

# Mikroalga spirulina

---

**Bračić, Katarina**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:226:961361>

*Rights / Prava:* [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-22**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of University Department of Marine Studies](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STUDIJE MORA**  
**PREDDIPLOMSKI STUDIJ BIOLOGIJA I EKOLOGIJA MORA**

**Katarina Bračić**

**MIKROALGA SPIRULINA**

**Završni rad**

**Split, rujan 2022.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STUDIJE MORA**  
**PREDDIPLOMSKI STUDIJ BIOLOGIJA I EKOLOGIJA MORA**

## **MIKROALGA SPIRULINA**

**Završni rad**

**Predmet:** Botanika mora

**Mentor:**

Doc. dr. sc. Zvezdana Popović Perković

**Student:**

Katarina Bračić

**Split, rujan 2022.**

Sveučilište u Splitu  
Sveučilišni odjel za studije mora  
Preddiplomski studij Biologija i ekologija mora

Završni rad

## MIKROALGA SPIRULINA

**Katarina Bračić**

### Sažetak

Spirulina je komercijalni naziv za nitaste cijanobakterije iz roda *Arthrospira* koje obitavaju u suptropskim i tropskim područjima. Vrste iz navedenog roda imaju bogatu povijest kao jedne od ključnih sastavnica u prehrani ljudi s navedenih područja. U novije vrijeme provode se mnoga istraživanja o pozitivnim učincima spiruline kako u prehranbene tako i u medicinske svrhe što dovodi do porasta zainteresiranosti i u ljudi iz drugih dijelova svijeta. Kako bi se zadovoljili zahtjevi potrošača potrebno je osigurati dovoljne količine spiruline odgovarajućim metodama uzgoja. Iako je dokazano da spirulina ima određene dobrobiti za zdravlje preporučeno je ne prelaziti dozvoljenu granicu unosa iste zbog mogućih nuspojava. Cilj rada je prikupiti i sustavno prikazati podatke o spirulini te hranidbenoj vrijednosti i zdravstvenim benefitima vrsta iz roda *Arthrospira*.

(22 stranice, 8 slika, 2 tablice, 18 literaturna navoda, jezik izvornika: hrvatski)

**Ključne riječi:** mikroalge, cijanobakterije, spirulina, *Arthrospira* sp.

**Mentor:** Doc. dr. sc. Zvezdana Popović Perković

**Ocjenjivači:** 1. Doc. dr. sc. Vedran Poljak  
2. Doc. dr. sc. Zvezdana Popović Perković  
3. Izv. prof. dr. sc. Josipa Ferri

University of Split  
Department of Marine Studies  
Undergraduate study Marine Biology and Ecology

BSc Thesis

## MICROALGA SPIRULINA

**Katarina Bračić**

### **Abstract**

Spirulina is the commercial name for filamentous cyanobacteria from *Arthrospira* genus inhabiting subtropical and tropical areas. Species from the aforementioned genus have a rich history as some of the key components in the diet of people from those areas. Lately, a lot of research has been conducted regarding the positive effects of spirulina for both food and health purposes, which has led to an increase in interest in people from other parts of the world. In order to meet the demands of consumers it is necessary to provide sufficient amounts of spirulina with appropriate cultivation methods. Although spirulina provides certain benefits for human health, it is recommended not to exceed the permitted intake limit due to possible side effects. The aim of this paper is to collect and systematically show information on nutritional values and health benefits of species from genus *Arthrospira*.

(22 pages, 8 figures, 2 tables, 18 references, original in: Croatian)

**Keywords:** microalgae, cyanobacteria, spirulina, *Arthrospira* sp.

**Supervisor:** Zvezdana Popović Perković, PhD/ Assistant Professor

**Reviewers:**

1. Vedran Poljak, PhD / Assistant Professor
2. Josipa Ferri, PhD / Associate Professor
3. Zvezdana Popović Perković, PhD / Assistant Professor

## SADRŽAJ:

1. UVOD.....	1
1.1. Taksonomija.....	2
1.2. Morfologija i stanična građa modrozelenih algi .....	2
1.2.1. Razmnožavanje i životni ciklus roda <i>Arthrospira</i> sp. ....	6
1.2.2. Biokemijski sastav roda <i>Arthrospira</i> sp. ....	6
1.3. Stanište vrsta roda <i>Arthrospira</i> sp. ....	8
2. RAZRADA TEME .....	10
2.1. Uzgoj spiruline .....	10
2.2. Primjena vrsta roda <i>Arthrospira</i> .....	14
2.2.1. Ljekovita svojstva vrsta roda <i>Arthrospira</i> sp. ....	14
2.2.2. Vrste roda <i>Arthrospira</i> u prehrani .....	16
3. ZAKLJUČAK.....	20
4. LITERATURA .....	21

## 1. UVOD

Spirulina je naziv koji se odnosi na vrste iz rodova, *Arthrospira* i *Spirulina*, a ime je dobila po spiralnoj strukturi (Matufi i Choopani, 2020). Riječ je o višestaničnim, nitastim modrozelenim algama odnosno cijanobakterijama koje su nastale prije 3,5 milijardi godina te su zbog nutritivne vrijednosti postale iznimno popularne u industriji zdrave hrane kao i značajan proteinski i vitaminski dodatak u prehrani riba iz akvakulture. Budući da su vrste fotoautotrofne obitavaju u područjima koja odlikuje jaka svjetlost, a također im uglavnom gode alkalni uvjeti pa ih tako pronalazimo u alkalnim jezerima bogatim mineralima (Ahsan i sur., 2008). Premda obuhvaća prethodno navedene rodove uglavnom je se povezuje samo s vrstama *Arthrospira* sp.

Spirulina ili kako je neki nazivaju „superhrana“ ima bogatu povijest. Konzumiranje iste datira još od 16. stoljeća, za vrijeme španjolskog osvajanja Meksika, kada su španjolski kolonizatori svjedočili kako narod Asteka iz jezera Texcoco u blizini nekadašnjeg grada Tenochtitlana odnosno današnjeg Mexico Citya sakuplja njima tada nepoznatu hranu. Asteci su je zvali „techuitlatl“, a taj naziv se spominje u španjolskim ljetopisima u kojima su opisani ribari kako mrežama skupljaju ovaj plavo-zeleni „techuitlatl“ te prave plavo-zeleni „kolač“ od njega. Druge pak legende nalažu kako su ga koristili asteški trkači u maratonima kojima je zadatak bio kralja opskrbiti svježom ribom. Kako se najbliža svježa riba nalazila u Meksičkom zaljevu, trkači bi na pola puta uzeli spirulinu koja bi ih opskrbila s dovoljno snage, energije i izdržljivosti (Matufi i Choopani, 2020).

Spirulina u kontekstu prehrane se nije mnogo spominjala sve do 20. stoljeća kada je 1940. godine jedan francuski ljekarnik na području današnje Republike Čad, koja također ima tradiciju korištenja spiruline u prehrane svrhe, primijetio njihov takozvani kolač „dihe“ te ga poslao na analizu koja je utvrdila da se „kolač“ priprema od plutajućih nanosa cijanobakterije *Arthrospira platensis*. Nešto kasnije, 1967. godine predstavljena je kao obećavajući budući izvor hrane. Prve analize spiruline, odrađene 70-ih godina, pokazale su iznimno visok sadržaj proteina kao i dobru kvalitetu proteina s uravnoteženim sadržajem esencijalnih aminokiselina. Navedeni rezultati su zapravo bili pokretači mnogih istraživačkih projekata u industrijske svrhe jer su tada mikroorganizmi smatrani kao najizržavniji put do jeftinih proteina (Ahsan i sur., 2008). Danas se u mnogim državama konzumiraju i uzgajaju ove alge, a neke od njih su SAD, Brazil, Španjolska, Francuska, Indija, Filipini, brojne afričke zemlje, itd. Naglasak u ovom radu biti će stavljen na rod *Arthrospira*.

