

# Alge u biotehnologiji

---

**Koletić, Nikola**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2011**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:499529>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-07**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**PRIRODOSLOVNO – MATEMATIČKI FAKULTET**  
**BIOLOŠKI ODSJEK**

**ALGE U BIOTEHNOLOGIJI**

**ALGAE IN BIOTECHNOLOGY**

**SEMINARSKI RAD**

Nikola Koletić

Preddiplomski studij biologije

(Undergraduate Study of Biology)

Mentor: Prof. dr. sc. Anđelka Plenković -Moraj

Zagreb, 2011.

# SADRŽAJ

---

1. UVOD.....	2
2. FIZIOLOŠKI POTENCIJALI.....	3
3. BIOTEHNOLOŠKI RELEVANTNE ALGE.....	7
4. POVIJEST ISKORIŠTAVANJA ALGI.....	9
5. BIOINDUSTRIJSKE MOGU NOSTI.....	10
5.1. PROIZVODNJA BIOGORIVA.....	10
5.2. PREHRANBENA INDUSTRIJA.....	13
5.3. AGRONOMIJA.....	15
5.4. FARMACEUTSKA INDUSTRIJA.....	16
5.5. KOZMETI KA INDUSTRIJA.....	17
6. BIOREMEDIJACIJA.....	18
7. TRANSGENETIKA .....	19
8. LITERATURA.....	20
9. SAŽETAK.....	22
10. SUMMARY.....	22

# 1. UVOD

---

Biotehnologija označava bilo kakvo tehnološko iskorištavanje bioloških sustava, živih organizama ili njihovih derivata u svrhu dobivanja produkata za specifičnu upotrebu (<http://www.cbd.int>), a pojam biotehnologije se ne smije povezivati samo s modernim tehnološkim napretkom. Primijenjena biologija koja služi kao temelj u proizvodnji bioprodukata svoj doprinos u biotehnologiji, osim biološkim znanostima, ostvaruje i suradnjom s tehnološkim znanostima izvan sfere biologije. Velika količina proizvedene hrane, lijekova, kozmetike, goriva, različitih tvornih kemikalija, industrijskih potrepština i sličnih proizvoda svoje zasluge duguju procesima biotehnološke proizvodnje.

Kao najraznolikija skupina živih biota na Zemlji, s oko 40 000 vrsta, alge se široko iskorištavaju u industriji. Alge predstavljaju životni oblik, a nikako sistematsku kategoriju, stoga se često pod tim terminom spominju cijanobakterije i eukariotske alge, bile one mikro ili makrofitske. Najmanji poznati eukariotski organizam, alga *Ostreococcus tauri* (Courties *et al.*, 1994) s promjerom stanice od 1  $\mu\text{m}$  i goleme smeđe alge vrste *Macrocystis pyrifera* koje tvore podvodne šume kelpova i mogu doseći veličinu preko 60 metara (Cribb, 1954) daju uvid u veliku bioraznolikost ove skupine (Slika 2., str. 8). Zbog svoje velike raznolikosti alge mogu naseljavati i različite tipove staništa, te ih tako nalazimo većinom u vodi i vlažnim staništima ali i na zemlji, snijegu, kamenu, drveću ili u zraku te u različitim, ponekad i ekstremnim, ekološkim uvjetima. Uzgoj mikrofitskih i makrofitskih algi i cijanobakterija je jeftin i brz proces, a dobit od njih je neusporediva u odnosu s dobiti od ostalih skupina organizama i njihovih derivata.

Alge predstavljaju obnovljiv izvor energije, a primarnom produkcijom godišnje proizvedu oko 52 milijarde tona organskog ugljika. Zbog moguće nosti uzgoja u vodi i na kopnu, i to na mjestima neodgovarajućim za uzgoj kultiviranih biljaka, često se koriste u proizvodnji goriva a široku upotrebu imaju u procesima bioremedijacije. Kao hrana, alge su popularne u Europi i Aziji a poznato je da predstavljaju najsavršeniji oblik prehrane zbog savršenih omjera hranjivih tvari. Skladištenjem velikih količina lipida, proteina i ugljikohidrata alge su korisne u proizvodnji drugih prehrambenih i neprehrambenih artikala. Osim što same mogu koristiti kao hrana ili dodatak prehrani, u biofertilizaciji se alge koriste kao bogat izvor dušika, fosfora, kalija, joda, željeza, kalcija, silicija te raznih minerala i vitamina. Koristi od njih uvidjele su kozmetičke i farmaceutske tvrtke zbog moguće nosti proizvodnje velikih količina lijekova i kozmetike (<http://www.biotecharticles.com>).

Alge su većinom autotrofni organizmi te kao i biljke procesom fotosinteze troše ugljikov dioksid iz zraka i kao produkt otpuštaju kisik čime jako doprinose u suzbijanju štetnih utjecaja stakleni kućnih plinova. Kontroliran uzgoj algi u laboratorijima i tako zvane "algološke farme" nastoje doprinijeti što efikasnijem i jeftinijem uzgoju algi kao potencijalno najsavršenijih biotehnoloških proizvoda koji mogu riješiti mnogo svjetskih problema.

## 2. FIZIOLOŠKI POTENCIJALI

---

Velika raznolikost u fiziološkim oblicima algi i cijanobakterija daje mnogo mogućnosti korištenja njihovih derivata. Pojedina no različit primarni i sekundarni metaboliti, pigmenti, rezervne tvari kao i cijela biomasa algi prerađuju se i koriste u danjim biotehnološkim proizvodnjama. Brzina mitotskih dioba mikrofitičkih algi i cijanobakterija kao i rast makrofitičkih algi ovisi o količini svjetlosti, temperaturi i dostupnosti nutrijanata u mediju u kojem žive. Poznato je da i alga *Macrocystis pyrifera* može rasti i do 5 cm na dan pri optimalnim uvjetima (Cribb, 1954). Velika sposobnost regeneracije posljedica je male diferencijacije tkiva. Upravo zbog male diferencijacije tkiva sve stanice talusa alge sadrže sličnu količinu primarnih i sekundarnih metabolita, pigmenta i svih rezervnih tvari koje se potencijalno mogu iskoristiti. Zbog toga se često obrađuje cijela biomasa mikrofitičkih i makrofitičkih algi iz kojih se kasnije ekstrahiraju ciljani derivati.

Pigmenti imaju veliku važnost u prehrambenoj, farmaceutskoj i kozmetičkoj industriji. Generalna podjela algi temelji se upravo na sastavu pigmenta koje alge imaju u svojim stanicama. Velika raznolikost u obojanosti kod algi posljedica je različitog sastava i omjera u količini pigmenta. Pigmenti su organizirani u posebnim fotosustavima na tilakoidnim membranama koje mogu biti u plastidima ili slobodne u citosolu, a ti fotosustavi služe za primanje svjetlosti u procesu fotosinteze i za obranu od štetnih zračenja. Klorofili su pigmenti koji su prisutni kod svih fotoautotrofih organizama na Zemlji. Oni apsorbiraju crveni i plavi dio vidljivog spektra i zbog toga su vidljivi u zelenoj boji. Građeni su od kompleksa magnezijevog porfirina esterificiranog s dugolananim alkoholom fitolom. Klorofili *a*, *b* i *d* su građeni na sličan način dok klorofilu *c* fali dugi fitolni lanac (<http://www.ch.ic.ac.uk>). Sve alge i cijanobakterije imaju klorofil *a* dok je klorofil *b* specifičan za zelene alge (svoje *Chlorophyceae* i *Prasinophyceae*) i neke cijanobakterije (svoje *Prochlorophyta* i *Glaucophyta*). Klorofil *c* zastupljen je kod diatomeja (svoje *Bacillariophyta*), smećih algi (svoje *Phaeophyta*) i nekih mikrofitičkih algi dok klorofil *d* imaju samo crvene alge (svoje *Rhodophyta*).

