ŠIRENJE INVAZIVNE CIJANOBAKTERIJE CYLINDROSPERMOPSIS RACIBORSKII U HRVATSKOJ I SVIJETU

Školka, Anastazija

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of biology / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za biologiju**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:181:659193

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

Repository of Department of biology, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
ODJEL ZA BIOLOGIJU
Preddiplomski studij biologije

Anastazija Školka

Širenje invazivne cijanobakterije *Cylindrospermopsis raciborskii* u Hrvatskoj i svijetu

Završni rad

Mentor: Doc. dr. sc. Filip Stević

Osijek, 2015. godina

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u OsijekuOdjel za biologiju
Završni rad
Preddiplomski studij biologije

Znanstveno područje: Prirodne znanosti
Znanstveno polje: Biologija

Širenje invazivne cijanobakterije *Cylindrospermopsis raciborskii* u Hrvatskoj i svijetu

Anastazija Školka

Rad je izrađen: Zavod za ekologiju voda
Mentor: Doc. dr. sc. Filip Stević

Sažetak: Cijanobakterija *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszińska) Seenaya et Subba Raju je tropska vrsta koja se brzo širi slatkovodnim vodama umjerenih područja. U 20. je stoljeću prepoznata kao invazivna vrsta. *C. raciborskii* prvi je put nađena na otoku Javi u Indoneziji, a zatim se ova vrsta pojavila diljem svijeta. Prvo izvješće u Europi zabilježeno je u jezeru Kastoria, a najsjevernije je ova vrsta zabilježena u sjevernoj Njemačkoj. U Hrvatskoj je *C. raciborskii* nađena u ljeto 2003. godine. Zbog sve većeg širenja i njene toksičnosti, pojavio se velik broj istraživanja koji pokušava objasniti podrijetlo i puteve širenja vrste *C. raciborskii*.

Broj stranica: 25
Broj slika: 5
Broj literaturnih navoda: 96
Jezik izvornika: hrvatski

Ključne riječi: tropska vrsta, toksičnost, promjena klime, distribucija

Rad je pohranjen u: knjižnici Odjela za biologiju Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku i u Nacionalnoj sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu, u elektroničkom obliku, te je objavljen na web stranici Odjela za biologiju

BASIC DOCUMENTATION CARD
Josip Juraj Strossmayer University of Osijek Bachelor's thesis Department of Biology
Undergraduate studies in Biology

Scientific Area: Natural science
Scientific Field: Biology

The spread of invasive cyanobacteria *Cylindrospermopsis raciborskii* in Croatia and worldwide

Anastazija Školka

Thesis performed at Subdepartment of Water Ecology
Supervisor: Filip Stević, Assistant Professor

Abstract: Cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszińska) Seenaya et Subba Raju is a tropical species that is rapidly expanding in freshwaters of temperate areas. In the 20th century it is recognized as an invasive species. *C. raciborskii* was found for the first time on the Java island in Indonesia, and then this species occured throughout the world. First report in Europe was recorded in Lake Kastoria, whereas for the northest point it was recorded in northern Germany. In Croatia, *C. raciborskii* was found in the summer of 2003. Due to it's increasing spread and toxicity, there is a large number of studies that attempt to explain the origin and pathways of the spread of *C. raciborskii*.

Number of pages:25
Number of figures: 5
Number of references: 96
Original in: Croatian

Keywords: tropical species, toxicity, climate change, distribution

Thesis deposited in: Library of Department of Biology, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek and in National university library in Zagreb in elektronic form. It is also available on the web site of Department of Biology, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek

Sadržaj

1. UVOD 1
2. OSNOVNI DIO 2
2.1. Taksonomska pripadnost i morfološki opis vrste *Cylindrospermopsis raciborskii* 2
2.2. Okolišni čimbenici pogodni za rast i razvoj vrste *C. raciborskii* 5
2.3. Toksičnost 6
2.4. Invazivan utjecaj 8
2.5. Geografska distribucija 9
2.6. Širenje invazivne vrste *Cylindrospermopsis raciborskii* 11
3. ZAKLJUČAK 14
4. LITERATURA 15

1. UVOD

Cijanobakterije su bakterije koje svoju energiju dobivaju fotosintezom. One su jedne od najuspješnijih vodenih primarnih producenata (Des Marais, 2000) koje su naselile Zemlju prije više od 2.8 milijardi godina (Schopf i Packer, 1987). Cijanobakterije su prokariotski tip organizama te se mogu smatrati jednostavnima u pogledu njihove stanične strukture (Newcombe i sur., 2010). Prema endosimbiotičkoj teoriji, kloroplasti koje danas nalazimo u biljkama i eukaritskim algama, evoluirali su od cijanobakterijskih predaka putem endosimbioze.