## 1.1. Taksonomija

Spirulina je komercijalni naziv za vrste iz roda *Arthrospira* te se još povezuje s vrstama iz istoimenog roda *Spirulina* (prava *Spirulina*). Naziv spirulina ljude uglavnom asocira na vrste iz roda *Arthrospira* po čemu možemo zaključiti da vrste pod nazivom spirulina koje se konzumiraju većinskim dijelom spadaju u rod *Arthrospira*, a do zabune dolazi jer su vrste iz roda *Arthrospira* prije bile klasificirane u rod *Spirulina* zbog zajedničke spiralne morfologije. Sili i sur. (2012) u svom radu navode da bi veliki broj vrsta koje su svrstane u rod *Spirulina* trebale biti svrstane u rod *Arthrospira* te također smatraju da kad se vrste iz *Arthrospira* referiraju kao spirulina da se spirulina ne bi smjela pisati u kurzivu. Sve je počelo nakon što je 1827. godine P.J. Turpin iz slatkovodne vode izolirao vrstu koja je nalikovala vrstama iz roda *Spirulina*, a poslije joj je dan naziv *Spirulina jenneri* f. *platensis*. No, 1852. godine Stizenberger je u svom taksonomskom izvještaju rodu ove vrste dao ime *Arthrospira* na temelju prisutnosti septa, spiralnog oblika te višestanične strukture. Njegove tvrdnje je 1892. godine potvrdio francuski fikolog Maurice Gomont koji je pripisao asepatni oblik vrstama roda *Spirulina*, a septalni oblik rodu *Arthrospira*. Lothar Geitler je 1932. godine odlučio ignorirati prisutnost septi, pregrade između stanica, te je na osnovu zajedničke spiralne morfologije svrstao vrste iz roda *Arthrospira* u rod *Spirulina*. Nakon što su analize potvrdile točnost već prije otkrivenih saznanja o razlici u njihovoj građi, 1989. godine su te iste vrste ponovno svrstane u rod *Arthrospira* (Ahsan i sur., 2008). To je danas prihvaćena klasifikacija, ali zbog prijašnje klasifikacije vrsta poput *Arthrospira platensis* i *Arthrospira maxima* u rod *Spirulina* ljudi su se jednostavno naviknuli asocirati naziv spirulina s tim vrstama zbog čega je ostao u upotrebi u obliku komercijalnog naziva.

Bitno je naglasiti kako se radi o carstvu Monera ili prokariotima. Pripadaju koljenu Cyanobacteria odnosno cijanobakterijama koje su svrstane u razred Cyanophyceae, no ova dva roda ne pripadaju istom redu. Rod *Spirulina* spada u red Spirulinales (WORMS - World Register of Marine Species, 2022a), dok rod *Arthrospira* spada u red Oscillatoriales (WORMS, 2022b).

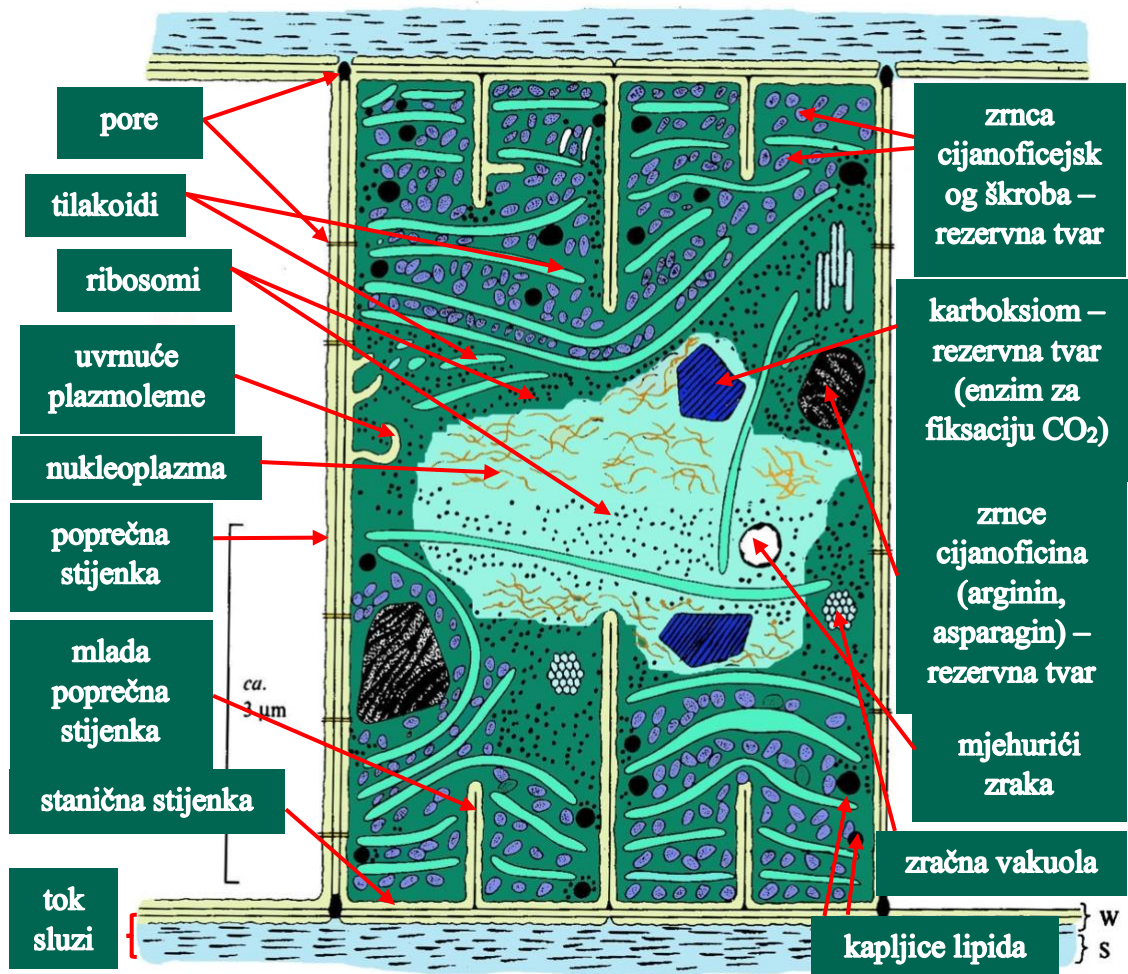
## 1.2. Morfologija i stanična građa modrozelenih algi

Vrste koje povezujemo s nazivom spirulina su autotrofne, simbiotske, višestanične i nitaste modrozeleno alge, ujedno najveći i najsloženiji prokarioti u kojima se razvio proces