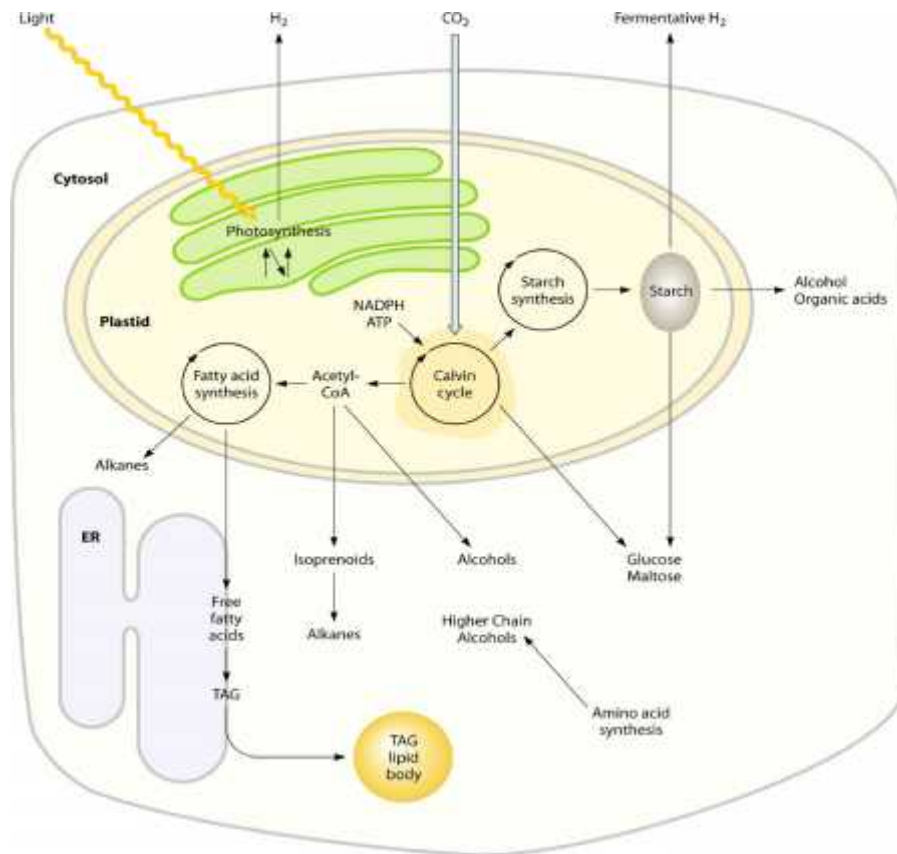
Druga grupa pigmenta su karotenoidi. Karotenoidi se nalaze kod svih eukariotskih algi i cijanobakterija dok se fikobilini, treća grupa pigmenta, nalaze većinom kod crvenih algi i cijanobakterija. Karotenoidi su pigmenti žute do crvene boje. Dijele se na karotene i ksantofile. Od karotena su najpoznatiji derivati  $\beta$ -karoten i likopen dok se oblici ksantofila određuju s obzirom na broj dodatnih skupina vezanih na osnovnu molekulu određenog ksantofila (<http://www.nutricionizam.com>). Zbog prokariotske građe stanice cijanobakterije sadrže drugu vrstu organizaciju pigmenta. Fotosintetske membrane nisu u nikakvom posebnom stanju odjeljku nego se nalaze na periferiji stanica a fotosintetski aparat je otvoren prema citoplazmi. Fikobilisomi su proteinske strukture koje sadrže pigmente fikobiline i to to nije fikoeritrin, fikocijanin, alofikocijanin i fikoeritrocijanin koji su vezani za klorofil *a*. Fikobiline imaju također i crvene alge u rodoplastima zajedno s klorofilima *a* i *d* te karotenoidima. Smeća boja smećih algi većinom dolazi od oksidiranog spoja fluorotanina iako smeće alge imaju bogat raspon karotenoida u stanicama (fukoksantin, flavoksantin, neofukoksantin, neoksantin i violaksantin) (<http://www.ucmp.berkeley.edu>). Pigmenti kod različitih svojti prikazani su u Tablici 1.

**Tablica 1.** Pigmenti kod različitih svojiti algi i cijanobakterija korištenih u bioindustriji

Pigmenti	Cyanophyta	Prochlorophyta	Glaucophyta	Rhodophyta	Chlorophyceae	Prasinophyceae	Cryptophyta	Prymnesiophyceae	Chrysochyceae	Raphidophyta	Xanthophyceae	Phaeophyceae	Bacillariophyceae	Dinophyta
<b>KLOROFILI</b>														
<b>Klorofil a</b>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<b>Klorofil b</b>		+	+		+	+								
<b>Klorofil c</b>							+	+	+		+	+	+	+
<b>Klorofil d</b>				+										
<b>FIKOBILINI</b>														
<b>Alofikocijanin</b>	+													
<b>Fikocijanin</b>	+	+	+	+			+			+				
<b>Fikoeritrin</b>	+	+	+	+			+			+				
<b>KAROTENOIDI</b>														
<b>Afanaksantin</b>	+													
<b>Zeaksantin</b>	+	+				+	+			+				
<b>Neoksantin</b>					+							+		
<b>Nostoksantin</b>	+													
<b>Diadinoksantin</b>									+				+	+
<b>Peridinin</b>														+
<b>Aloksantin</b>							+							
<b>Fukoksantin</b>								+	+		+	+	+	+
<b>Lutein</b>		+		+	+	+			+					
<b>Siphonoksantin</b>					+	+								
<b>Vaucheriaksantin</b>										+	+			
<b>Prasinoksantin</b>						+								
<b>Violaksantin</b>	+											+		

Alge su ve inom fotosintetski organizmi i procesom fotosinteze proizvode kisik i apsorbiraju ugljikov dioksid kao bi proizvele ugljikohidrate dok fotofosforilacijom proizvode energiju u obliku ATP-a. Udio mikrofitskih i makrofitskih algi koje produciraju kisik je velik te od ukupne biomase svih fotosintetskih organizama koji proizvode kisik, alge proizvedu kisik za svaki drugi udisaj zraka. Složen proces fotosinteze i stani nog disanja kod algi kao produkte ima različite spojeve (Slika 1.) koji se posebnim tehnikama izolacije mogu iskoristiti u biotehnološkoj proizvodnji. Biosinteza masnih kiselina dešava se na membranama glatkog endoplazmatskog retikuluma dok se dobivene molekule modificiraju u ulja koja se skladište u posebnim stani nim kompartmentima u citoplazmi stanice. Biosinteza proteina dešava se na

membranama hrapavog endoplazmatskog retikuluma ili na slobodnim ribosomima u citosolu stanice (Pevalek-Kozlina, 2003). Lipidi, proteini i ugljikohidrati sintetiziraju se u razliitim oblicima kod razliitih svojih algi.



**Slika 1.** Shema fotosinteze i biosinteze makromolekula

(Radakovits *et al.*, 2010)

Razliitim metabolitima kimijevim putevima sinteza ugljikohidrata kreće se od produkcije jednostavnih šećera. Skladištenjem škroba u plastidima ili sintezom polisaharida u citosolu alge gomilaju rezervne tvari koje im mogu koristiti u nepovoljnim uvjetima. Crvene alge akumuliraju rodamilon, odnosno oblik škroba – floridejski škrob - u zrcima izvan plastida dok smeđe alge uopće ne proizvode škrob nego su im rezervne tvari u obliku polisaharida krizolaminarina i manitola te ulja. Zelene alge većinom skladište velike količine škroba koji se nakupljaju oko proteinskog pirenoida ili kao zrnca u plastidima. Cijanobakterije skladište polisaharide u obliku cijanoficejskog škroba ( -1,4-poliglukan), fosfate u volutinskim zrcima a nitrate u polimernim oblicima agrinina i asparagina – karboksosomima (Tablica 2.). Produkti sekundarnog metabolizma kod cijanobakterija su razne bioaktivne tvari koje u većini imaju djelovanje kao toksini, vrlo jaki neuro i hepatotoksini ili pak terapeutici.

**Tablica 2.** Rezervne tvari kod različitih svojiti algi i cijanobakterija korištenih u bioindustriji

	Cyanophyta	Prochlorophyta	Glaucophyta	Rhodophyta	Chlorophyceae	Prasinophyceae	Cryptophyta	Prymnesiophyceae	Chrysochyceae	Xanthophyceae	Phaeophyceae	Bacillariophyceae	Dinophyta
<b>Rezervne tvari</b>													
<b>Karbohidrati</b>	+	+	+										
<b>Cijanoficejski proteini</b>	+												
<b>Polifosfatna zrnca</b>	+		+										
<b>Cijanoficejski škrob</b>	+	+											
<b>Škrob</b>			+		+	+	+						+
<b>Krizolaminarin</b>								+	+	+	+	+	
<b>Floridejski škrob</b>				+									
<b>Manitol</b>						+					+		

Poznat derivat sme ih algi je alginat ili algin. Sme e alge rastu esto u turbulentim vodama pa im je potrebna velika elasti nost kako bi normlano živjele u takvim uvjetima. Alginat koji se nalazi u stani noj stijenci je odgovoran za njihovu veliku savitljivost. Alginat kod algi dolazi u obliku magnezijeve, natrijeve ili kalcijeve soli alginske kiseline. Drugi poznati derivat sa sli nim svojstvima kod algi je agar. Agar je polisaharid sastavljen od agaroze i agaropektina a strukturne jedinice agara se zovu agarobioze. Agar primarno služi kao potpora stani noj stijenci nekih crvenih algi i jedino se iz njih može ekstrahirati (McHugh, 2003). Neke alge u svoju stani nu stijenk u ulažu mineralne tvari koje imaju funkciju ve e potpore i zaštite stanice ili cijelog talusa. Dijatomeje ili alge kremenjašice su jednostani ni organizmi ija je stani na stijenka zamijenjena dvjema plo icama od silicijevog dioksida (kremena) koje tvore strukturu sli nu kutiji a svaka vrsta je specifi na s obzirom na položaj i oblik tekstura na kremennoj ljušturici. Zbog svoje jedinstvene gra e, vrstog oblika te velike u estalosti u okolišu, ljuštirice dijatomeja se koriste u farmaciji i kozmetici a zbog svoje kremene strukture alge svoje mjesto nalaze i u nekim tehnološkim pripravcima i dizajnama. Tako su est sadržaj boja za cestu jer uspješno reflektiraju svijetlost a prema njihovim pravilnim ljušturicama bađdiraju se le e za mikroskope. Mnoge svojte algi ugra uju kalcijev karbonat u sastav svojih stani nih stijenki. Poznato je da velik broj vrsta crvenih i zelenih makrofitskih algi kalcificira dok je kod sme ih algi ugradnja kalcijevog karbonata na površinu talusa zabilježena samo kod roda *Padina*. Taloženjem kalcificiranih algi tokom dugog vremenskog razdoblja nastaje poseban oblik kamena koji se koristi u gra evinarstvu.



### 3. BIOTEHNOLOŠKI RELEVANTNE ALGE

---

Zbog velike raznolikosti fenotipskih skupina, mnoštva različitih morfoloških i ekoloških oblika (Slika 2.), broj vrsta koje se industrijski iskorištavaju je velik. Uz alge, oko 2000 poznatih vrsta cijanobakterija čini potencijalan materijal za preradu. Sistematika cijanobakterija je slabo istražena i često se ispravlja zbog složene taksonomije i manjka morfoloških karakteristika koje bi pomogle u slaganju to njih filogenetskih karata. U prirodnim ekosustavima cijanobakterije često dominiraju nad zajednicama eukariotskih alga zbog brze reprodukcije i sposobnosti brze apsorpcije i depozita fosfata, nitrata i ugljika u stanicama (Pulz *et al.*, 2004).