Cijanobakterije su mikroskopski fotosintetski organizmi vodenih ekoloških sustava (Van den Hoek i sur., 1995). Naseljavaju različita staništa (Papke i sur., 2003), a pojavljuju se u različitim veličinama i oblicima - pojedinačne stanice koje slobodno plutaju u vodenom stupcu, kolonijalni organizmi ili filamenti (Whitton i Potts, 2000). Cijanobakterije se mogu masovno razmnožavati i izazvati tzv. „cvjetanje vode“ što značajno utječe na kvalitetu vode te neke od vrsta koje tvore cvjetanja stvaraju snažne cijanotoksine koji mogu imati štetne učinke na zdravlje biljaka i životinja (Carmichael i sur., 1988). Do sada je poznato oko 150 rodova cijanobakterija, a od kojih su 40 toksični (Saker i sur., 1999a).

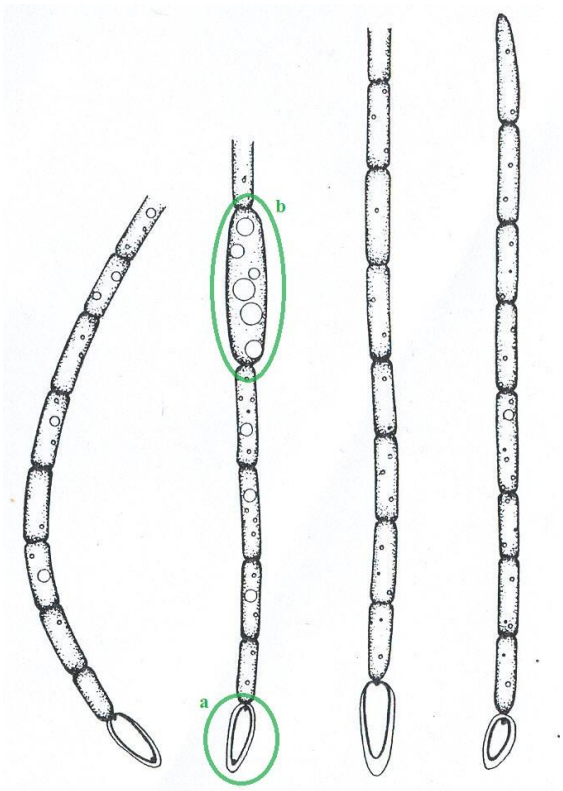
Rod *Cylindrospermopsis* pripada skupini cijanobakterija i to redu Nostocales. Do sada je poznato dvanaest vrsta roda *Cylindrospermopsis* i većina njih ograničena je na tropska područja (Komárek i Kling, 1991): *C. cuspis* Komárek i Kling, *C. africana* Komárek i Kling, *C. helicoidea* Cronberg i Komárek, *C. allantoidispora* Komárek, *C. curvispora* Watanabe, *C. catemaco* Komárková-Legnerová i R. Tavera, *C. gangetica* (Nair) Komárek, *C. philippinensis* (Taylor) Komárek, *C. taverae* Komárek i Komárková-Legnerová, *C. raciborskii* (Woloszynska) Seenayya i Subba Raju, *C. acuminatocrispa* Couté i Bouvy i *C. sinuosa* Couté, Leitao i Sarmento. Od svih vrsta iz roda *Cylindrospermopsis* najviše je rasprostranjen *C. raciborskii* (Saker i Neilan, 2001).