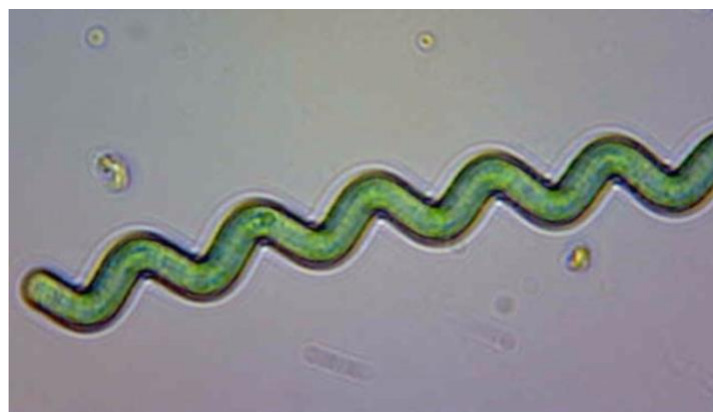


fotosinteze. Riječ je o mikroalgama duljine od 50-500  $\mu\text{m}$ , a širine od 3-4  $\mu\text{m}$  (Jung i sur., 2019). Iako su sličnosti između rodova *Spirulina* i *Arthrospira* minimalne i dalje dijele značajke zajedničke svim cijanobakterijama tako da se radi o organizmima bez prave jezgre, vakuola, mitohondrija, golgijevog tijela, endoplazmatskog retikuluma i celuloznih membrana (Slika 1). *Spirulina* je po građi svog talusa nitasta modrozeleno alga kod koje su niti sastavljene od niza stanica koji se naziva trihom. Trihom kod kojeg su sve stanice vegetativne naziva se homocitan, što je slučaj kod rodova *Spirulina* i *Arthrospira*. Trihom kod *Spiruline* je malog promjera i karakterizira ga aseptatni oblik (stanice nisu pregrađene septama) (Slika 2) dok je trihom kod *Arthrospire* velikog promjera, a karakterizira ga septalni oblik (stanice su pregrađene septama) (Slika 3). *Spirulina* je prije svega okružena staničnom stjenkom koja strukturalno nalikuje onoj koje imaju gram-negativne bakterije (Popović Perković, 2014). Taj tip stanične stijenke karakteriziraju 4 sloja, a jedan od njih izgrađen je od mureina koji spada u peptidoglikane dok ostale slojeve čini heteropolimer osjetljiv na enzim lizozim i drugi materijal koji nije osjetljiv na lizozim (Ahsan i sur., 2008). Heteropolimer s osjetljivošću na lizozim daje oblik stanici, a uz to joj pruža osmotsku zaštitu. Ovakvu vrstu stanične stijenke nemaju eukariotske alge. Umjesto stanične membrane modrozeleno alge imaju plazmolemu, tj. dvosloj fosfolipida koji funkcionalno osigurava odvajanje vanjskog okoliša od unutrašnjosti stanice. Nakon plazmoleme slijedi protoplazma stanice koja nalikuje citoplazmi kod eukariota. Za razliku od citoplazme, protoplazma nije tekuća nego je veoma viskozna. U njoj su smješteni svi primitivni organeli cijanobakterija kao i ribosomi, mjesta sinteze proteina koja su zaslužna za njezin zrnati izgled te su nešto manja od onih u eukariota. Dijeli se na središnji ili nebojeni dio stanice, centroplazmu i periferni ili obojeni dio, kromatoplazmu. U centroplazmi je smještena kružna jednolančana DNA molekula koju tvore mikro vlakna promjera 7 nm. Taj dio centroplazme se još naziva nukleoid. Genetski materijal u Monera nije obavijen ovojnicom, koja zajedno s istim u carstvu eukariota čini jezgru, što znači da prokarioti nemaju pravu jezgru. Nalik svim fotosintetskim organizmima i kod cijanobakterija kao što je spirulina nailazimo na tilakoide koji nisu smješteni u plastidima, tj. kloroplastima nego slobodno leže u kromatoplazmi što je još jedna razlika između cijanobakterija i autotrofnih eukariota. Na vanjskoj strani membrane tilakoida se nalaze pigmentna tjelešca ili fikobilisomi koje tvore pigmenti fikoeritrin, fikocijanin i alofikocijanin. Klorofil a je kod svih vrsta iz koljena Cyanophyta temeljni pigment unutar tilakoidnih membrana koji daje zelenu boju dok pigmenti fikocijanin i alofikocijanina daju plavu boju. Fikobilisomi imaju ulogu „antena“ pigmentata, za svjetlosnu energiju koju dovode do klorofila a u kojemu se odvija asimilacija ugljikovog dioksida ( $\text{CO}_2$ ) te koristeći molekule vode dolazi do proizvodnje šećera koji su energetski bogati spojevi. Sposobnost da

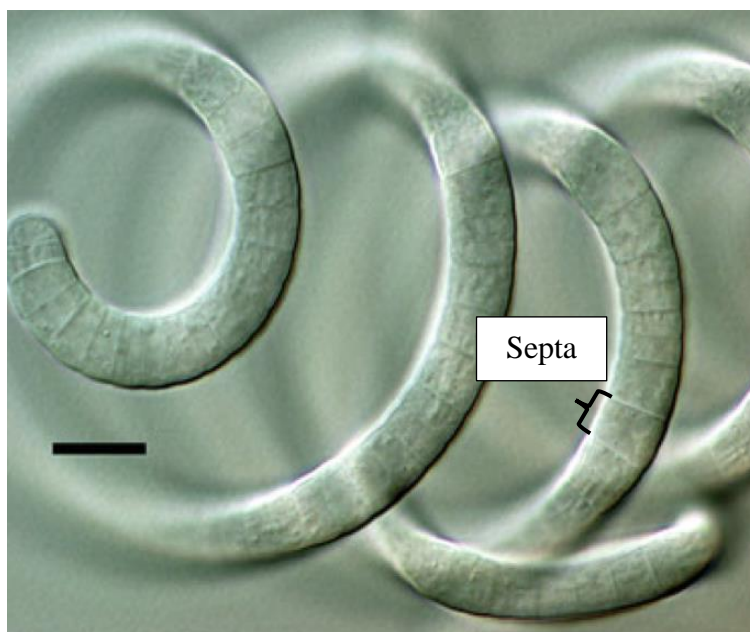
se u njima odvija fotosinteza ih čini autotrofnim organizmima odnosno organizmi koji sami sebi proizvode hranu. Glavna pričuvna tvar kod svih cijanobakterija je cijanoficejski škrob koji je kad ga se uspoređi s glikogenom i škrobom (pričuvne tvari kod viših biljaka) znatno jednostavnije građen. On se pojavljuje u obliku sitnih zrnaca. Zrnca cijanoficina zapravo predstavljaju rezervne količine proteina od kojih najviše prevladavaju aminokiseline, arginin i asparagin. Uglavnom ih nalazimo na prijelazu između centroplazme i kromatoplazme. Uz cijanoficejski škrob u modrozelenim algama prevladavaju još dvije strukture s pričuvnim tvarima, a to su polifosfatna zrnca i karboksisomi. Polifosfatna zrnca su rezervne količine fosfata, a karboksisomi su rezerve enzima ribuloza-1,5-bifosfatkarboksilaze-oksigenaze kojoj je zadaća katalizirati prvi korak u fotofiksaciji ugljikovog dioksida. Cijanobakterije umjesto pravih vakuola imaju takozvane zračne vakuole koje su za razliku od onih kod fotosintetskih eukariota ispunjene zrakom, a ne tekućinom (Popović Perković, 2014).



Slika 1. Građa nitaste cijanobakterije (izvor: Popović Perković, 2014).



Slika 2. Prikaz asepatnog oblika vrste iz roda *Spirulina* (izvor: iNaturalist, 2015).



**Slika 3.** Prikaz septatnog oblika vrste iz roda *Arthrospira* (izvor: Sili i sur., 2012).

### **1.2.1. Razmnožavanje i životni ciklus roda *Arthrospira* sp.**

Kao i sve višestanične nitaste modrozeleno alge pa tako i vrste iz rodova *Arthrospira* se razmnožavaju staničnom ili binarnom diobom. To je oblik nespolnog razmnožavanja kod kojeg stanice cijanobakterija moraju doseći veličinu dvostruko veću od normalne kako bi se podijelila odnosno kod višestaničnih nitastih modrozelenih alga niti se dijele (raspadaju) na više dijelova ili hormogonije iz kojih se mogu razvijati nove jedinice. Od iznimno je velike važnosti da stanica, prije stanične diobe, replicira svoj genetski materijal (DNA) i odvoji kopije na suprotne polove stanica. Tada se mnogi tipovi proteina koji sudjeluju u diobi okupljaju na mjestu buduće diobe. Kako se proces stanične diobe približava, citoplazma se cijepa na dva dijela i dolazi do sinteze nove stanične stijenke (CALS - Cornell College of Agriculture and Life Sciences, 2022).