Najprihvaćeniji sustav kategoriziranja svrstava cijanobakterije u četiri velika reda: *Chroococcales*, *Oscillatoriales*, *Nostocales* i *Stigonematales*. Red *Chroococcales* karakteriziraju okruglaste stanice koje dolaze u raznim oblicima kao pojedinačne stanice ili u koloniji. Red *Oscillatoriales* karakteriziraju stanice organizirane u nerazgranate niti. Oblik niti i pojedinačne stanice u niti se koristi kao determinacijsko svojstvo. Biotehnološki najbitniji predstavnici ovog reda su vrste iz roda *Spirulina* i *Arthrospira*. Red *Nostocales* i *Stigonematales* karakteriziraju stanice poredane u nepravilne niti s pojedinačnim stanicama koje mogu fiksirati atmosferski dušik. Te stanice se nazivaju heterocite i važne su u funkcioniranju kolonije, a u agronomiji su prepoznate kao sastav prirodnih biofertilizatora. Biotehnološki važni pripadnici reda *Nostocales* su rodovi *Nostoc*, *Anabena* i *Aphanizomenon*. Vrste roda *Anabena*, koje su simbionti kod plutajućih paprati, se često uzgajaju u poljima riže zbog sposobnosti asimilacije dušika.

S obzirom na biotehnološku proizvodnju, važnost zelenih algi je velika. Najveća skupina algi s 8000 vrsta u 500 rodova i najvećom raznolikošću u veličini (Slika 2.) i s velikim biokemijskim razlikama. Biotehnološki značajni rodovi zelenih algi koje se većinom uzgajaju za prehrambene svrhe i izolaciju pigmenta su *Chlorella*, *Chlamydomonas*, *Scenedesmus*, *Dunaliella* i *Haematococcus*. Uzgoj mikrofitske alge vrste *Dunaliella salina* odavno je sastavni dio industrije i prerade izoliranog  $\beta$ -karotena iz te alge (Borowitzka, 1998). *Haematococcus pluvialis* važan je izvor karotenoida astaksantina koji čini do 3% mase alge (Lorenz *et al.*, 2000). U marikulturi i uzgoju algi za prehranu koriste se također alge rodova *Tetraselmis*, *Pyramimonas* i *Micromonas*. Biotehnološki značajni predstavnici zelenih algi razreda *Ulvophyceae* i *Charophyceae* su uglavnom makrofitske alge. Jedino su vrste roda *Spirogyra* uzgajane zbog ekstrakcije nekih bioaktivnih tvari, kao na primjer baktericida (Muller-Feuga *et al.* 2003).

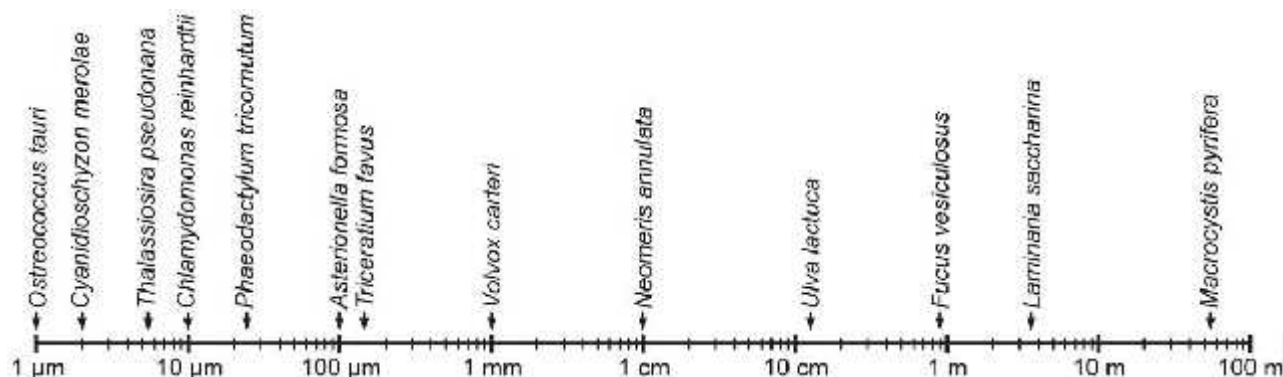
Crvene alge (odjel *Rhodophyta*) podijeljene su na dva razreda: *Bangiophyceae* i *Florideophyceae*. Većinom su to makrofitske morske alge (iako postoje i slatkovodne), dok je malen broj mikrofitskih slabo poznat. Morske crvene alge se uzgajaju zbog polisaharidnih komponenti (agar) koje čine sastavni dio njihove stanične stijenke. Biotehnološki značajni rodovi crvenih algi iz kojih se ekstrahiraju agar su *Gelidium*, *Gracilaria*, *Pterocladia*, *Gelidiella* i *Ahnfeltia*. Osim polisaharida iz stanične stijenke, vrsta crvene alge *Porphyridium cruentum* se uzgaja za produkciju pigmenta fikocijanina i fikoeritrina (Borowitzka, 1998) a za prehranu se uzgajaju još alge rodova *Porphyra* i *Palmaria*.

Razred *Phaeophyceae* su smeđe alge čiji su predstavnici većinom morske makrofitske alge. Od 13 redova biotehnološki su najvažniji redovi *Cutleriales*, *Dictyotales*, *Ectocarpales*,

*Fucales* i *Laminariales*. Rodovi koji su bitni za uzgoj zbog polisaharidnih i ostalih komponenata talusa su *Ascophyllum*, *Durvillaea*, *Ecklonia*, *Laminaria*, *Lessonia*, *Macrocystis* i *Sargassum* (McHugh, 2003). Duga tradicija uzgoja sme ih algi duguje svoju važnost prehranbenim potrebama ljudi dok se izolirani derivati sme ih algi široko koriste u kozmetici i farmaciji.

Mikrofitske alge koje se uzgajaju ve inom u kontroliranim uvjetima, otvorenim ili zatvorenim sustavima, dolaze iz skupine *Heterokontophyta*. Biotehnoški važni razredi unutar tog odjela su *Xanthophyta*, *Chrysophyta* i *Bacillariophyta*. *Xanthophyta* se mogu podijeliti na oko 600 vrsta u 90 rodova. Ve inom su to jednostani ne ili nitaste vrste koje žive u slatkim vodama. U industriji se vrste rodova *Tribonema*, *Olisthodiscus* i *Nannochloropsis* ve inom uzgajaju zbog akvakulture i proizvodnje raznih dodataka prehrani (Borowitzka, 1998). *Chrysophyta* predstavlja oko 1000 vrsta raspodijeljenih u 120 rodova. Njihovi predstavnici su jednostani ne planktonske vrste koje imaju bi eve a stani na stijenka im osim celuloze može ugra ivati i silikatne strukture.

Silikatne strukture umjesto celuloznih stijenki imaju i alge kremenjašice, odnosno jednostani ne alge odjela *Bacillariophyta*. Alge kremenjašice ili dijatomeje imaju široku upotrebu u akvakulturi i uzgajaju se radi izoliranja njihovih rezervnih tvari – polisaharidnog krizolaminarina i ulja. Vrsta *Phaeodactylum tricorutum* se esto uzgaja jer njen udio suhe mase sadrži do 60% krizolaminarina i ulja. Ostale biotehnoški važne dijatomeje u industriji su pripadnici rodova *Skeletonema*, *Chaetoceros*, *Phaeodactylum*, *Nitzschia* i *Thalassiosira*. Od ostalih pripadnika mikrofitskih algi, uzgajaju se alge odjela *Crypthophyta* i *Dinophyta*. Sa svojih oko 4000 vrsta u 550 rodova, *Dinoflagellata* su jako malo istražena skupina a oko 50% vrsta nisu fotosintetske. Neke vrste kao sekundarne metabolite proizvode toksine pa bi uzgoj istih u akvakulturi bio poguban.



**Slika 2.** Spektar prosje nih veli ina odre enih algi korištenih u bioindustriji na logaritamskoj skali:

*Ostreococcus tauri* (Chlorophyta), *Cyanidioschyzon merolae* (Rhodophyta), *Thalassiosira pseudonana* (Bacillariophyta), *Chlamydomonas reinhardtii* (Chlorophyta), *Phaeodactylum tricorutum* (Bacillariophyta), *Asterionella formosa* (Bacillariophyta), *Triceratium favus* (Bacillariophyta), *Volvox carterii* (Chlorophyta), *Neomeris annulata* (Chlorophyta), *Ulva lactuca* (Chlorophyta), *Fucus vesiculosus* (Phaeophyta), *Laminaria saccharina* (Phaeophyta), *Macrocystis pyrifera* (Phaeophyta)

(Preuzeto i prilago eno na temelju Hallmann, 2007)

## 4. POVIJEST ISKORIŠTAVANJA ALGI

---

Korištenje algi zapo elo je daleko prije razvoja moderne biotehnologije. Prvenstveno kao izvor hrane, ljudi su uzgajali i koristili makrofitske alge i makroagregate cijanobakterija zbog lakog na ina uzgoja i velike prehrambene vrijednosti. Prvi zapisi o korištenju potje u iz Kine prije 2000 godina (Spolaore *et al.*, 2006). Rodovi cijanobakterija *Nostoc*, *Spirulina* i *Aphanizomenon* stolje ima su se koristili kao izvor hrane u Aziji, Africi i Meksiku (Olaizola, 2003) a prema slikovnim zapisima se da naslutiti da su se i Asteci, domoroda ki narod ameri kog kontinenta, koristili algama u prehrani.

