; **82**: 523–531.
- 4 Wu JY, Tso R, Teo HS, Haldar S. The utility of algae as sources of high value nutritional ingredients, particularly for alternative/complementary proteins to improve human health. *Front Nutr* 2023; **10**: 1277343.
- 5 Pomin VH. *Seaweed: ecology, nutrient composition, and medicinal uses.* .
- 6 Ścieszka S, Klewicka E. Algae in food: a general review. *Crit Rev Food Sci Nutr* 2019; **59**: 3538–3547.
- 7 Kumari A, Garima, Bharadvaja N. A comprehensive review on algal nutraceuticals as prospective therapeutic agent for different diseases. *3 Biotech* 2023; **13**. doi:10.1007/s13205-022-03454-2.

- 8 Wells ML, Potin P, Craigie JS, Raven JA, Merchant SS, Helliwell KE *et al.* Algae as nutritional and functional food sources: revisiting our understanding. *Journal of Applied Phycology* 2017; **29**: 949–982.
- 9 Zhang X, Zhang F, Li Q, Feng C, Teng W. Iodine nutrition and papillary thyroid cancer. *Frontiers in Nutrition* 2022; **9**. doi:10.3389/fnut.2022.1022650.
- 10 Barbosa M, Inácio LG, Afonso C, Maranhão P. The microalga *Dunaliella* and its applications: a review. *Applied Phycology* 2023; **4**: 99–120.
- 11 Khoo KS, Lee SY, Ooi CW, Fu X, Miao X, Ling TC *et al.* Recent advances in biorefinery of astaxanthin from *Haematococcus pluvialis*. *Bioresource Technology* 2019; **288**: 121606.
- 12 Lee KY, Mooney DJ. Alginate: Properties and biomedical applications. *Progress in Polymer Science (Oxford)* 2012; **37**: 106–126.
- 13 Samuels TL, Blaine-Sauer S, Yan K, Plehhova K, Coyle C, Johnston N. Topical Alginate Protection against Pepsin-Mediated Esophageal Damage: E-Cadherin Proteolysis and Matrix Metalloproteinase Induction. *International Journal of Molecular Sciences* 2023; **24**. doi:10.3390/ijms24097932.
- 14 Masi A, Leonelli F, Scognamiglio V, Gasperuzzo G, Antonacci A, Terzidis MA. *Chlamydomonas reinhardtii*: A Factory of Nutraceutical and Food Supplements for Human Health. *Molecules* 2023; **28**. doi:10.3390/molecules28031185.
- 15 Perozeni F, Baier T. Current Nuclear Engineering Strategies in the Green Microalga *Chlamydomonas reinhardtii*. *Life (Basel)* 2023; **13**: 1566.
- 16 Ferreira A, Bastos CRV, Marques-dos-Santos C, Acién-Fernandez FG, Gouveia L. Algaeculture for agriculture: from past to future. *Frontiers in Agronomy* 2023; **5**. doi:10.3389/fagro.2023.1064041.
- 17 Ammar EE, Aioub AAA, Elesawy AE, Karkour AM, Mouhamed MS, Amer AA *et al.* Algae as Bio-fertilizers: Between current situation and future prospective. *Saudi Journal of Biological Sciences* 2022; **29**: 3083–3096.
- 18 Ammar EE, Rady HA, Khattab AM, Amer MH, Mohamed SA, Elodamy NI *et al.* A comprehensive overview of eco-friendly bio-fertilizers extracted from living organisms. *Environmental Science and Pollution Research* 2023; **30**: 113119–113137.

- 19 Parmar P, Kumar R, Neha Y, Srivatsan V. Microalgae as next generation plant growth additives: Functions, applications, challenges and circular bioeconomy based solutions. *Frontiers in Plant Science* 2023; **14**. doi:10.3389/fpls.2023.1073546.
- 20 González-Pérez BK, Rivas-Castillo AM, Valdez-Calderón A, Gayosso-Morales MA. Microalgae as biostimulants: a new approach in agriculture. *World J Microbiol Biotechnol* 2021; **38**: 4.
- 21 Onyeaka H, Miri T, Oibileke KC, Hart A, Anumudu C, Al-Sharify ZT. Minimizing carbon footprint via microalgae as a biological capture. *Carbon Capture Science & Technology* 2021; **1**: 100007.
- 22 Singh J, Dhar DW. Overview of carbon capture technology: Microalgal biorefinery concept and state-of-the-art. *Frontiers in Marine Science* 2019; **6**. doi:10.3389/fmars.2019.00029.
- 23 Glockow T, Velaz Martín M, Meisch L, Kapiéske D, Meissner K, Correa Cassal M *et al.* A photobioreactor for production of algae biomass from gaseous emissions of an animal house. *Applied Microbiology and Biotechnology* 2023; **107**: 7673–7684.
- 24 Einhaus A, Baier T, Kruse O. Molecular design of microalgae as sustainable cell factories. *Trends in Biotechnology* 2023. doi:10.1016/j.tibtech.2023.11.010.