2. OSNOVNI DIO

2.1. Taksonomska pripadnost i morfološki opis vrste *Cylindrospermopsis raciborskii*

Vrsta *Cylindrospermopsis raciborskii* prvotno je opisana kao *Anabaena raciborskii* (Woloszynska, 1912). Za vrste s terminalnim heterocitama utvrđen je rod *Anabenopsis* (Miller, 1923), a nakon toga *Anabaena raciborskii* premještena je i preimenovana u *Anabaenopsis raciborskii* (Woloszynska) Elenkin (Elenkin, 1923). Budući da se heterocite ove vrste razvijaju u potpuno drukčijem smjeru od vrsta iz roda *Anabenopsis*, rod *Cylindrospermopsis* je izdvojen kao zaseban rod (Seenayya i Subba Raju, 1972). Naziv *Cylindrospermopsis raciborskii* zadržao se sve do danas (Dvorak i Hasler, 2007).

*Cylindrospermopsis raciborskii*je nitasta cijanobakterija s plinskim vakuolama, koja može migrirati u dublje slojeve vode (Shafik, 2003). Trihomi su cilindrični i sužavaju se na krajevima. Stanice su cilindrične do lagano bačvaste, a njihova veličina je promjenjiva. Na terminalnom kraju razvijaju se specijalizirane stanice, heterocite i akinete (Slika 1). Heterocite imaju oblik kapljice, sa zaobljeno zašiljenim krajevima stanice, a akinete su cilindrično ovalne stanice (Komárek i Komárková, 2003).



Slika 1. Vrsta *C. raciborskii* (Padisák, 1991);
na slici su označene a. heterocita i b. akineta

Varijabilnost morfoloških tipova uobičajena je kod mnogih cijanobakterija, ali posebno kod *C. raciborskii* (McGregor i Fabbro, 2000). Postoje dva glavna morfološka tipa - ravni (Slika 2a) i savijeni (Slika 2b) trihom (McGregor i Fabbro, 2000; Sakeretal., 1999b). Sa svakim oblikom dolazi i velika raznolikost u veličini i broju stanica koje čine trihom (McGregor i Fabbro, 2000). Ravni trihom je uglavnom duži i proizvodi više toksina po stanici (Jones i Sauter, 2005). Rijetko imaju akinete i često narastu bez heterocite (St. Amand, 2002a). Istraživanja su pokazala da su ravni morfološki tipovi brojniji, ali savijeni trihomi povećavaju svoju brojnost za vrijeme ili neposredno poslije masovnog razvoja ravnih trihoma (Saker i Griffiths, 2001).



Slika 2a. Morfološki oblik vrste *C. raciborskii* - ravni trihom (izvor - web 1)



Slika 2b. Morfološki oblik vrste *C. raciborskii* - savijeni trihom(izvor - web 2)

Varijacije unutar i između oblika ovise o genetičkim i okolišnim promjenama (Hawkins i sur., 1997; Neilan i sur., 2003). Neovisno o prisutnosti dva različita morfološka oblika, genetička analiza pokazala je da pripadaju istoj vrsti što potvrđuje da je genetička analiza precizan način identificiranja *C. raciborskii* (Wilson i sur., 2000). Savijeni trihom raste brže od ravnog oblika na višim temperaturama te nižem intenzitetu svijetla (Saker i sur., 1999b). S obzirom na različite izvore dušika pronađena je značajna razlika u morfologiji trihoma (Sakeri Neilan, 2001), a također je utvrđeno da o okolišnim uvjetima ovisi i produkcija heterocita (Chiswell i sur., 1997).

Vrstu je vrlo teško identificirati zbog mnogo sličnosti između različitih vrsta roda *Cylindrospermopsis*, ali i drugih cijanobakterija koje imaju sličnosti s ovom vrstom (Hawkins i sur., 1997). Vrsta se često može pogrešno determinirati kao *Anabaenopsis*, *Raphidiopsis* i *Cylindrospermum* (Hawkins i sur., 1997). Problem u determinaciji je taj što morfologija trihoma varira za vrijeme rasta populacije, a u ekstremnim slučajevima i heterocite i akinete nedostaju (Padisák, 1997).