Prvi podaci o korištenju makrofitskih algi datiraju iz 530. godine i pišu o crvenoj algi roda *Porphyra* koja se koristila za izradu “nori” pripravaka. Uzgoj ove alge dokumentiran je tek od 1640. godine a uzgoj algi roda *Chondrus*, *Gelidium* i *Gracilaria* za proizvodnju agara i sli nih produkata zapo eo je 1658. godine u Japanu (Pulz *et al.*, 2004). U 18. stolje u zapo inje se sa ekstrakcijom joda i natrija iz sme ih algi rodova *Laminaria*, *Macrocystis* i *Fucus* a u 19. stolje u se te alge uzgajaju i prera uju kao gnojivo. Najpoznatiji i najefektniji produkt algi iskoristio je Alfred Nobel 1860-ih godina kada je dijatomejskom zemljom stabilizirao nitroglicerin u dinamičnoj palici. Dijatomejska zemlja sastavljena je od fosilnih ostataka silikatnih ljušturica algi kremenjašica.

Ve u važnost uzgoja mikrofitske alge su dobile 1940-ih godina nakon ve eg razvoja akvakulture. Nakon 1948. godine proizvodnja algi za industrijsku upotrebu se naglo pove ala i alge se sve više uzgajaju za ekstrakciju proteina i masti (Burlew, 1953). U to vrijeme zapo inju razmišljanja o korištenju mikrofitskih algi za tretiranje one iš enih voda i za proizvodnju antibiotika (Borowitzka, 1998). 1960-ih zapo inje komercijalna proizvodnja hrane iz alge roda *Chlorella* u Japanu i Taiwanu (Kawaguchi, 1980) a u SAD-u se razvija interes za uzgoj algi u dugoro nim svemirskim misijama. Energetska kriza 1970-ih potaknula je na razmišljanje o korištenju biomase mikrofitskih algi za proizvodnju goriva i gnojiva. U isto vrijeme otvoreno je prvo postrojenje za visoku produkciju i uzgoj cijanobakterija roda *Spirulina* u Meksiku (Borowitzka, 1998).

Ve a produkcija i razvoj industrije uzgoja i obrade algi zapo ela je u 80-im godinama prošlog stolje a kada u ve i biotehnoški uzgoj algi kre u razvijene zemlje Azije te SAD. Tada su se ve inom u masovnoj produkciji koristile mikrofitske alge roda *Chlorella* i cijanobakterije, a pokre e se industrija izolacije drugih derivata iz algi, kao na primjer pigmenata i rezervnih tvari. Korist od raznih svojti algi i njihovih derivata uvi ajaju u farmaciji, nuricionizmu, agrikulturi te u proizvodnji hrane (Olaizola, 2000; Spolaore *et al.*, 2006). Tokom zadnja dva desetlje a biotehnoško korištenje algi izraslo je u globalno najvažniju industrijsku granu. Sve više se shva a dobit uzgoja algi u industrijstrijji i koliko je zapravo takav oblik proizvodnje povoljan i ekološki prihvatljiv i koristan.

## 5. BIOINDUSTRIJSKA PROIZVODNJA I UPOTREBA

---

Ključna stvar za evaluaciju fotosintetske učinkovitosti je sagledavanje na maksimalnu učinkovitost solarne energije koja bi teoretski mogla biti provedena i iskorištena u kontroliranom ekosustavu (Zhu et al, 2008). Godišnje se 10 milijuna tona algi prerađuje u raznim biotehnološkim postrojenjima iz kojih se zatim iskorištavaju različiti derivati ovisno o kojoj grani industrije je riječ. Alge se najviše iskorištavaju u proizvodnji biogoriva koje bi predstavljalo obnovljiv izvor energije, u agronomiji i proizvodnji hrane te u farmaceutskoj i kozmetičkoj industriji. Danas se komercijalna algološka bioproizvodnja bazira veštom na ne-transgenetičkoj industriji ukoliko se radi o proizvodnji hrane za ljude i životinje, dodatke prehrani, kozmetici i iskorištavanju pigmenta. Zbog akvakulture i uzgoja algi u kontroliranim vodenim sustavima, biotehnologija algi se naziva i plava biotehnologija (Hallmann, 2007).

### 5.1. PROIZVODNJA BIOGORIVA

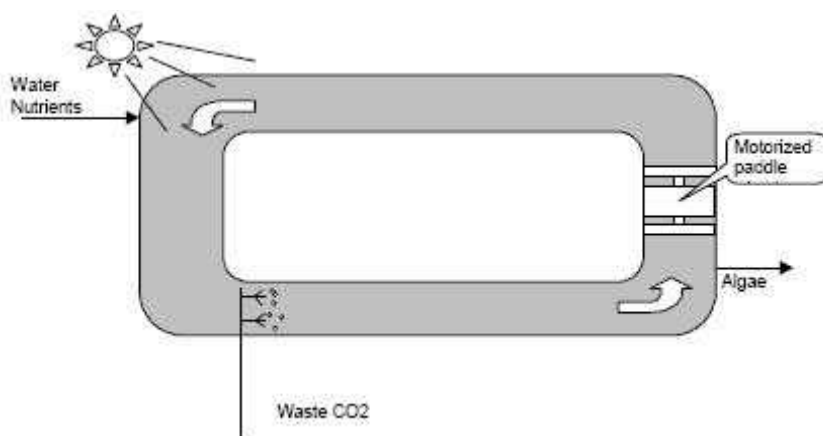
---

Proizvodnja biogoriva od algi polako potiskuje proizvodnju biogoriva od kultiviranih biljaka. Mogućnost korištenja fotosinteze za proizvodnju biogoriva koje bi lako zamijenilo korištenje fosilnih goriva postalo je komercijalno konkurentno na svjetskom tržištu. Godinama se alge proizvode zbog mogućnosti proizvodnje etanola, metana, butana, vodika, diesela i hidrogena. Produkcija bioplina, odnosno metana i butana, bazira se na anaerobnoj razgradnji biomase. Energija se također dobiva spaljivanjem biomase algi, a producirana toplina se može koristiti u proizvodnji električne energije. Velik potencijal dobivanja toplinske i električne energije iz biomase algi leži u količini apsorbirane energije tokom fotosinteze. Ukoliko jedan foton crvene svjetlosti s valnom duljinom od 680 nm ima oko 42 kcal ili 176 kJ energije, spaljivanjem jednog grama molekule  $C_6H_{12}O_6$  u kalorimetru se otkrije oko 672 kcal u obliku topline (Walker, 2009).

Zbog svojstva akumuliranja velike količine triglicerida u stresnim uvjetima, mnoga istraživanja se baziraju na mogućnosti iskorištavanja algi u proizvodnji biogoriva. Stresni uvjeti uključuju izlaganje manjku ključnih nutrijenata u mediju u kojem se alge kultiviraju. Za zelene alge to su nitrati dok su za diatomeje to silikati. Kultiviranje algi odvija se u posebnim fotobioreaktorima. Bioreaktori mogu biti u obliku otvorenih (vanjskih) ili zatvorenih postrojenja ([www.oilgae.com](http://www.oilgae.com)). Najviše se koriste bioreaktori u obliku tubularnih ili plošastih reaktora u vertikalnom ili horizontalnom položaju. Fotobioreaktori sadrže medij za rast u kojem alge imaju pristup svjetlosti i zraku, odnosno ugljikovog dioksida te dovoljne količine osnovnih nutrijenata. Nakon što se alge dovoljno razmnože, sabiranje može biti kompletno ili kontinuirano kroz određene vremenske periode. Kontinuirano sabiranje od 20 do 50% omogućava da se ista kolonija algi jednoliko obnavlja. U fotobioreaktorima se moraju osigurati određeni uvjeti koji ne mogu inhibirati rast stanica nego ga poticati. Razina svjetlosti ne smije biti previsoka te se mora paziti na temperaturu okoliša kako ne bi dolazilo do fotooksidacije. Inhibirati rast stanica može i prevelika populacija stoga je kontinuirano branje korisno. Previsoka koncentracija produciranog

kisika može tako er inhibirati normalno funkcioniranje fotosinteze i produkcije biomolekula, stoga je potrebna kontinuirana odvodnja kisika iz medija (Wagner, 2007).

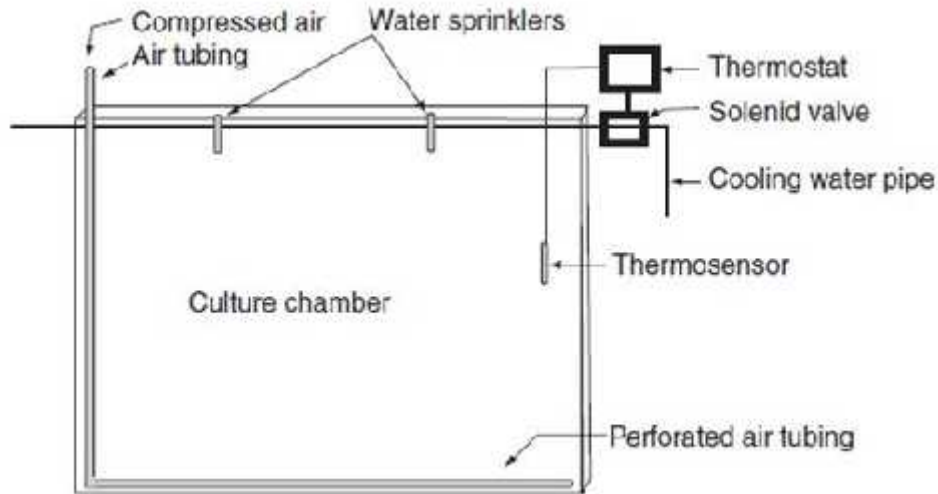
Model vanjskog otvorenog fotobioreaktora lako je instalirati na bilo kakve površine i ne zauzimaju se mjesta pogodna za uzgoj kultiviranih biljaka za prehranu kao što je to slu aj kod uzgoja biljaka za proizvodnju biogoriva. Vanjski reaktori su ve inom okrugli bazeni sa sustavom turbina koje osiguravaju cirkulaciju medija to jest vode (Slika 3.) (www.oilgae.com). Problem kod otvorenih fotobioreaktora su vanjski utjecaji. Kiša i isparavanje mogu utjecati na *ph* medija koji je klju an za normalan rast specifi ne vrste. Tako er, predatori ili kompeticijske vrste mogu naseliti medij i tako utjecati na o ekivane rezultate rasta i uzgoja (Wagner, 2007). Prednosti uzgajanja algi u vanjskim postrojanjima su jednostavnost u izvedbi te velika produkcija u odnosu na malo uloženih financija.