Izvori slika:

Slika 1.

<https://www.enciklopedija.hr/clanak/fotosinteza>

Slika 2.

<https://www.researchgate.net/profile/Jaime-Teixeira-Da-Silva/publication/283348170/figure/fig2/AS:669487875510293@1536629756753/The-structure-of-Chlorophyll-a-and-b.png>

Slika 3.

<https://theconversation.com/microalgae-is-natures-green-gold-our-pioneering-project-to-feed-the-world-more-sustainably-170158>

Slika 4.

Liu, Z.; Sun, X. A Critical Review of the Abilities, Determinants, and Possible Molecular Mechanisms of Seaweed Polysaccharides Antioxidants. *Int. J. Mol. Sci.* **2020**, *21*, 7774.

Slika 5.

Varshosaz, Jaleh & Zaki, Mohammad & Minaiyan, Mohsen & Banoozadeh, Jaafar. (2015). Preparation, Optimization, and Screening of the Effect of Processing Variables on Agar Nanospheres Loaded with Bupropion HCl by a D-Optimal Design. *BioMed Research International*. **2015**. 1-13. 10.1155/2015/571816.

Slika 6.

Eskens, O.; Villani, G.; Amin, S. Rheological Investigation of Thermoresponsive Alginate-Methylcellulose Gels for Epidermal Growth Factor Formulation. *Cosmetics* **2021**, 8, 3.

Slika 7.

Chauhan, Prakram & Saxena, Arunika. (2016). Bacterial carrageenases: an overview of production and biotechnological applications. *3 Biotech*. 6. 10.1007/s13205-016-0461-3.

Slika 8.

<https://www.algotharm.com/en/seaweed/dunaliella-salina-en/>

Slika 9.

Metabolic pathway of carotenoid production in *Dunaliella* Hirschberg et al., 1999; Hirschberg, 2001; Sandmann, 2001; Ye, Jiang, & Wu, 2008

Slika 10.

Cutolo, E.A.; Mandalà, G.; Dall'Osto, L.; Bassi, R. Harnessing the Algal Chloroplast for Heterologous Protein Production. *Microorganisms* 2022

Sena Čevapović

Datum rođenja: 17. rujna 2001. | **Državljanstvo:** hrvatsko | **Spol:** Žensko | **Telefonski broj:**

(+385) 0997850123 (Mobilni telefon) | **E-adresa:** sena.cevapovic@gmail.com |

Adresa: Prijepoljska ulica 46, 10040, Zagreb, Hrvatska (Kućna)

● O MENI

Kao studentica preddiplomskog studija biotehnologije i istraživanja lijekova, odlučila sam se na obavljanje više stručnih praksi prije odlaska na diplomski studij u Švedsku. Pored stjecanja osnovnih laboratorijskih vještina te akademskih postignuća, imala sam priliku predstaviti svoje idejno rješenje za održivost okoliša na "Bug Future Showu" 2023. godine. Ostvarivši drugo mjesto sa svojim izlaganjem o algama, moj interes za održivost dodatno je porastao. U budućnosti želim biti dio novih i suvremenih rješenja koja biotehnologija nudi.

● RADNO ISKUSTVO

01. KOLOVOZA 2021. – 15. RUJNA 2021., Zagreb, Hrvatska

STRUČNA PRAKSA FIDELTA/PLIVA

- priprema otopina, pipetiranje, razrjeđenja
- rad na HPLC-u
- komunikacija s dobavljačima
- kritičko razmišljanje

TRENUTAČNO Trst, Italija

STRUČNA PRAKSA ULISSE BIOMED

- rad na PCR-u
- priprema reakcijskih mješavina za različite patogene
- inovativni način razmišljanja
- rad u različitim programima za podatke

● JEZIČNE VJEŠTINE

Materinski jezik/jezici: **HRVATSKI**

Drugi jezici:

	RAZUMIJEVANJE		GOVOR		PISANJE
	Slušanje	Čitanje	Govorna produkcija	Govorna interakcija	
ENGLESKI	C2	C1	C1	C1	C1
NJEMAČKI	A2	A2	A2	A2	A2

Razine: A1 i A2: temeljni korisnik; B1 i B2: samostalni korisnik; C1 i C2: iskusni korisnik

● DODATNE INFORMACIJE

HOBIJI I INTERESI

Sport