C. raciborskii izrazito je male veličine u usporedbi s ostalim algama. Trihomi su široki svega 2-3 μm (St. Amand, 2002a), a duljina se jako razlikuje čak od 10 do 120 μm dužine (Briand i sur., 2002). Duljina stanica varira od 3 do 10 μm, a ta razlika u veličini stanica dobro je poznata osobina uobičajena kod prirodnih populacija vrste *C. raciborskii* (Hawkins i sur., 2001). U umjetnim kulturama se dužina trihoma smanjuje kako se povećava gustoća stanica što je vjerojatno adaptacija ove vrste kako bi se smanjilo zaplitanje ili kako bi se trihomi mogli slobodno kretati u vodenom stupcu u svrhu zauzimanja boljeg položaja u odnosu na svijetlost (Hawkins i sur., 2001). Ove prilagodbe objašnjavaju zašto kod *C. raciborskii* ne dolazi do masovnog razvoja, odnosno cvjetanja, na površini vode (Saker i Griffiths, 2001). Na primjer, zaplitanje trihoma uzrokuje masovan razvoj u površinskim slojevima vode kod rodova *Anabaena* i *Microcystis* (Hawkins i sur., 2001). Upravo to što kod *C. raciborskii* ne dolazi do cvjetanja u površinskim slojevima, čini ju vrlo specifičnom vrstom cijanobakterije jer se ona razvija dva do tri metra ispod površine (Saker i Griffiths, 2001). To također uvelike otežava detekciju masovnog razvoja vrste (Jones i Sauter, 2005). Isto tako, ova vrsta ne producira spojeve koji uzrokuju promjene okusa i mirisa vode, a najčešće su povezani s masovnim razvojem alga (Chiswell i sur., 1997).

2.2. Okolišni čimbenici pogodni za rast i razvoj vrste *C. raciborskii*

Ekološki uspjeh *C. raciborskii* vjerojatno je povezan sa sposobnošću da podnosi širok spektar klimatskih uvjeta (Berger, 2006). Vrsta *C. raciborskii* masovno se razvija u toplim vodama pri temperaturama od 20 do 35 °C (Briand i sur., 2004). Ipak, zabilježen je i razvoju vodama pri nižim temperaturama od 15 do 18 °C (Dokulil i Mayer, 1996). Vrsti *C. raciborskii* pogoduje pH vrijednost od 8 do 8.7 (Padisak, 1997), što znači da obitava u lužnatim vodama. Ne pojavljuje se u kiselim vodama, kao niti druge vrste cijanobakterija (Fogg i sur.,1973). Za cvjetanje *C. raciborskii* potrebna je manja količina svijetla, premda vrsta podnosi i veću količinu svjetlosti (Briand i sur., 2004). Samim time što se razvija pri manjoj količini svjetlosti u prednosti je pred ostalim vrstama, kojima je potrebna veća količina svijetla (Padisak i Reynolds, 1998). Pogodni ekološki uvjeti za razvoj vrste *C. raciborskii* razlikuju se za vode tropskog područja u odnosu prema vodama umjerenog područja (Padisak, 1997). Općenito, vrsti *C. raciborskii* pogoduju razni okolišni uvjeti zbog čega je teško predvidjeti njenu pojavu ili proliferaciju (Briand i sur., 2002).

U tropskim i subtropskim vodama *C. raciborskii* rijetko stvara akinete ili ih uopće ne stvara (Padisak, 2003). Akinetesu stanice s debelom stijenkom, slične su sjemenkama ili sporama (Fogg i sur., 1973) (Slika 1b), a razvijaju se samo na jednom kraju trihoma (Komarek i Komarkova, 2003). Mogu preživjeti godinama u nepovoljnim ekološkim uvjetima i tako osigurati ponovni razvoj u povoljnim uvjetima germinacijom akineta (Baker, 1999).

Temperaturni optimum za germinacijuakineta je manji nego za ostale cijanobakterije, a kreće se u rasponu od 22 do 23,5 °C (Padisak, 1997). Stoga se *C. raciborskii* pojavljuje u umjerenom području u kasnom ljetu, a hladnije temperature zraka i vode tijekom ljeta mogu spriječiti germinaciju akineta i razvoj vrste(Padisak, 1997). Vrstuje vrlo teško determinirati, ako nisu prisutne heterocite i akinete (Shafik i sur., 2003).