### **1.2.2. Biokemijski sastav roda *Arthrospira* sp.**

Osnovni biokemijski sastav spiruline čine proteini, esencijalne masne kiseline, ugljikohidrati, vitamini, minerali i fotosintetski pigmenti (ALGORIGIN – Swiss specialist for alge, 2022) (Tablica 1). Sadržaj hranjivih tvari u spirulini uglavnom ovisi o uzgojnim uvjetima

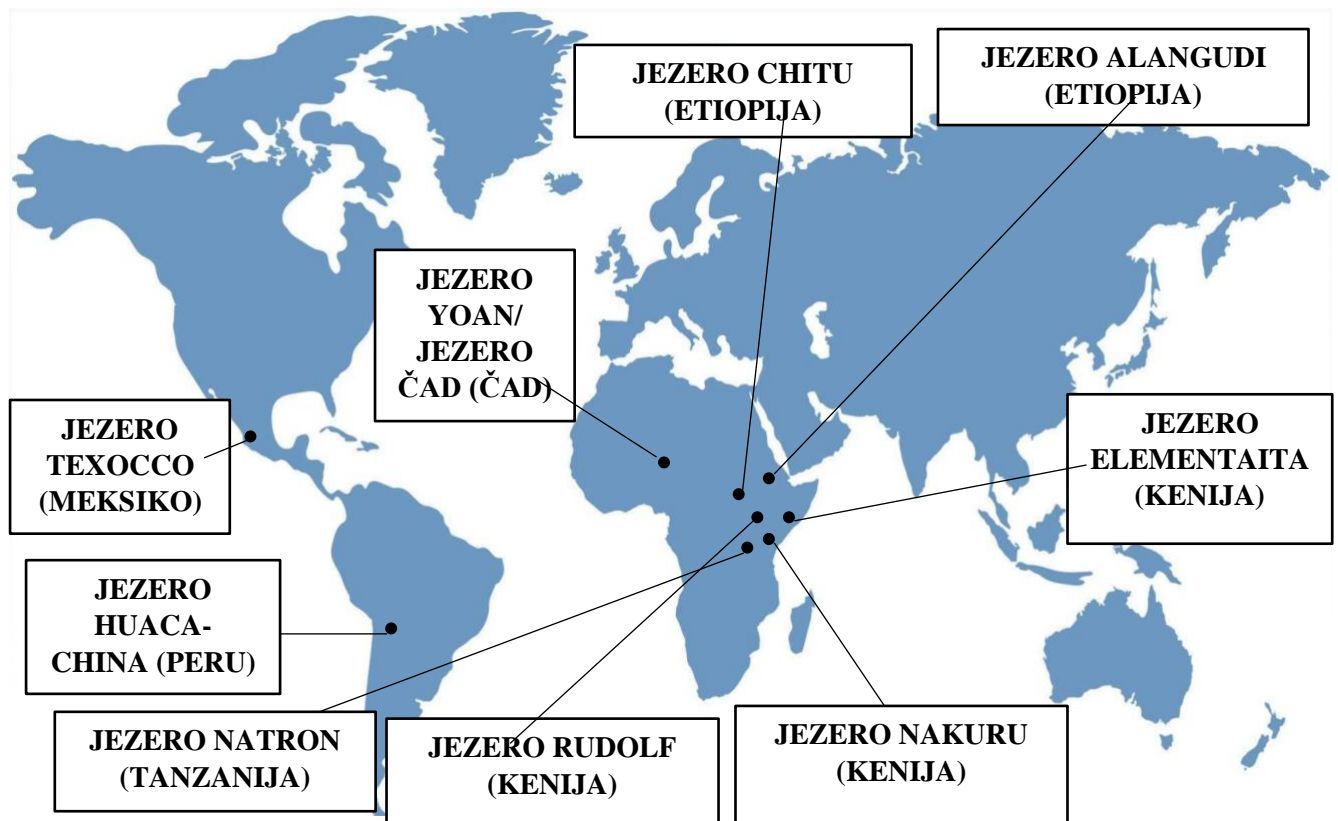
dok abiotički čimbenici kao što su temperatura, slanost i intenzitet svjetlosti određuju biokemijske puteve sinteze metabolita. Brojne analize su utvrdile da veliki broj gena spiruline ima ulogu u biosintezi aminokiselina (Maleš i sur., 2019) što nije iznenađujuće s obzirom da suha biomasa istoimene alge sadrži 55-70% proteina (Jung i sur., 2019). Proteini su potpuni jer sadržavaju sve esencijalne aminokiseline potrebne odraslim ljudima i djeci, ali sa smanjenim količinama metionina, lizina i cistina u usporedbi s proteinima iz mesa, jaja i mlijeka, no ipak su superiorniji od svih standardnih biljnih proteina poput onih kod mahunarki. Spirulina je također poznata po velikim koncentracijama nezasićenih masnih kiselina (Ahsan i sur., 2008). Od 6-8% ukupne količine lipida, nezasićene masne kiseline zauzimaju 1.5-2% (Jung i sur., 2019). U najvećim koncentracijama se pojavljuju esencijalna linolna kiselina i gama-linolenska kiselina (ALGORIGIN, 2022). U spirulini također pronalazimo ugljikohidrate koji sadrže od 15% do 25% njene suhe biomase (Jung i sur., 2019), uglavnom u obliku glikogena i ramnoze (ALGORIGIN, 2022). Vrste spiruline su veoma bogate vitaminima, a oni uključuju vitamine A (beta-karoten), B<sub>1</sub> (tiamin), B<sub>2</sub> (riboflavin), B<sub>3</sub> (nikotinamid), B<sub>6</sub> (piridoksin), B<sub>9</sub> (folna kiselina) (Ahsan i sur., 2008), B<sub>12</sub> kojeg iste imaju u dva oblika, cijanokobalamin i pseudo-kobalamin, vitamin C, vitamin D – Spirulina njegov najveći izvor u biljnom svijetu i vitamin E (ALGORIGIN, 2022). Od minerala, u najvećoj mjeri, prisutni su kalcij, željezo, magnezij, kalij, natrij i fosfor (Maleš i sur., 2019). Kao što je već navedeno u jednom od prethodnih poglavlja, cijanobakterije pa tako i spirulina od pigmenata topljivih u lipidima sadrži klorofil a i karotenoide (beta-karoten), a od pigmenata koji nisu topljivi u lipidima sadrži fikocijanin i alofikocijanin. Spirulina se sastoji od oko 1% zelenog pigmenta – klorofila dok fikocijanin i alofikocijanin omogućuju plavo obojenje te im zastupljenost iznosi oko 14%, a karotenoidi su prisutni sa 0,5% (žuti, narančasti ili crveni pigmenti) (Jung i sur., 2019). Količina i kvaliteta navedenih komponenti spiruline omogućuje joj posebno zanimljiv i cjelovit nutritivni profil.

**Tablica 1.** Glavne biokemijske sastavnice spirulina (*Arthrospira* sp.) i njihovi udjeli (%) (izvor: Jung i sur., 2019).

<b>Osnovni sastav spiruline</b>	
Proteini	55 – 70 %
Ugljikohidrati	15 – 25 %
Lipidi	6 – 8 %
Minerali	7 – 13 %
Vlažnost	3 – 7 %
Dijetalna vlakna	8 – 10 %

### **1.3. Staništa vrsta roda *Arthrospira* sp.**

Kao i sve modrozelenne alge, vrste iz roda *Arthrospira* su obvezni fotoautotrofi, tj. ne mogu rasti ni razvijati se na područjima s nedovoljnom količinom sunčeve svjetlosti. Iako se vrste iz navedenog roda mogu pronaći u brojnim staništima poput tla, močvara, slatkih i bočatih voda, mora te termalnih izvora najviše obitavaju u alkalnim, slanim jezerima u suptropskim područjima (Ahsan i sur., 2008). Alkalni mediji, tj. područja s visokim pH vrijednostima, od 7,5 do 11, su od iznimno velike važnosti za rast i razvitak ovih organizama kao i da temperatura staništa bude između 25-35°C te da budu bogata nutrijentima poput fosfata, nitrata, bikarbonata, itd. (Guasto i sur., 2019). Filamenti „prave“ Spiruline (rod *Spirulina*) isto mogu rasti na ovim područjima, no za razliku od vrsta *Arthrospira* ne tvore bujne cvatnje (Sili i sur., 2012). Prirodna staništa roda *Arthrospira* pronalazimo u Meksiku, Peruu i u nekim afričkim državama poput Čada, Kenije, Etiopije, Tanzanije i Nigera (Slika 4) (Guasto i sur., 2019).