**Slika 3.** Model otvorenog sustava fotobioreaktora

(<http://www.oilgae.com/algae/cult/op/op.html>)

Kultiviranje algi u sustavu zatvorenog fotobioreaktora je alternativna opcija uzgoja algi u kontroliranim uvjetima. Iako je potreban ve i financijski izvadak za takav oblik fotobioreaktora, osigurana je ve a kontrola i funkcionalnost u uzgoju i iskorištavanju mikrofitskih algi. Zatvoreni fotobioreaktori osiguravaju ve u kontrolu uzgoja pojedinih vrsta te se tako lako mogu uzgajati iste kolonije mikrofitskih algi od interesa. Ve a produktivnost osigurava se dodatnim dovo enjem ugljikovog dioksida u medij. Položaj i oblik fotobioreaktora je tako er bitan te su tako naj eš e korišteni zatvoreni reaktori u obliku tubularnih ili plo astih reaktora (Slika 4.). Polazu se u najpovoljniji položaj kako bi alge mogle maksimalno iskorištavati dostupnu svjetlost bilo to u vertikalnom ili horizontalnom položaju (www.oilgae.com). O uzgoju specifi ne vrste algi u fotobioreaktoriu ovisi kolika je njena iskorištenost. Visoka koli ina triglicerida, brza reprodukcija, lako sabiranje i obrada neki su od kriterija koji se gledaju pri odabiru vrste za kona nu proizvodnju biogoriva. Dodane kvalitete koje su pogodne za uzgoj su toleriranje fluktuacija u toplini i svjetlosti, visoke koli ine kisika i brza adaptacija na kemiju vode (Wagner, 2007).



**Slika 4.** Model zatvorenog sustava fotobioreaktora

(<http://www.oilgae.com/algae/cult/pbr/typ/flp/flp.html>)

Koncentrirana emulzija stanica bogatih trigliceridima se nakon sabiranja iz fotobioreaktora centrifugira. Stanice se tretiraju kemijski i mehanički kako bi se postigla liza i u inkovito odvajanje ulja od preostale biomase (Benemann, 2009). Mehaničko i kemijsko tretiranje u inkovito je ako se odvija istovremeno a ono obuhvaća zagrijavanje, tlačenje, ultrazvuk i enzimatsko djelovanje. Nakon lize stanice željeni se trigliceridi sakupe na vrh kolone dok se preostala biomasa mrtvih stanica nakon centrifugiranja istaloži. Odvajanje triglicerida ne predstavlja problem i danjom preradom i obradom dobije se ulje, odnosno biodiesel koji je u inkovito kao biogorivo. Ulje izolirano iz algi sadrži veliku količinu nezasićenih masnih kiselina, pogotovo arahidonske, linoleinske i  $\alpha$ -linoleinske kiseline. Kao gorivo u inkovito je i bioetanol te bioplina. Preostala biomasa stanica koristi se u proizvodnji hrane za ljude i stoku, kao biofertilizator ili za proizvodnju lijekova i kozmetike (Pulz *et al.*, 2004).

Proizvodnja biogoriva od algi i biljaka su konkurentne i odvojene grane industrije. Sama činjenica kako se za uzgoj algi ne troše raspoloživa mjesta za sadnju biljaka za prehranu, ovaj ista činjenica uzgoja ujedno i smanjuje visoku količinu ugljikovog dioksida u zraku i tako sprječava njegov štetan utjecaj na klimu. Osim proizvodnje kisika, smanjivanja koncentracije ugljikovog dioksida i proizvodnje biogoriva i hrane u konačnici, biogorivo koje nastane ulazi u ciklus obnovljive energije. Ispušten ugljikov dioksid koji nastane izgaranjem biogoriva ponovno koriste alge koje se u fotobioreaktorima uzgajaju za proizvodnju istog biogoriva. "Plantaže" fotobioreaktora s algama za industrijsku proizvodnju se mogu postaviti na bilo koju površinu pri čemu se ne zauzimaju površine za uzgoj biljaka za hranu kao što je to slučaj kod uzgoja uljarica za proizvodnju biogoriva. Zbog toga se intenzivnije vode istraživanja o konstruiranju velike količine postrojenja za uzgoj algi s ciljem proizvodnje biogoriva i hrane u pustinjama na mjestima s velikom površinom, mnogo svjetlosti i optimalnom temperaturom.

## 5.2. PREHRANBENA INDUSTRIJA

Izuzetno visoka hranjivost svrstava alge u najsavršeniji oblik hrane. Zbog svog niskog položaja u hranidbenom lancu koncentracija herbicida, pesticida i radioaktivnih tvari je mala. Alge su posebno bogate bjelanjcima, vlaknima, mineralima, vitaminima, tiaminom, riboflavinom, niacinom, beta-karotenom te sadrže mali postotak masnoća. Od vitamina sadrže mnogo vitamina A, C, E, K i sve vitamine B-kompleksa. Zbog visokog udjela aminokiselina i vitamina B12 pogodne su kao prehrana osobama koje ne konzumiraju meso i mliječne proizvode. Smeđe alge bogate su izvorom joda koji je potreban za normalnu funkciju štitne žlijezde te sadrže veliku količinu alginske kiseline koja vrši detoksikaciju tijela od teških metala i radioaktivnih elemenata. Od mikroelemenata sadrže mnogo kalcija, magnezija, željeza, kalija, cinka i selen (www.eli21.com). Alge se često koriste u vegetarijanskoj i veganskoj prehrani zbog činjenice kako alge vrlo lako mogu zamijeniti hranjive vrijednosti koje se nalaze u mesu i mesnim proizvodima. Zbog izrazito velikih koncentracija svih esencijalnih vitamina i minerala, udio proteina po biomasi je također dovoljan da zadovolji dnevne potrebe (Tablica 3.).

**Tablica 3.** Udio hranjivih nutrijenata u algama, soji i mesu

(Prilagođeno na temelju Lee *et al.*, 2011)

	<b>Proteini</b>	<b>Masnoća</b>	<b>Minerali</b>
<b>Makroalge</b>	10 - 40%	1 - 5%	15 - 35%
<b>Mikroalge</b>	55 - 65%	3%	7%
<b>Soja</b>	30 - 40%	15 - 20%	4 - 5%
<b>Meso</b>	50%	10 - 25%	1%

Morske makrofitske alge sadrže mnogo proteina, ugljikohidrata i malo masnoća i balastnih tvari. Bogate su izvorom vitamina, minerala i oligoelemenata. Poznato je da su smeđe alge posebno bogate izvorom joda i kalcija i također sadrže mnogo vitamina A, C, E te vitamine B-kompleksa, uključujući i B12, niacin i folnu kiselinu. Zbog filtriranja vode alge mogu sadržavati male količine štetnih tvari. Zato je važno poznavati područje iz kojeg alge potječu, to jest da li je kontrolirana njihova kvaliteta i kvaliteta vode u kojoj rastu. Stručnjaci zbog sve veće onečišćenja mora i velikih koncentracija soli u morskim algama preporučuju konzumiranje slatkovodnih mikrofitskih algi kao što su vrste *Spirulina* sp., *Chlorella* sp., *Dunaliella* sp., *Nostoc* sp. i *Aphanizomenon* sp.. Bez obzira na preporuke, tržištem dominiraju proizvodi mikrofitskih algi *Spirulina* sp. i *Chlorella* sp. u obliku tableta, kapsula i tekućih pripravaka (Tablica 4.) (Pulz *et al.*, 2004).

**Tablica 4.** Svjetska produkcija algi za proizvodnju hrane(Preuzeto i prilagođeno na temelju Pulz *et al.*, 2004)

Vrsta	Produkcija (t/god)
<b>Spirulina sp.</b>	3000
<b>Chlorella sp.</b>	2000
<b>Dunaliella sp.</b>	1200
<b>Nostoc sp.</b>	600
<b>Aphanizomenon sp.</b>	500

Makrofitske alge se ve inom konzumiraju kao hrana u Aziji i Europi. Azija dominira u globalnoj uzgoju i proizvodnji hrane od makrofitskih algi. Agarofitne crvene alge iskorištavaju se tako u širokom geografskom području. Crvene alge velik su izvor agara koji je sastav stani nih stijenki crvenih algi rodova *Gelidium*, *Gracilaria*, *Pterocladia*, *Gelidiella* i *Ahnfeltia* (McHugh, 2003). Ovaj visoko polimerni polisaharid u vegetarijanskoj prehrani dobro do e kao zamjena za gelove životinjskog porijekla a posebnom preradom koristi se i kao laksativ. Njegova velika sposobnost da veže vodu koristi se u proizvodnji želea, veziva za sladolede i slastice, bonbone i sli no. Makrofitske morske sme e alge predstavljaju velik udio u prehrani ve ine azijskih država i nekih europskih. Vrste rodova *Ascophyllum*, *Durvillaea*, *Ecklonia*, *Laminaria*, *Lessonia*, *Macrocystis* i *Sargassum* velik su izvor hranjivih tvari (Hallmann, 2007).