C. raciborskii je manje „ovisna“ o količini nutrijenata nego druge vrste cijanobakterija, jer cvjeta u vrijeme kada je većina nutrijenata već iskorištena (Bouvey i sur., 2000). Kretanjem unutar stupca vode vrsta si optimizira količinu nutrijenata koji su joj potrebni za razvoj (Padisak, 1997).

C. raciborskii ima visoki afinitet i kapacitet za pohranu fosfora te joj je na taj način omogućeno asimiliranje fosfora i onda kada je fosfor prisutan u maloj količini (Istvánovics i sur., 2000). Nasuprot drugim vrstama, vrsta *C. raciborskii* tolerira širok raspon koncentracije

fosfora (Sinha i sur., 2012). Zabilježena je dominacija ove vrste u vodama koje sadrže fosfor ispod mjerljive granične vrijednosti (Burford i sur., 2006). Laboratorijska istraživanja su pokazala kako osim anorganskih *C. raciborskii* može asimilirati i organske izvore fosfora, čime se proširuje mogućnost uporabe fosfora (Posselt i sur., 2009).

Kao i mnoge cijanobakterije, vrsta *C. raciborskii* ima specijalizirane stanice - heterocite (Slika 1a). Heterocite nastaju taloženjem polisaharidnih slojeva koji izoliraju stanicu od okoline i omogućuju aktivnost kompleksa enzima koji je odgovoran za redukciju molekule dušika do amonijaka (Meeks i Elhai, 2002). Te im stanice omogućavaju fiksaciju i korištenje atmosferskog dušika te ove cijanobakterije mogu preživjeti i u uvjetima niske koncentracije dušika. Heterocite se razvijaju samo u uvjetima niske koncentracije dušika (Padisak, 1997). Ipak, vrsta *C. raciborskii* nije u potpunosti ovisna o fiksaciji dušika, zbog njenog preferiranja amonijaka kao izvora dušika. Poznato je da i u uvjetima niske koncentracije dušika ova vrsta razvija samo nekoliko heterocita, upravo zbog toga što *C. raciborskii* kao izvor dušika radije koristi amonijak (Briand i sur., 2002). *C. raciborskii* raste većom brzinom u prisutnosti amonijaka i nitrata nego u uvjetima fiksacije i korištenja atmosferskog dušika (Griffiths i Saker, 2003; Hawkins i sur., 2001; Saker i Neilan 2001; Shafik i sur., 2001).

2.3. Toksičnost

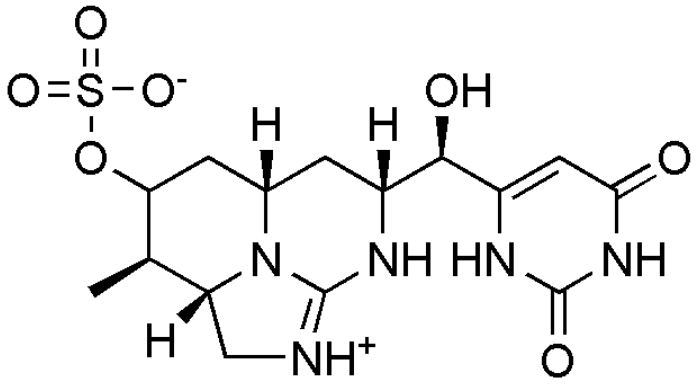
Tijekom prošlog desetljeća, sve veći broj studija istražuje ekološke i toksikološke karakteristike cijanobakterije *C. raciborskii* (Berger, 2006). Velik broj istraživanja pojavljuje se iz dva razloga: prvi je razlog to što se ova vrsta sve više širi u različite vodene ekološke sustave (Padisák, 1997; Briand i sur., 2004), a drugi, zabrinjavajući razlog, bi bio to što je u stanju proizvesti širok spektar toksina (Bernard i sur., 2003). Osim ova dva razloga zabrinjavajuće je i to što je vrsta *C. raciborskii* sposobna izazvati značajne promjene u strukturi ostalih dijelova planktona (Bouvy i sur., 2001; Leonard i Paerl, 2005).