**Slika 4.** Prirodna staništa vrsta iz roda *Arthrospira* sp. (izvor: Guasto, 2019).

## 2. RAZRADA TEME

### 2.1. Uzgoj spiruline

Zadnjih desetljeća porasla je potražnja za spirulinom, tj. vrstama iz roda *Arthrospira* posebice *A. platensis* i *A. maxima* zbog značaja u medicini i prehrani. Da se zadovolje potrebe ljudi započeo je uzgoj kako u zemljama gdje se nalaze prirodna nalazišta tako i u ostalim dijelovima svijeta gdje ove vrste ne obitavaju. Da bi kultivacija spiruline bila uspješna trebaju se ispuniti vrijednosti određenih parametara optimalnih za uzgoj.

Spirulina se može uzgajati u bazenima, izgrađenih od strane čovjeka (Piccolo, 2012a), u unutarnjim prostorima i na otvorenom. Kultivacija na otvorenom namijenjena je za masovnu proizvodnju (Slika 5), dok je uzgoj smješten u zatvorenim prostorima predodređen za manja tržišta (Guasto i sur., 2019). Izbor lokacije na otvorenom ovisi o tome ispunjavaju li određene kriterije koji odgovaraju uvjetima klimatskih pojaseva u kojim su smještena prirodna staništa poput sunčeve svjetlosti koja će omogućiti optimalnu temperaturu za rast ovih alga, koja iznosi nekih 35°C dok je na temperaturama ispod 18°C njihov rast jednak nuli, a temperature više od 37°C uništavaju nutrijente koji su od iznimne važnosti za razvitak vrsta iz roda *Arthrospira*, a uz to se smanjuju koncentracije pigmenta beta-karotena (Piccolo, 2012b). Treba voditi računa o gustoći nasada jer ukoliko je gustoća velika svjetlo može postati ograničavajući faktor za određeni dio kulture, tj. jedinke pri dnu neće ispuniti potrebe za odvijanje procesa fotosinteze, a da se to izbjegne kritično je miješati sadržaj bazena pomoću turbina (Slika 6). Uz optimalnu temperaturu od 35°C bitno je zadovoljiti alkalna svojstva njenih prirodnih staništa koja se mogu postići dodavanjem raznih soli koje će povećati pH vrijednosti vode bazena, a kao što je prethodno spomenuto idealna pH vrijednost je oko 10. Soli odnosno tvari koje se dodaju kako bi se postigao alkalni medij i samim time uzgoj ostvario profitabilne rezultate su slijedeće: natrijev bikarbonat, magnezijev sulfat, kalijev nitrat, limunska kiselina, obična sol, urea, kalcijev klorid, željezo sulfat i amonij sulfat (Piccolo, 2012a). Ovaj medij se još naziva Zarroukov medij (Guasto i sur., 2019) koji je, kao što možemo zaključiti po njegovom sastavu, anorganski medij. Bazeni za uzgoj spiruline se uglavnom izrađuju od poliranog cementa ili ipak mogu biti ukopani u zemlju s polietilenskim poklopcem čija je uloga da zadrži vodu. Pokrivač od polietilena iznad bazena ili još bolje staklenik može povećati temperaturu, smanjiti isparavanje, smanjiti kontaminaciju i smanjiti križanje s drugim algama što je sve povoljno za rast mikroalgi. Iako su na početku bazeni s polietilenskim poklopcima ekonomičniji isto su tako skupi za daljnje održavanje zbog trošenja materijala tako da su bazeni od poliranog cementa



puno isplativiji za održavanje. Da bi se od uzgoja ostvarila velika zarada dimenzije bazena moraju biti zadovoljavajuće. Idealna širina je nekih 3-4 metra dok je duljina oko 100 metara (Piccolo, 2012a), a dubina iznosi samo oko 12-15 centimetara (Ahsan i sur., 2008). Od iznimno je velike važnosti da su bazeni plitki kako bi svjetlost mogla lakše penetrirati do onih jedinki koje se nalaze na dnu. U unutarnjim prostorima se također, uglavnom, uzgaja u bazenima. Kako bi u zatvorenoj okolini uzgoj bio uspješan kritično je podesiti parametre na vrijednosti koje odgovaraju za rast Spiruline. Kako je proizvodnja biomase izravno povezana s velikom količinom svjetla kojoj je izložena, od iznimno velike važnosti je osigurati mikroalgama pristup tim količinama. Jedan od načina je korištenje umjetne rasvjete koja omogućava olakšanu kontrolu nad gustoćom biomase spiruline i stabilnije koncentracije sa stabilnim dnevnim i noćnim rasporedom. Iako ima prednosti u smislu kontrole koju daje nad kulturom, umjetna rasvjeta iziskuje velike troškove za instalaciju i utroške energije za vrijeme cijelog procesa uzgoja tako da je bitno osigurati određena novčana sredstva. Za izvor svjetlosti najpoželjnije je koristiti LED svjetla, a ne fluorescentne svjetiljke jer one neće imati značajan utjecaj na temperaturu kulture. Boja svjetlosti je isto ključna za povoljne rezultate uzgoja jer i ona utječe na rast i razvoj cijanobakterija kao i na sadržaj lipida, proteina, a i klorofila koji se nalaze u njima. Smatra se da je svjetlost u korelaciji s pigmentacijom njihovih kompleksa za prikupljanje svjetlosti što dovodi do zaključka da se vrste iz roda *Arthrospira* najbolje razvijaju pri izloženosti plavoj ili zelenoj svjetlosti. Kao i u kulturi na otvorenom području potrebno je pripremiti Zarroukov medij. Kako je riječ o uzgoju u zatvorenom prostoru obavezno je nabaviti posebne alate, tj. uređaje za aeraciju, a i filtraciju (Guasto i sur., 2019). Iako se kao podloga za rast pretežno upotrebljava anorganski, Zarroukov medij još se kao alternative mogu koristiti podloge pripravljene od organskih izvora hranjivih tvari. One se najčešće primjenjuju u manjim proizvodnim jedinicama spiruline kojima cijena i dostupnost anorganskih tvari predstavljaju prepreku. Kao izvor organskih tvari služe otpadne vode koje su dostupne u ruralnim krajevima. Rezultati uzgoja u organskom mediju su se pokazali gotovo istima kao i u Zarroukovom mediju, a kao indikatori su poslužile koncentracije određenih sastavnih komponenti *Arthrospire* poput klorofila, fikocijanina i proteina u suhoj masi iste čije su vrijednosti bile u korelaciji s uobičajenim. Uz to proizvedena biomasa se podudarala s onom nastalom u anorganskom mediju (Ahsan i sur., 2008). Spirulina se osim u bazenima još može uzgajati u foto bioreaktorima (PBR) (Slika 7). PBR su posebno dizajnirani za uzgoj mikroalgi. Okruženje foto bioreaktora je pod potpunom kontrolom što omogućava znatno bolju kvalitetu finalnog proizvoda s manje otpada kao i njegove nutritivne vrijednosti. Bez obzira na navedene prednosti

ova metoda uzgoja još nije zaživjela ponajviše zbog visokih cijena fotobioreaktora, ali i zahtjeva specijalizirano osoblje koje bi upravljalo njima (Piccolo, 2012b).



**Slika 5.** Primjer kultivacije vrste iz roda *Arthrospira* za masovnu proizvodnju (izvor: Ahsan i sur., 2008).



**Slika 6.** Kulture Spiruline na otvorenom u Kini i Japanu sa različitim oblicima bazena i turbina (izvor: Guasto i sur., 2019).