Poznate i kao “morsko povr e”, makrofitske alge esto služe kao samostalni prilozi (salate) u prehrani. Tradicionalne kuhinje Japana, Koreje, Kine, Irske te nekih ameri kih država spravlja ju poznate specijalitete od makrofitskih morskih algi. Crvene alge roda *Porphyra* služe za pripremu “nori” sushi jela a za sli an pripremu - “nori-jam” – koriste se zelene alge rodova *Enteromorpha* i *Monostroma*. “Dulse” je naziv za sušenu crvenu algu vrste *Palmaria palmata* a “kombu” za sušene sme e alge roda *Laminaria*. Za prehranu se posebno uzgajaju vrste *L. longissima*, *L. angustata*, *L. coriacea* i *L. ochotensis* dok vrsta *L. japonica* ima posebno zna aj u japanskoj kuhinji pa tako i posebno ime – “haidai”. Sli an prehrambeni proizvod cijene u Koreji ali ga proizvode od sme e alge vrste *Undaria pinnatifida* i te sušene alge nazivaju “wakame”. Sme e alge su široko zastupljene u kulinarstvu te su tako još poznati pripravci “hiziki” od alge vrste *Hizikia fusiforme* i “mozuku” od vrste *Cladosiphon okamuranus*. “Morsko vo e” i “zeleni kavijar” dobili su naziv prehrambeni pripravci od zelenih algi roda *Caulerpa* i to posebno vrste *C. lentillifera* i *C. racemosa*. Na Hawaiiima i u Aziji se crvene alge roda *Gracilaria* na tržištima prodaju kao “morska mahovina” a pripravak od njih se naziva “ogo” ili “ogonori” (McHugh, 2003).



### 5.3. AGRONOMIJA

---

Organska gnojidba jedna je od najuinkovitijih upotreba mikro i makrofitskih algi u agronomiji te se stručnjaci i gospodarstvenici slažu kako je gnojidba zemlje algama, za razliku od životinjskog gnojiva, puno efikasnija. Godinama su se makrofitske alge koristile kao gnojivo za obradive površine, i to pogotovo u priobalnim područjima. Danas je upotrebu cijele biomase algi zamijenila upotreba ekstrakata i suspenzija makrofitskih algi. Morske alge kao što su *Phymatolithon* spp., *Ecklonia* spp. i *Ascophyllum nodosum* se uzgajaju za proizvodnju gnojiva, posebice za hortikulturnu industriju (McHugh 2003). Derivati algi poboljšavaju sposobnost zemlje da poveća kapacitet vezanja vode i povećavaju kvalitetu mineralnog sastava zemlje (Critchley *et al.*, 1998). Velika važnost korištenja derivata algi u poboljšanju kvalitete zemlje uoči se kod obogaćivanja neke zemlje gnojidbom po prvi puta.

U prošlosti je važnost mikrofitskih algi u obogaćivanju zemlje bila zanemarena. Upotreba mikrofitskih algi kao gnojiva započela je otkrićem korisnih derivata koje te alge sintetiziraju a pogodno djeluju na kvalitetu zemlje. Polisaharidni polimeri i proteini kao i mogućnost fiksacije atmosferskog dušika uivni su kao dobri potencijali koji su važni za prirodnu gnojidbu zemlje na kojoj se uzgajaju kultivirane biljke za proizvodnju hrane (Metting, 1996; Ördög *et al.*, 1996). Mikrofitske alge kao što su *Anabena* sp. i *Nostoc* sp. uzgajaju se u poljima riže u tropskim i subtropskim krajevima zbog njihove sposobnosti vezanja atmosferskog dušika i asimiliranja dušika do nitrata i amonijevih spojeva koje biljke mogu dalje koristiti. Posebne stanice u kolonijama – heterocite – fiziološki se razlikuju od ostalih stanica u koloniji zbog prisustva enzima nitrogenaze i manjka fotosustava II u fotosintetskom aparatu.

Tokom prošlog desetljeća, korištenje mikro i makrofitskih algi te njihovih derivata postalo je nezaobilazno u agronomiji. Zbog prisustva nitrata i fosfata u visokim koncentracijama, alge služe kao izvor nutrijentat koji su esencijalni za rast biljke i njima esto ograničavajući elementi. Derivati algi koriste se za poticanje cvjetanja, poboljšavaju rast listova i korijena te pospiješuju bolji uroda, to jest sazrijevanje plodova. Kao visok izvor nutrijenta i svih potrebnih minerala alge su potencijalan izvor hormona koji štite biljke u stresnim uvjetima kao što su hladnoća ili nedostatak vode. Derivati algi potiču u biljke na produkciju antioksidansa koji ih štiti od štetnih radikala ([www.ehow.com](http://www.ehow.com)). Ne samo da imaju korist u gnojidbi zemlje i pozitivno utječu na rast kultiviranog bilja, alge se danas sve više istražuju kao prirodni insekticidi, fungicidi i baktericidi koji će braniti kultivirane biljke od vanjskih patogenih utjecaja.

## 5.4. FARMACEUTSKA INDUSTRIJA

---

Trenutno iskorištavanje derivata algi u farmaceutskoj industriji svodi se na eksploataciju masnih kiselina, pigmenata, vitamina i ostalih bioaktivnih komponenti. Brojne cijanobakterije i alge produciraju velike količine tih supstanci s antioksidativnim efektima, nezasićene polimasne kiseline, proteine, imunološki efektne ili virostatičke komponente (Cohen, 1999), dok produkti sekundarnog metabolizma kod cijanobakterija imaju razne terapijske uinke, kao na primjer antiviralne komponente, imunomodulatori, inhibitori ili citostatici (Sivonen *et al.*, 1999; Skulberg, 2000). Osobita važnost za farmaceutsku industriju je iskorištavanje velikih količina nezasićenih polimasnih kiselina vrste *Cryptocodinium cohnii*, linoleične kiseline iz vrste *Spirulina* sp., arahnoidne kiseline iz vrste *Porphyridium* sp., dok su se rodovi algi *Nannochloropsis*, *Phaeodactylum* i *Nitzschia* demonstrirali kao veliki farmaceutski potencijali (Spolaore *et al.* 2006).

Polisaharadi kao derivati makrofitskih algi imaju veliku ulogu u farmaceutskoj industriji. Rodovi alga, ve u inome *Gelidium*, *Gracilaria*, *Gelidiella* i *Ahnfeltia* služe kao izvor agar koji se koristi u kreiranju hranjivih medija u mikrobiologiji, molekularnoj biologiji i medicinskim laboratorijima za uzgoj različitih kultura stanica. Alginat, sol alginske kiseline i njeni derivati, ekstrahirani iz smeđih makrofitskih algi kao što su *Laminaria* spp., *Macrocystis pyrifera*, *Ecklonia* spp., *Lessonia* spp., *Durvillaea* spp. i *Ascophyllum nodosum*, zbog svojih svojstava koriste se kao emulgatori, stabilizatori i agensi za gelove. Kalcijev alginat se koristi za saniranje opekline ili drugih površinskih ozljeda. Zbog svoje biokompatibilnosti i svojstva gela, alginat je koristan za imobilizaciju i enkapsulaciju. Široko se upotrebljava u stomatologiji za izradu kalupa prilikom izrade raznih proteza i pomagala. Polisaharidi izolirani iz algi roda *Chlorella* prerađuju se u dijetnim pripravcima (Walker *et al.* 2005) a oni iz alge *Porphyridium cruentum* u razne lijekove i dodatke prehrani. Ekstrakti iz cijanobakterije vrste *Lyngbya majuscula* koriste se kao imunomodulatori u farmaceutskoj industriji (Pulz *et al.* 2004).

Mikrofitske alge, kao filogenetski stara fotosintetska skupina, razvile su mnogo antioksidativnih spojeva koji bi ih štitili od raznih oksidacijskih stresova koji su potencijalno letalni za tako male organizme. Kako su te antioksidativne komponente prirodnog porijekla, njihova aplikacija u farmaceutskoj industriji je neizbježna. Ova je njihova primjena u kremama za sunčanje, protiv štetnih utjecaja ultraljubičastog zračenja, ili u kremama protiv upala. Pigmenti algi i cijanobakterija imaju široku upotrebu. Osim u prehrambenoj i kozmetičkoj industriji, farmaceuti koriste njih i njihove prekursore kao lijekove, vitamine, dodatke prehrani i slično. Uz klorofile kao glavne pigmente u stanicama algi i cijanobakterija, karotenoidi služe kao zaštita stanica od prejakog zračenja.  $\beta$ -karoten iz vrste *Dunaliella* sp. koristi se kao dodatak prehrani i prekursor vitamina A te kao jak antioksidans dok se lutein, zeaksantin i kantaksantin koriste u proizvodnji lijekova. U proizvodnji dodatka prehrani i u proizvodnji lijekova koriste se fikocijanin i fikoeritrin, pigmenti karakteristični samo za alge te je zato njihova prerada specifična i bitna za farmaceutsku industriju.

## 5.5. KOZMETI KA INDUSTRIJA

---

Komponente algi se esto koriste u proizvodnji kozmetike u obliku proizvoda za zgusnjavanje, vezivanje vode i kao antioksidansi. “Ekstrakti morskih trava” esto se prodaju kao kreme za ruke, lice i losioni za tijelo. Proizvođa i kozmetike tvrde kako alge imaju blagotvorno djelovanje na kožu i općenito na zdravlje te tako u prodaju puštaju proizvode koji sadrže polisaharide, proteine i lipide algi i također sadrže puno vitamina A, B - kompleksa, C, E i minerala kao što su željezo, fosfor, natrij, bakar, magnezij i kalcij. Neki proizvođa i tvrde kako kozmetika bazirana na derivatima algi odgađaju starenje inhibiraju i oksidacijske degeneracije kolagena i hijaluronske kiseline u koži, utječu na smanjivanje količine slobodnih radikala i povećavaju fleksibilnost površinskog sloja kože. Alge su savršene za zaštitu osjetljive kože pošto su i same razvile savršene mehanizme za zaštitu svoje osjetljive stanice (Hallmann, 2007). Osim metaboličkih produkata, pigmenti algi, koji ih štite od štetnog ultraljubičastog zračenja, mogu imati isti učinak u zaštiti stanica kože. Ova oba načina proizvodnje treba uzeti s oprezom ukoliko nisu potvrđena od strane znanstvenika.