Vrsta *C. raciborskii* može proizvesti širok spektar toksina, kao što je cilindrospermopsin (CYN, hepatotoksični ciklički peptid) u Australiji (McGregor i Fabbro, 2000), Americi (Carmichael, 2002) i Aziji (Chonudomkul i sur., 2004), saksitoksina (neurotoksični alkaloid) u Južnoj Americi (Pomati i sur., 2004), neidentificiranog hepatotoksinau Europi (Bernard i sur., 2003; Fastner i sur., 2003). Osim zabilježenog

masovnog razvoja s produkcijom toksina, zabilježeno je i veliko „cvjetanje“ bez produkcije toksina (Stucken Marin, 2010).

Toksičnost *C. raciborskii* je prvi put zabilježena u Queenslandu u Australiji 1979. godine (Hawkins i sur., 1985). Tada je zabilježeno masovno trovanje ljudi (Hawkins i sur., 1997), nakon što je glavni dovod vode bio tretiran bakrovim sulfatom u svrhu kontrole „cvjetanja“ alga (Jones i Sauter, 2005). Bakrov sulfat uzrokovao je smrt i razgradnju stanica, čime se oslobodio toksin u vodu, što je izazvalo trovanje (Bourke i sur., 1983). Epidemija je pogodila 149 ljudi, a uglavnom su oboljela djeca (Hawkins i sur., 1997). Epidemiološka istraživanja pokazala su prisutnost do tada neutvrđenih vrsta u Australiji, cijanobakterije *C. raciborskii* (Griffiths i Saker, 2003). Daljnja istraživanja pokazala su da su kultivirani izolati *C. raciborskii* iz tih voda vrlo otrovni (Hawkins i sur., 1985), a spoj koji je produciran okarakteriziran je kao CYN, vrlo jak hepatotoksin (Ohtani sur., 1992).

Cilindrospermopsin je toksični alkaloid koji proizvodi nekoliko rodova slatkovodnih cijanobakterija, kao i vrsta *C. raciborskii* (Griffiths i Saker, 2003) (Slika 3). Upravo zbog proizvodnje cilindrospermopsina *C. raciborskii* je dobio status vrlo štetne vrste (Antunes i sur., 2015). Do sada sojevi *C. raciborskii* koji proizvode CYN pronađeni su samo u Australiji (Hawkins i sur., 1985), Novom Zelandu (Wood i Stirling, 2003), te Istočnoj i Jugoistočnoj Aziji (Chonudomkul i sur., 2004; Lei i sur., 2014). Poznato je da CYN proizvode i ostale vrste cijanobakterija: *Raphidiopsis curvata* Fritsch i Rich, *Aphanizomenon ovalisporum* Forti, *Aphanizomenon flos-aquae* (Ralfs) Bornet i Flahault, *Umezakia natans* Watanabe, *Anabaena bergii* Ostenfeldi *Anabaena lapponica* Borge (Antunes i sur., 2015).



Slika 3. Struktura cilindrospermopsina, CYN (izvor – web 3)

Morfološki dokazi i biogeografske usporedbe pokazale su da je moguće da je vrsta *C. raciborskii* porijeklom s afričkog kontinenta (Padisák, 1997), a nedavni genetski podaci pokazuju bliski odnos između senegalskog *C. raciborskii* izolata te toksičnih australskih sojeva (Gugger i sur., 2005b). Međutim, dinamika i toksičnost cijanobakterije u afričkim slatkovodnim vodama od osobite su važnosti, jer je slatkovodna voda oskudan resurs, a razvoj toksičnih cijanobakterija mogao bi ograničiti njenu uporabu (Berger, 2006). Na primjer, ova toksična cijanobakterija pojavila se u jezeru Guiers, a ono predstavlja najveći rezervoar slatkovodne vode u Senegalu, koji opskrbljuje pitkom vodom grad Dakar te brojna okolna sela (Berger, 2006).