**Slika 7.** Foto bio-reaktori (PBR) (izvor: Piccolo, 2012b).

Iako kultivacija vrsta poput *A. platensis* ostvaruje pozitivne rezultate, uzgajivači ponekad nailaze na prepreke kao što su paraziti. Mikroorganizmima poput ameba, rotifera i ostalih skupina protozoa kojima pogoduju okolišni uvjeti u kojima obitava rod *Arthrospira* dovode do nastajanja određenih simbiotskih interakcija između navedenih organizama. Svaki od njih različito djeluje s vrstama iz roda *Arthrospira*, pri čemu su neki paraziti, a drugi koegzistiraju s njom. Od ostalih organizama za koje je utvrđeno da mogu biti izvor brojnih zaraza kod ovih vrsta su neke vrste gljivica, a i komarci koji polaganjem jaja u uzgojne medije mogu znatno smanjiti biomasu vrsta iz roda *Arthrospira* što ih čini veoma ozbiljnom prijetnjom. Navedeni paraziti nisu jedini problem za uzgajivače. Problem im može predstavljati i mogućnost koegzistencije vrsta roda *Arthrospira* s ostalim algama koje su evoluirale da podnose visoki pH što može dovesti do toga da se neke od tih vrsta, na tržištu, plasiraju pod nazivom „Spirulina“ (Guasto i sur., 2019). Da bi se ovaj problem izbjegao važno je u timu imati osobe stručne za morfologiju roda *Arthrospira*.

Prije plasmana spiruline na tržište obavezno je ispuniti određene faze. Prva faza obuhvaća filtriranje i čišćenje, dok iduće faze uključuju ispiranje radi smanjenja sadržaja soli, uklanjanje intersticijske vode koja se nalazi među filamentima, neutralizaciju biomase dodatkom otopine kiseline, dezintegraciju trihoma, dehidraciju te pakiranje u plastičnim vrećicama kako bi se izbjeglo higroskopsko djelovanje i skladištenje (Ahsan i sur., 2008).

Spirulina se trenutno konzumira i distribuira diljem svijeta od strane nekoliko proizvođača. Brojne zemlje, uključujući Meksiko, Sjedinjene Američke Države, Indiju,



Tajland, Mjanmar, Kinu, Kubu i Japan, veliki su proizvođači ove cijanobakterije, zajedno s još nekoliko farmi u Australiji, Čileu, Izraelu, Bangladešu, Filipinima, Peruu, Brazilu i drugim zemljama širom svijeta. S obzirom da vrste roda *Arthrospira* nude izvanredne zdravstvene prednosti za pothranjene ljude, postojali su mnogi projekti u kojima se razglabalo unaprjeđenje uzgoja spiruline u selima u razvoju diljem Južne Amerike, Afrike i Azije (Guasto i sur., 2019).

## **2.2. Primjena vrsta roda *Arthrospira***

### **2.2.1. Ljekovita svojstva vrsta roda *Arthrospira* sp.**

Brojne analize provedene tijekom zadnjih desetljeća dokazale su različita ljekovita svojstva spiruline, tj. vrsta iz roda *Arthrospira*. Komponente ovih cijanobakterija mogu imati različite pozitivne učinke u medicini poput antivirusnih, antibakterijskih, antioksidativnih, protuupalnih, detoksikacijskih, kemoprotektivnih, imunomodulatornih te onih vezanih za liječenje dijabetesa (Jung i sur., 2019). Spirulina se zbog već prethodno navedenih ljekovitih djelovanja razmatra kao alternativno rješenje u budućnosti.

Znanstvenici su pomoću eksperimenata dokučili da neke sastavne jedinice spiruline imaju snažna anti-virusna odnosno anti-bakterijska djelovanja. Mogućnost su testirali unošenjem 0,1% spiruline injekcijom u organizam te su nakon samo 30 minuta primijetili povećano nestajanje patogenih bakterija u krvi i to uglavnom *Escherichia coli* i *Staphylococcus aureus*. Provedeni eksperimenti na miševima, ribama i ostalim životinjama doveli su do zaključka da eliminacijom invazivnih patogenih mikroorganizama *Arthrospira* ima mogućnost poboljšanja funkcije imunskog sustava što će dovesti do napretka u radu slezene i timusne žlijezde, tj. porasti će aktivnost makrofaga, T-stanica i prirodnih stanica ubojica. To rezultira smanjenjem bakterija poput *E. coli* i stoga omogućuje rast korisnih vrsta crijevne flore osobito laktobacila. Njena anti-virusna svojstva se očitavaju u sprječavanju replikacije raznih virusa. Niže koncentracije će samo smanjiti replikacije dok će ih njene više koncentracije u potpunosti zaustaviti (Jung i sur., 2019). Važno je napomenuti da spirulina najučinkovitije uzrokuje poremećaj u stvaranju virusnog plaka za vrijeme ranih faza infekcije. Neki od virusa koji mogu biti inhibirani od strane *Arthrospire* su virusi influenze, HIV-a (Guasto i sur., 2019) i herpes simplex (Jung i sur., 2019). Antioksidativna svojstva spiruline su ujedno i kemoprotektivna svojstva koja su od iznimno velikog značaja u medicini za liječenje raznih tipova tumora. Glavni antioksidans u cijanobakterija je pigment C-fikocijanin koji je vrlo efektivan i u *in vitro*

i u *in vivo* uvjetima tako što je odgovoran da unutar stanice hvata slobodne radikale i Nrf2 (engl. *nuclear factor-erythroid 2-related factor 2*). Riječ je o transkripcijskom faktoru koji je zaslužan za sintezu velikog broja enzima antioksidativne prirode. Spirulina je dokazana kao učinkovit kemoprotektivni agens koja svojim antioksidansima reducira razne tipove toksičnosti, poput hepatoksičnosti, genotoksičnosti i sl., uzrokovane teškim metalima koji uglavnom podrazumijevaju arsen, kadmij i olovo (Maleš i sur., 2019). Jung i sur. (2019) u svom radu nalažu kako ona smanjuje toksičnost svojom sposobnosti neutralizacije teških metala odnosno toksičnih minerala, a to je karakteristika koja dosad nije zabilježena kod nijedne druge mikroalge. Što se tiče njezinog utjecaja na tumore, dosad nije dovoljno ispitan na čovjeku, ali razna pred klinička testiranja na životinjama, pogotovo na miševima, pokazuju obećavajuće rezultate (Maleš i sur., 2019). Također je potvrđena protuupalna reakcija C-fikocijanina čija uloga uključuje i inhibiciju stvaranja upalnog metabolita leukotriena B4 (Jung i sur., 2019). Ovo bi bilo korisno ljudima koji boluju od artritisa, a i za očuvanje kardiovaskularnoga sustava (Piccolo, 2012a). Uz ovu vrstu fikocijanina antioksidativnu ulogu imaju i ostali pigmenti poput karotenoida i klorofila te svi oni zajedno pružaju zaštitu od radijacije. Istraživanja su pokazala da antioksidativna svojstva spiruline mogu djelovati u reguliranju lipida, tj. u liječenju hiperlipidemije ili viška kolesterola. Ispitivanje se obavilo na mužjaku štakora kod kojeg je bila detektirana ista, uzrokovana olovnim acetatom i oksidativnim oštećenjem jetre i bubrega štakora. Rezultati primjene spiruline u ovom slučaju pokazali su da je ona uspješno spriječila olovne octene kiseline što je dovelo do značajnih promjena u plazmi te u razinama lipida u jetri. Ova cijanobakterija sudjeluje i u liječenju dijabetesa, pretilosti, hipertenzije ili visokog tlaka (Matufi i Choopani, 2020) te anemije. Nedavna testiranja utvrdila su da konzumiranje 1 g spiruline svaki dan u periodu od 12 tjedana smanjuje apetit u pretilih osoba te samim time masu tijela (Großhagauer i sur., 2020). Anemija je zdravstveno stanje u kojem osoba ima ispod prosječni broj crvenih krvnih stanica odnosno veoma nizak hemoglobin što smanjuje sposobnost krvi da opskrbljuje organe kisikom. Kako bi se stanje popravilo potreban je unos velike količine željeza kao i vitamina B<sub>12</sub>, folnu kiselinu i esencijalne aminokiseline, a jedan od njihovih izvora je spirulina (Guasto i sur., 2019). Željezo doprinosi normalnom transportu kisika u organizmu odnosno omogućava normalnu proizvodnju eritrocita što naposljetku smanjuje umor i omogućuje normalnu funkciju energetskog metabolizma (ALGORIGIN, 2022). Sorrenti i sur. (2021) u svom radu prikazuju vezu između fitokompleksa spiruline i mozga. Otkriveno je da Spirulina može utjecati na zdravlje mozga kroz prvu interakciju s crijevnom mikrobiotom tako što će ju mikrobiota transformirati u male bioaktivne molekule koje zatim dopijevaju u krv i obavljaju svoje funkcije te dolazi do nastajanja obilja zaštitnih