Alginat, agar i ostali oblici polisaharida koji se izoliraju iz staničnih stijenki smeđih i crvenih algi imaju široku primjenu u proizvodnji kozmetike. Vezivna tvar u pastama za zube, gelovima za kosu, kremama, uljima, maskama, losionima, lubrikantima, šamponima i regeneriranim potječe iz derivata makrofitskih algi ([www.alibaba.com](http://www.alibaba.com)). U fizioterapiji se ekstrakti alga predstavljaju u obliku dodataka za kupke ili kao glavni sastojci terapijskih krema. Voda bogata mineralima algi služi se u hidroterapiji i raznim masažama isto kao i “blatke kupke” s ekstraktima algi. Razne smjese algi se dobivaju maceriranjem talusa makrofitskih algi koje se zatim nanose na tijelo i prekrivaju celofanskim trakama. Kao u inak navodi se rješavanje celulita i zatezanje kože (McHugh, 2003).

Tipične vrste koje se koriste u proizvodnji kozmetike su *Chondrus crispus*, *Mastocarpus stellatus*, *Laminaria* spp., *Porphyra* spp., *Ulva lactuca*, *Ascophyllum nodosum*, *Alaria esculenta*, *Spirulina platensis*, *Nannochloropsis oculata*, *Chlorella vulgaris* i *Dunaliella salina* (Einarsson et al. 2010).

## 6. BIOREMEDIJACIJA

---

Bioremedijacija je proces u kojem se živi organizmi koriste kao posrednici u iš enju zaga enog okoliša. Bioremedijacijom se pokušavaju degradirati štetne tvari do manje toksi nih tvari, uglavnom do ugljikovog dioksida i vode. Bioremedijacija je puno u inkovitiya nego ionska izmjena ili reverzna osmoza a prednosti korištenja živih organizama u bioremedijaciji su mali trošak i visoka u inkovitost. Gljive, alge i bakterije najpogodnije su za tretiranje zaga enih mjesta zbog svoje sposobnosti metaboli ke obrade štetnih tvari iz okoliša ([www.sciencera.com](http://www.sciencera.com)).

Alge se mogu koristiti u kontroli otpadnih voda i smanjivanju koncentracije nitrata i fosfata ili teških metala u kanalizaciji i ostalim otpadnim vodama. Upotrebljavaju se pri iš enju zaga enih voda i uklanjanju toksi nih tvari iz industrijskih voda. Povišenje odre enih minerala ili metala u okolišu može biti toksi no za ve inu organizama. Vrste koje se koriste u bioremedijaciji moraju biti tolerantne na velike promjene u kemiji medija u kojem žive. Od makrofitskih algi, za uklanjanje nitrata i fosfata iz vode najkorisnije su zelene alge rodova *Ulva* i *Monostroma*. Za uklanjanje teških metala iz vode najpogodnije su alge rodova *Laminaria*, *Sargassum*, *Macrocystis*, *Ecklonia*, *Ulva*, *Lessonia* i *Durvillaea* (McHugh 2003).

Koncentriranje teških metala u stanicama algi esto ide protiv njihovog koncentracijskog gradijenta ali alge ipak uspijevaju održavati višu koncentraciju metala u stanici nego što je ona u okolnom mediju. Stanice mikrofitskih algi su jedino ograni ene svojom malom dimenzijom (Huq *et al.*, 2007). U prirodi, alge imaju veliku ulogu u kontroliranju koncentracije metala u slatkim vodama i morima (Sigg, 1985). Sposobnost algi da apsorbiraju metale iz vode poznata je ve dosta godina a opažena hiperakumulacija metala istakla je alge kao savršen alat za bioremedijaciju. Teški metali koji su potencijalno opasni za okoliš mogu se podijeliti u dvije skupine. Prvu skupinu ine esencijalni metali ije pove anje koncentracije u okolišu može imati suprotan u ink od onog predodre enog za funkciju u organizmu, odnosno može imati toksi an u inak. Primjer esencijalnih metala su cink, bakar, željezo, kobalt, mangan i drugi. Drugu skupinu ine teški metali koji nisu esencijalni za žive organizme pa su stoga uvijek toksi ni. U tu skupinu spadaju živa, olovo, kadmij, krom i drugi ([www.sciencera.com](http://www.sciencera.com)).

Glavna karakteristika algi za potrebe korištenja u bioremedijaciji je njihova otpornost na akutnu i kroni nu toksi nost izazvanu pove anjem koncentracije teških metala u mediju. Istraživanja su pokazala kako su za apsorpciju iona metala sposobne žive stanice algi ali i njihova mrtva biomasa. Tako er alge mogu biti bioindikator povišenja koncentracije metala u nekom mediju. Kako su algama metali esencijalni za život, pove anjem njihove koncentracije može do i do cvjetanja algi.

## 7. TRANSGENETIKA

Geneti ki modificiranim (transgeneti nim) algama je geneti ki materijal promijenjen upotrebom tehnika geneti kog inženjerstva. Istraživanje genoma algi potrebno je za uspješnu aplikaciju algi u biotehnologiji. Cilj uzgoja algi, bile one transgeni ne ili ne, je unaprijediti karakteristike odre ene vrste algi koja se uzgaja u potrebe industrije kako bi se dobili što bolji rezultati. Iako su dobiveni produkti od algi uglavnom isti, na in na koji su te alge dobivene je razli it. Algama je potreban mali broj posebnih uvjeta, uglavnom samo voda, izvor svjetlosti te osnovni nutrijenti u mediju kako bi se razmnožavale i normalno živjele. Izbor algi koje bi se potencijalno geneti ki mogle modificirati pada na one koje takve uvjete zadovoljavaju (Hallmann 2007).

Sekvenciranje mitohondrijskog ili plastidnog genoma dovršeno je na velikom broju vrsta a dobiveni podaci koriste se u saznanju koje vrste su pogodne za korištenje u geneti kom inženjerstvu. U proteklih par godina uspješno je geneti ki transformirano oko 25 vrsta algi (Tablica 5.), od kojih je najviše zelenih algi koje i ina e dominiraju u biotehnološkoj upotrebi. Upotreba selektivnih genskih markera je normalna u svim eksperimentima kojima je cilj stvoriti stabilnu transgeni nu algu, s obzirom da je mali postotak tretiranih organizama uspješno transformiran. Tokom produkcije transgeni ne alge, znanstvenici se esto bore sa problemom ispoljavanja krivog svojstva, odnosno gena nije željeno konstruiran (Hallmann, 2007).

**Tablica 5.** Popis transgeni nih vrsta algi

(Preuzeto i prilago eno na temelju Hallman, 2007)

<b>ZELENE ALGE</b>	<b>CRVENE ALGE</b>	<b>DIJATOMEJE</b>
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	<i>Cyanidioschyzon merolae</i>	<i>Phaeodactylum tricorutum</i>
<i>Volvox carteri</i>	<i>Porphyra yezoensis</i>	<i>Navicula saprophila</i>
<i>Dunaliella salina</i>	<i>Porphyra miniata</i>	<i>Cylindrotheca fusiformis</i>
<i>Dunaliella viridis</i>	<i>Kappaphycus alvarezii</i>	<i>Cyclotella cryptica</i>
<i>Haematococcus pluvialis</i>	<i>Gracilaria changii</i>	<i>Thalassiosira weissflogii</i>
<i>Chlorella sorokiniana</i>	<i>Porphyridium sp.</i>	
<i>Chlorella kessleri</i>		<b>CIJANOBAKTERIJE</b>
<i>Chlorella ellipsoidea</i>	<b>SME E ALGE</b>	<i>Spirulina platensis</i>
<i>Chlorella vulgaris</i>	<i>Laminaria japonica</i>	<i>Anabaena sp.</i>
<i>Ulva lactuca</i>	<i>Undaria pinnatifida</i>	<i>Synechocystis sp.</i>