2.4. Invazivan utjecaj

Sve veći broj izvješća smjestio je *C. raciborskii* u tropske, suptropske i umjerene klime te na sve kontinente osim Antarktike (Antunes i sur., 2015). U 20. je stoljeću, ova tropska do suptropska cijanobakterija koja se brzo širi u umjerenom području, prepoznata kao invazivna vrsta. Pretpostavlja se da je u Europi vrsta kolonizirala iz Grčke i Mađarske prema višim geografskim širinama, pri kraju dvadesetog stoljeća (Padisák, 1997). Do danas, o prisutnosti *C. raciborskii* izvješteno je u sve većem broju zemalja diljem svijeta. Vrstu nalazimo i u sjevernoj i u južnoj polutci. Ova cijanobakterija naseljava širok spektar različitih staništa te ju tako nalazimo u rijekama, plitkim vodama, jezerima i rezervoarima (Antunes i sur., 2015). Prema tome, status ove vrste kao tropske ili pantropske vrste se osporava, a zbog globalne raspodjele smatra se kozmopolitskom vrstom (Padisák, 1997).

Povećanje kolonizacije vrste *C. raciborskii* u srednjim geografskim širinama mogao bi biti rezultat globalnog zatopljenja, koji cijanobakteriji pruža povoljnije uvjete okoliša za njen rast (Briand i sur., 2004). Međutim, višegodišnje cvjetanje zabilježeno je samo u tropskim područjima (Bouvy i sur., 2001), dok u subtropskim i umjerenim područjima ova vrsta pokazuje sezonsku dinamiku (Mc Gregor i Fabbro, 2000).

Donedavno vrsta *C. raciborskii* smatrana je tropskom vrstom zbog njenog afiniteta prema toplijim vodama temperature od 25 do 30°C, ali tolerancija vrste na razne temperature mogla je olakšati njenu imigraciju na više umjerena područja (Jones i Sauter, 2005). Smatra se da se područje rasprostranjenja moglo proširiti prijenosom akineta preko migracijskih ptica ili uvoza tropskih riba (Padisák, 1997). Također, mogući vektori širenja su neprikladan

prijenos znanstvenih uzoraka, akvariji, komercijalni brodovi balastnih voda te nehotičan prijevoz ljudi u rekreacijskim čamcima (Atkinson, 1972, 1980).

Cvjetanje cijanobakterije *C. raciborskii* dovodi do negativnih posljedica, kao što su smanjena koncentracija kisika i smanjena prozirnost vode zbog tamno zelene boje ispod površinskog sloja (Jonas i Sauter, 2005). Također, negativna posljedica je pomor ribe zbog produkcije toksina (Chellappa i sur., 2008) što onda utječe na smanjenje biološke raznolikosti (Dobberfuhl, 2003). Masovan razvoj ove vrste može dovesti i do uspostave relativnog stacionarnog stanja (Mihaljević i sur., 2011).

2.5. Geografska distribucija

Cylindrospermopsis raciborskii prvi je put zabilježen na otoku Javi, Indonezija u 1899.- 1900. godini, a vrstu je odredila Woloszynska (Woloszynska, 1912). Nakon toga pronađena je na još mnogo lokaliteta na Istočnoj-, Središnjoj- i Zapadnoj Javi te na Baliju (Geitler i Ruttner, 1936). Geitler i Ruttner (1936) klasificirali su *C. raciborskii* kao jednu od nekoliko vrsta koje se isključivo pojavljuju u tropskim vodama. Ova vrsta javlja se i 1979.- 1980. godine na otoku Šri Lanka (Rott, 1983).

Prvi podatak o pojavi *C. raciborskii* u Indiji je iz 1939. godine (Singh, 1962), a nakon toga istraživači su ovu vrstu pronašli na još mnogo lokaliteta u Indiji (Padisák, 1997). *C. raciborskii* pronađena je u Kini u Xi-hu (Ilec 1995) te na dva lokaliteta na Filipinima (Komárek 1984).