bakterija. Nutrijenti koji se nalaze u ovoj algi, a potrebni su za pravilno funkcioniranje mozga su mangan, fosfor, magnezij, aminokiseline razgranatog lanca, ostale aminokiseline i vitamini B posebice B<sub>12</sub>. Navedeni nutrijenti poboljšavaju biološke aktivnosti i molekularne mehanizme mozga odnosno očvršćuju kognitivne sposobnosti i pamćenje, omogućuju sintezu neurotransmitera, proteina te molekula RNA i DNA, itd. Na zdravlje mozga pozitivno utječu i fitoderivati, tj. pigmenti poput beta-karotena i zeaksantina koji su karotenoidi i C-fikocijanina. Njihova uloga očituje se u pružanju neuroprotekcije, poboljšane učinkovitosti signalizacije, zaštite mrežnice oka te također imaju protuupalna i antioksidativna svojstva (Sorrenti i sur., 2021).

### **2.2.2. Vrste roda *Arthrospira* u prehrani**

Zbog visoke nutritivne vrijednosti mikroalge iz roda *Arthrospira* postale su veoma značajne u industriji zdrave hrane te se također primjenjuje u prehrani životinja. Kao što je već navedeno u prethodnim poglavljima *Arthrospira* sp. najviše obiluje proteinima čija zastupljenost varira u rasponu od 55-70% u njenoj suhoj masi, a nutritivni sadržaj istoimene alge također obuhvaća esencijalne masne kiseline, ugljikohidrate, vitamine, minerale i fotosintetske pigmente. Svaka ova skupina doprinosi pravilnom održavanju i radu organizma. Na tržištu modrozelenih algi iz roda *Arthrospira* pronalazimo u obliku zelenog suhog praha koji je po svojoj prirodi vrlo gust i teško topljiv u hladnoj vodi u slučaju ako nije dovoljno usitnjena (Piccolo, 2012a). U ovom obliku ljudi je mogu primjenjivati u konzumaciji hrane na način da je koriste kao osnovu za razna jela poput juhe, umaka, tjestenine, grickalica te za brojne druge recepte (Matufi i Choopani, 2020). Preporuka je umiješati je u toplu hranu ili piće, ali od iznimno je velike važnosti pratiti temperaturu na kojoj izlažemo prah jer se na višim temperaturama gube sva svojstva istog (Piccolo, 2012a). Iako može poslužiti kao osnova u određenim obrocima od nje se također pripremaju razna jela od kojih su najpoznatiji primjeri pudinzi, rezanci, napitci, kolačići i sl. (Slika 8) (Matufi i Choopani, 2020). Prašak se može prodavati u svom prirodnom stanju ili u obliku kapsula, no tko se odluči za njih morat će ih unositi u većem broju jer je masa jedne kapsule 0,5 mg, a spirulina ostvaruje učinak na organizam u nešto većim količinama (Piccolo, 2012a). U brojnim studijama testirala se doza spiruline, tj. njenog praha koja bi bila dovoljna za ostvarenje njezinih učinka i pokazalo se da je doza u rasponu od 1-8 g pa čak i do 10 g na dnevnoj bazi idealna kako bi ona omogućila normalno funkcioniranje organizma. Količine spiruline koje se unose uglavnom ovise o stanju

za koje je neka osoba predodredila primijeniti je. Primjerice ako je cilj smanjiti količinu kolesterola u krvi potrebno je otprilike 1-8 g praha spiruline po danu, za normalni rad mišića od 2-7,5 g dnevno, dok su samo 2 g dnevno bila dovoljna da se primijete učinci kod smanjivanja glukoze u krvi. Kako bi se smanjio krvni tlak potrebno je konzumirati oko 3,5-4,5 g dnevno, a za smanjivanje koncentracije masti u jetri, da se uvide učinci, potrebno je 4 g. Daljnja istraživanja su potrebna kako bi se dodatno utvrdilo bi li ju se trebalo uzimati jedanput dnevno ili više puta po danu, ali u manjim dozama. Preporuka stručnjaka je da se ne bi smjela prekoračiti najviša navedena količina jer dosad nisu zabilježene prednosti poviše te doze (Brown, 2022). Spirulina je iznimno značajna za ekonomski siromašne krajeve pod koje ujedno i spadaju prirodna obitavališta iste. Naglasak je stavljen na hranidbu djece iz tih krajeva posebice one starosti od 6-23 mjeseca za koje su poprijeko važni vitamini i minerali te su prema već poznatim činjenicama utvrđene doze koje bi djeca gore navedene starosti trebala konzumirati kako bi zadovoljili zahtjeve svog organizma (Tablica 2) (Piccolo, 2012b).



**Slika 8.** Primjeri obroka sa spirulinom (izvor: Matufi i Choopani, 2020).

Spirulina je kao suplement zaživjela i u hranidbi životinja. Zbog već navedenih nutritivnih svojstava može s lakoćom zamijeniti riblje ili sojino brašno koja se koriste kao hranjivo za ribe, peradi, goveda i ostale domaće životinje. Na osnovu rezultata raznih testiranja zaključilo se da nema znatnih promjena kod parametara rasta u pojedinim životinja kad su hranjene obrocima koji ne obuhvaćaju spirulinu, posebice u rastu pilića (Jung i sur., 2019) i srebrne orade (*Rhabdosargus sarba*). S druge strane utvrđeno je da spirulina povećava intenzitet rasta u divovske slatkovodne kozice (*Macrobrachium rosenbergii*) kao i u morskih puževa iz roda puzlatki *Haliothis*, a istraživanje se obavilo na vrsti *Haliothis midae*. Primijetilo se da puno bolje raste kad konzumira riblje brašno u kombinaciji sa spirulinom nego kad konzumira hranu pripravljenu od sojine sačme, kazeina te od sušene makroalge naziva *Ecklonia maxima* (Ahsan i sur., 2008). Također je utvrđeno da unapređuje kvalitetu perja u peradi tako

što ga čini svjetlijim i izdržljivijim, a za to je zaslužna gama-linolenska kiselina (Jung i sur., 2019).

**Tablica 2.** Prikaz zastupljenosti određenih minerala i vitamina u vrstama roda *Arthrospira* i idealnih doza za djecu od 6 – 23 mjeseca (izvor: Piccolo, 2012b).