## 8. LITERATURA

---

- Benemann J.R., 2009. Microalgal biofuels: A brief introduction. Benemann Associates and MicroBio Engineering.
- Borowitzka M.A., 1998. Algae as food. Microbiology of fermented foods 2. Blackie Academic & Professional: London. pp. 585-602.
- Burlew J.S., 1953. Algae culture from laboratory to pilot plant. Carnegie Inst. Wash. 600.
- Cohen Z., 1999. Chemicals from microalgae. Taylor & Francis, London.
- Courties C., Perasso R., Chretiennot-Dinet M.J., Gouy M., Guillou L., Troussellier M., 1998. Phylogenetic analysis and genome size of *Ostreococcus tauri* (Chlorophyta, Prasinophyceae). *Journal of Phycology* 34: 844-849.
- Cribb A.B., 1954. *Macrocystis pyrifera* (L.) Ag. in Tasmanian Waters. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research* 5: 1–34.
- Critchley T., Ohno M., 1998. Seaweed resources of the world. JICA, Yokosuka.
- Einarsson S., Brynjolfsdottir A., Krutmann J., 2010. Pharmaceutical and cosmetic use of extracts from algae obtainable from saline hot water sources. Patent Application Publication.
- Eriksen N.T., 2008. Production of phycocyanin — a pigment with applications in biology, biotechnology, foods and medicine. *Appl Microbiol Biotechnol* 80: 1–14.
- Gressel J., 2008. Transgenics are imperative for biofuel crops. *Plant Science* 174: 246–263.
- Hallman A., 2007. Algal Transgenics and Biotechnology. *Transgenic Plant Journal* 1: 81- 98
- Hu Q., Sommerfeld M., Jarvis E., Ghirardi M., Posewitz M., Seibert M., Darzins A., 2008. Microalgal Triacylglycerols as Feedstocks for Biofuel Production: Perspectives and Advances. *The Plant Journal* 54: 621-639.
- Huq S.M.I., Abdullah M.B., Joardar J.C., 2007. Bioremediation of arsenic toxicity by algae in rice culture. *Land Contamination & Reclamation* 15: 327-334.
- Kawaguchi K., 1980. Microalgae production systems in Asia. *Algae Biomass*, Elsevier (North-Holland) Biomedical Press, Amsterdam, pp 25-33.
- Larkum A.D., Kuhl M., 2005. Chlorophyll d: the puzzle resolved. *Trends in Plant Science* 10.
- Lee S.K., Fox H.M., Kies C., Dam R., 1967. The Supplementary Value of Algae Protein in Human Diets. *Journal of Nutrition* 92: 281-285.
- Lorentz R.T., Cysewski G.R., 2000. Commercial potential for Haematococcus microalgae as a source of astaxanthin. *Trends Biotechnol* 18: 160-167.
- McHugh D.J., 2003. A guide to the seaweed industry. *FAO Fisheries Technical Paper* 441: 1-98.
- Metting F.B., 1996. Biodiversity and application of microalgae. *J Ind Microbiol* 17: 477–489.
- Muller-Feuga A., Moal J., Kaas R., 2003. Micro-algae of Aquaculture. Live Feeds in Marine Aquaculture. Blackwell Publishing, Oxford, UK pp. 206–252.
- Olaizola M., 2003. Commercial development of microalgal biotechnology: from the test tube to the marketplace. *J. Biomol. Eng.* 20: 459-466.
- Ördög V., Szigeti J., Pulz O., 1996. Proceedings of the conference on progress in plant sciences from plant breeding to growth regulation. Pannon University, Mosonmagyaróvár.
- Pevalek-Kozlina B., 2003. Fiziologija bilja. Profil International, Zagreb.
- Pulz O., Gross W., 2004. Valuable products from biotechnology of microalgae. *Appl Microbiol Biotechnol* 65: 635–648.
- Radakovits R., Jinkerson R.E., Darzins A., Posewitz M.C., 2010. Genetic Engineering of Algae for Enhanced Biofuel Production. *Eukaryotyc cell* 9: 486 – 501.

- Sigg L., 1985. Metal transfer mechanisms in lakes; role of settling particles. *Chemical Processes in Lakes*, Stumm, W, Wiley Interscience, New York pp. 283–310.
- Sivonen K., Jones G., 1999. Toxic Cyanobacteria in Water: A Guide to Public Health Significance, Monitoring and Management. The World Health Organization. ISBN 0-419-23930-8 London, UK, pp 41-111.
- Skulberg O.M., 2000. Microalgae as a source of bioactive molecules – experience from cyanophyte research. *Journal of Applied Phycology* 12: 341-348.
- Spolaore P., Joannis-Cassan C., Duran E., Isambert A., 2006. Optimization of *Nannochloropsis oculata* growth using the response surface method. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 81: 1049-1056.
- Wagner L., 2007. Biodiesel from Algae oil. Research report: *MORA ASSOCIATIES*.
- Walker D., 2009. Biofuels, facts, fantasy, and feasibility. *J Appl Phycol* 21: 509–517.
- Zhu Y., Chen X.B., Wang K.B., Li Y.X., Bai K.Z., Kuang T.Y., Ji H.B., 2007. A simple method for extracting C-phycoyanin from *Spirulina platensis* using *Klebsiella pneumoniae*. *Appl Microbiol Biotechnol* 74: 244–248.

[www.alibaba.com/showroom/algae-cosmetic.html](http://www.alibaba.com/showroom/algae-cosmetic.html)

[www.aquafuels.eu/attachments/076\\_04%20-%20S.Boussiba%20-%20biotechnology%20&%20GM%20algae.pdf](http://www.aquafuels.eu/attachments/076_04%20-%20S.Boussiba%20-%20biotechnology%20&%20GM%20algae.pdf)

[www.biotecharticles.com/Biotech-Research-Article/Algal-Biotechnology-Importance-and-Applications-623.html](http://www.biotecharticles.com/Biotech-Research-Article/Algal-Biotechnology-Importance-and-Applications-623.html)

[www.books.google.com/books?id=x-N-DsC-7AEC&pg=PA3&source=gbs\\_toc\\_r&cad=4#v=onepage&q=algae&f=false](http://www.books.google.com/books?id=x-N-DsC-7AEC&pg=PA3&source=gbs_toc_r&cad=4#v=onepage&q=algae&f=false)

[www.cbd.int/convention/articles/?a=cbd-02](http://www.cbd.int/convention/articles/?a=cbd-02)

[www.ch.ic.ac.uk/local/projects/steer/chloro.htm](http://www.ch.ic.ac.uk/local/projects/steer/chloro.htm)

[www.ec.asm.org/cgi/content/full/9/4/486](http://www.ec.asm.org/cgi/content/full/9/4/486)

[www.ehow.com/info\\_7982912\\_algae-used-garden-fertilizer.html](http://www.ehow.com/info_7982912_algae-used-garden-fertilizer.html)

[www.ehow.com/info\\_8347003\\_agricultural-uses-algae.html](http://www.ehow.com/info_8347003_agricultural-uses-algae.html)

[www.eli21.com](http://www.eli21.com)

[www.fastcompany.com/1735480/how-an-algae-biofuel-company-ended-up-in-the-cosmetics-business](http://www.fastcompany.com/1735480/how-an-algae-biofuel-company-ended-up-in-the-cosmetics-business)

[www.ftp.fao.org/docrep/fao/006/y4765e/y4765e00.pdf](http://www.ftp.fao.org/docrep/fao/006/y4765e/y4765e00.pdf)

[www.life.umd.edu/grad/mlfsc/Algae%20as%20a%20Source%20for%20Biofuel.pdf](http://www.life.umd.edu/grad/mlfsc/Algae%20as%20a%20Source%20for%20Biofuel.pdf)

[www.nutricionizam.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=554:karotenoidi&catid=2:vani-pojmovi&Itemid=25](http://www.nutricionizam.com/index.php?option=com_content&view=article&id=554:karotenoidi&catid=2:vani-pojmovi&Itemid=25)

[www.oilgae.com/algae/cult/op/op.html](http://www.oilgae.com/algae/cult/op/op.html)

[www.oilgae.com/algae/cult/pbr/typ/flp/flp.html](http://www.oilgae.com/algae/cult/pbr/typ/flp/flp.html)

[www.publish.csiro.au/nid/126/display/citation/paper/MF9540001.htm](http://www.publish.csiro.au/nid/126/display/citation/paper/MF9540001.htm)

[www.sciencelay.com/biology/ecology/bioremediation-by-utilizing-algae/](http://www.sciencelay.com/biology/ecology/bioremediation-by-utilizing-algae/)

[www.ucmp.berkeley.edu/glossary/gloss3/pigments.html](http://www.ucmp.berkeley.edu/glossary/gloss3/pigments.html)

## 9. SAŽETAK

---

Alge kao heterogena skupina s oko 40 000 vrsta predstavljaju najraznolikiju skupinu živih bića na Zemlji, ime pružaju široku distribuciju iskorištavanja svojih produkata u tehnološke svrhe. Vrste koje se koriste u biotehnološkim preradama su cijanobakterije i eukariotske alge. Primijenjena biologija koja služi kao temelj u proizvodnji bioprodukata svoj doprinos u biotehnologiji ostvaruje suradnjom s tehnološkim znanostima izvan područja biologije. Velika količina proizvedene hrane, lijekova, kozmetike, goriva, različitih tvorničkih kemikalija, industrijskih potrepština i sli nih proizvoda svoje odlike duguju procesima biotehnološke proizvodnje.

Alge predstavljaju obnovljiv izvor energije, a primarnom produkcijom godišnje proizvedu oko 52 milijarde tona organskog ugljika. Zbog mogućnosti uzgoja u vodi i na kopnu, esto se koriste u proizvodnji goriva a široku upotrebu imaju u procesima bioremedijacije. Godišnje se 10 milijuna tona algi prerađuje u raznim biotehnološkim postrojenjima iz kojih se zatim iskorištavaju različiti derivati, ovisno o kojoj grani industrije je riječ. Danas se komercijalna algološka bioproizvodnja bazira većinom na ne-transgenetnoj industriji ukoliko se priča o proizvodnji hrane za ljude i životinje, dodacima prehrani i iskorištavanju pigmenta u farmaceutske i kozmetičke svrhe. Zbog akvakulture i uzgoja algi u kontroliranim vodenim sustavima, biotehnologija algi se naziva i plavom biotehnologijom.

## 10. SUMMARY

---

Algae as a heterogeneous group with about 40 000 species represent the most diverse group of organisms on Earth, which provide a wide exploitation of its products for the technological purposes. Species used in the biotechnological processing are cyanobacteria and eukaryotic algae. Applied biology, that serves as a foundation in the manufacture of bioproducts, contribute to biotechnology in cooperation with technological sciences outside the sphere of biology. A large amount of manufactured food, medicine, cosmetics, fuel, various chemicals, industrial supplies and similar products owe their merits to biotechnological production processes.

Algae are a renewable source of energy and their primary production annually produces about 52 billion tons of organic carbon. Because of the possibility of growing algae in water and on land, they are often used in fuel production and they have wide use in the process of bioremediation. Annually 10 million tons of algae are processed into a variety of biotech plants from which they can then take advantage of various derivatives with respect to which the industry is concerned. Today, commercial algological bio-production is based mostly on non-transgenetic industry if we are talking about food production for humans and animals, food supplements and use of pigments in pharmaceutical and cosmetic purpose. Due to aquaculture and cultivation of algae under controlled water systems, algal biotechnology is often called blue biotechnology.