Vitaminski i mineralni (μg)	Potrebna dnevna doza za djecu između 6 i 23 mjeseca starosti (μg)	Sadržaj u 10g spiruline (μg)
Željezo	7 – 11	5,8 – 18
Vitamin A	300 – 500	1560 – 3780
Vitamin B1	0,2 – 0,5	0,35 – 0,5
Vitamin B2	0,4 – 0,6	0,3 – 0,5
Vitamin B3	1,5 – 8	13
Fosfor	54 – 460	67 – 90
Magnezij	54 – 85	20 – 30
Mjedi	0,2 – 0,4	0,08 – 0,1
Kalcij	270 – 525	13 – 140

### 2.2.3. Sigurnost spiruline za konzumaciju

Mnogo postojećih vrsta modrozelenih alga proizvodi toksine stoga je kritično utvrditi o kojim vrstama je riječ te pažljivo proučiti njihove morfološke karakteristike kako se ne bi koristile u ljudskoj prehrani odnosno kako ih se greškom ne zamijeni s vrstama iz roda *Arthrospira*. Kao što se već da naslutiti utvrđeno je da su ove vrste cijanobakterija veoma sigurne za konzumaciju (Ahsan i sur., 2008), tj. ne proizvode niti jednu vrstu cijanotoksina od kojih Jung i sur. (2019) u svom radu navode mikrocistine i metilamino-L-alanin. No postoji mogućnost kontaminacije spiruline drugim modrozelenim algama koje posjeduju gene za proizvodnju toksičnih tvari poput rodova *Nostoc* i *Microcystis*, a kontaminaciju mogu izazvati i teški metali i neke heterotrofne bakterije patogene prirode kao što su *Vibrio*, *Pseudomonas*, *Clostridium*, itd. Što se tiče količine ove cijanobakterije koja bi se smjela konzumirati na



dnevnoj bazi, Francuska agencija za hranu, okoliš, zdravlje i sigurnost tvrdi da ne postoje nikakvi štetni učinci po ljudsko zdravlje od unosa 10 g spiruline dnevno. Postoje istraživanja na određenim životinjskim modelima u kojim su se koristile doze veće od navedene, a rezultati nisu bili negativni. Doduše može doći do blažih nuspojava stoga je potrebno biti oprezan i ne unositi više od dozvoljenog (Maleš i sur., 2019). Nuspojave koje mogu nastati prilikom unošenja viška spiruline uključuju alergije, bolove u mišićima, glavobolju, teškoće kod spavanja i znojenje. Bitno je uzeti u obzir da do nuspojava neće doći samo u slučajevima kada se koristi višak ovog suplementa, nego pojaviti će se i kod ljudi koji mogu razviti ozbiljne alergijske reakcije odnosno anafilaksu na određene tvari koje posjeduje spirulina. Najbolji su primjer ljudi koji nemaju sposobnost obrade aminokiseline fenilalanin kod kojih su zabilježene alergijske reakcije zbog toga što spirulina sadrži fenilalanin. Također se preporučuje trudnicama izbjegavanje iste jer još nije ustanovljena sigurnost za njihovo stanje. Svakako bi se svi trebali posavjetovati sa svojim liječnicima prije nego odlučimo primjenjivati spirulinu na dnevnoj bazi (Windsor, 2022).

### 3. ZAKLJUČAK

Tema ovog završnog rada je vezana uz modrozeleno alge iz roda *Arthrospira* koje se plasiraju na tržište pod imenom spirulina kako se ne bi izazvala zabuna u potrošača budući da je prethodno na osnovu svog spiralnog oblika bila svrstana u rod *Spirulina*. Spirulina odnosno vrste iz roda *Arthrospira* se smatraju „superhranom” zbog njihovog bogatog biokemijskog sastava. Prije laboratorijskog otkrića biokemijskog sastava, neki stari narodi poput Asteka su bili svjesni dobrobiti koje dobivamo unosom. Primijetili su da konzumiranjem iste dobivaju energiju zbog čega je bila korištena od strane asteških trkača. Spirulina kao namirnica još nije dovoljno zaživjela, ali u posljednje vrijeme ljudi postaju sve svjesniji pozitivnih učinaka zdrave prehrane te se provodi sve više istraživanja o njezinom djelovanju na zdravlje što dovodi do pretpostavke da bi mogla postati popularniji izvor ishrane u bliskoj budućnosti. Zbog porasta informiranosti, potražnja za vrstama poput *A. platensis* i *A. maxima* je sve veća stoga je potrebno osigurati dovoljne količine kako bi se zadovoljile potrebe potrošača, a to se uglavnom postiže masovnom proizvodnjom u plitkim bazenima na otvorenom. Postoje brojne studije koje dokazuju da svakodnevnom upotrebom određene količine spiruline dolazi do poboljšanja brojnih zdravstvenih tegoba. Postoje i istraživanja čiji su glavni ciljevi ublažiti posljedice gladi u siromašnim zemljama koje su ujedno i prirodna staništa ovih vrsta cijanobakterija.

Zbog stalnog povećanja ljudske populacije na Zemlji te utjecaja klimatskih promjena može doći do nestašice hrane stoga bi bilo poželjno razmatrati alternativne izvore prehrane poput spiruline (rod *Arthrospira*). Navedeno bi bilo iznimno korisno provesti u državama trećeg svijeta koje se suočavaju s manjkom hrane kako bi se smanjila smrtnost djece od pothranjenosti.

## 4. LITERATURA

- Ahsan M, Habib B, Parvin M, Huntington T, Hasan M. 2008. A review of culture, production and use of Spirulina as food for humans and feeds for domestic animals and fish. FAO Fisheries and Aquaculture Circular. 1034.
- ALGORIGIN. 2022. The composition of Spirulina. Dostupno sa: <https://algorigin.com/algae/spirulina/spirulina-composition/>, pristupljeno: svibanj, 2022.
- Brown W. 2022. Spirulina. Dostupno sa: <https://examine.com/supplements/spirulina/>, pristupljeno: lipanj, 2022.
- CALS. 2022. Binary Fission and other Forms of Reproduction in Bacteria. Dostupno sa: <https://cals.cornell.edu/microbiology/research/active-research-labs/angert-lab/epulopiscium/binary-fission-and-other-forms-reproduction-bacteria>, pristupljeno: svibanj, 2022.
- Großhagauer S, Kraemer K, Somoza V. 2020. The True Value of Spirulina. Journal of Agricultural Food Chemistry. 68, 14, 4109–4115.
- Guasto A, Waliszewski W, Bolivar C. 2019. *Arthrospira platensis*.
- iNaturalist. 2015. Dostupno sa: <https://inaturalist.ca/photos/2255517>, pristupljeno: srpanj, 2022.
- Jung F, Krüger-Genge A, Waldeck P, Küpper J.-H. 2019. *Spirulina platensis*, a super food?. Journal of Cellular Biotechnology, 5: 43-54.
- Maleš Ž, Friščić M, Duka I, Mišković G. 2019. Spirulina – ljekovita cijanobakterija. Farmaceutski glasnik, 75: 261-282.
- Matufi F, Choopani A. 2020. Spirulina, food of past, present and future. Payame Noor Sveučilište u Tehranu, 20 str.
- Piccolo A. 2012a. Spirulina A Livelihood and A Business Venture. 45 str.
- Piccolo A. 2012b. Spirulina production in the ESA-IO region – The way forward. Dostupno sa: <https://www.fao.org/3/br807e/br807e.pdf>, pristupljeno: svibanj, 2022.
- Popović Perković Z. 2014. Interna skripta iz predmeta Botanika mora. Sveučilište u Splitu. 40 str.
- Sili C, Torzillo G, Vonshak A. 2012. *Arthrospira* (Spirulina). U: Whitton B. A, Ecology of Cyanobacteria II: Their Diversity in Space and Time. Springer, Nizozemska, str. 677-704.

- Sorrenti V, Augusto Castagna D, Fortinguerra S, Buriani A, Scapagnini G, Craig Willcox D. 2021. *Spirulina* Microalgae and Brain Health: A Scoping Review of Experimental and Clinical Evidence. Pregled, Sveučilište u Padovi, 12 str.
- Windsor RC. 2022. What is *Spirulina*?. Dostupno sa: <https://www.verywellhealth.com/spirulina-89079>, pristupljeno: lipanj, 2022.
- WORMS 2022a. *Spirulina nordstedtii* Gomont, 1892. Dostupno sa: <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=609524>, pristupljeno svibanj, 2022.
- WORMS. 2022b. *Arthrospira platensis* Gomont, 1892. Dostupno sa: <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=213728>, pristupljeno: svibanj, 2022.