Ussatshev (Ussatshev, 1938) pronašao je jedan filament vrste *C. raciborskii* u sjevernom Kaspijskom moru, a 1949. godine pronađeno ih je mnogo u jezeru Mordovinko (Padisák, 1997). Vrsta je pronađena u jezeru Akkul u sjevernom Kazakstanu (Obuchova i Kozenko, 1964), ribnjaku u Uzbekistanu (Sakshena, 1965) te 1965. godine u Gruziji (Padisák, 1997). *C. raciborskii* pronađen je i u sjevernijim područjima te je tako prvi put zabilježen 1958. u Dunavu. Također je ponovno pronađen u Kaspijskom moru u blizini ušća rijeke Volge (Padisák, 1997). Na Bliskom istoku vrsta je prvi puta opisana u jednom izraelskom jezeru 1998. godine (Zohary, 2004).

Prvo izvješće o *C. raciborskii* u Europi zabilježeno je u jezeru Kastoria u Grčkoj (Skuja, 1937), a to je ujedno i jedino pouzdano izvješće prije sedamdesetih godina u Europi. Nakon toga vrsta je pronađena između 1975. i 1980. u Mađarskoj u jezeru Szelidi, rijeci Tisi i

jezeru Balaton (Padisák, 1997). *C. raciborskii* pronađen je također u Slovačkoj te južnoj Moraviji u Češkoj (Horecka i Komarek, 1979; Hindák, 1988) i jezeru Alte Donau u Austriji (Dokulil i Janauer, 1995). Najsjevernije je ova vrsta zabilježena na 53-54° sjeverne geografske širine u jezeru Lieps u sjevernoj Njemačkoj 1990. godine (Padisák, 1997). *C. raciborskii* nađena je u rijeci Seine u kolovozu 2001. u Francuskoj. Cijanobakterija je ranije opažena u ribnjaku blizu Pariza, ali je 2001. prvi puta nađena u lotičkom sustavu Francuske (Druart i Briand, 2002). U Europi je još pronađena u Španjolskoj (Romo i Miracle, 1994), Portugalu (Neilan i sur., 2003), Poljskoj (Kokocinski i sur., 2010) te Italiji (Messineo i sur., 2010).

Cylindrospermopsis raciborskii (Woloszińska) Seenaya et Subba Raju je invazivna i toksična vrsta koja se brzo širi slatkovodnim vodama te je tako naselila i naše krajeve. Masovan razvoj *C. raciborskii* utvrđen je u Parku prirode Kopački rit na sjeveroistoku Hrvatske u Sakadaškom jezeru u ljeto 2003. godine (Mihaljević i Stević, 2011). Nešto kasnije ova vrsta zabilježena je i u Srbiji, prvi nalaz ove vrste pronađen je u blizini mjesta Opovo u ribnjaku Slatina u srpnju 2006. godine (Cvijan i Fužinato, 2011).

C. raciborskii u Sjevernoj Americi prvi puta je pronađen 1955. godine u Kansasu u jezeru Wooster, a nakon toga dugo još nije zabilježena pojava ove cijanobakterije. U razdoblju od 1966. i 1969. pronađena je u osam malih, međusobno bliskih jezera, u Minnesoti. Ova vrlo invazivna cijanobakterija nešto kasnije pojavila se u Texasu (Padisák, 1997), sredinom osamdesetih godina prisutna je i u mnogobrojnim slatkovodnim ekološkim sustavima u Floridi (Chapman i Schelske, 1997), a pojavila se i u malom jezeru Asmolapan u blizini Meksika (Komárková-Legnerová i Travera, 1996). Nakon nekoliko godina *C. raciborskii* pronađen je u saveznoj državi Indiani, a u kolovozu 2001. za vrijeme rutinskog uzorkovanja u jezeru Ball Lake, u okrugu Steuben (Jones i Sauter, 2005).

Tijekom šezdesetih godina *C. raciborskii* pronađena je na nekim lokalitetima na Kubi (Komárek, 1984), kasnih šezdesetih pojavila se i u Brazilu. Tijekom sedamdesetih godina nađena je u Venezueli u jezeru Valencia (Padisák, 1997) te u dva jezera u državi Nikaragvi, jezeru Xolotlán (Hooker i sur., 1991) i jezeru Masaja (Hooker i sur., 1993). Padisák (Padisák, 1997) spominje i njeno pojavljivanje u području rijeke Amazone. *C. raciborskii* je 2004. godine prvi put nađena u jezerima u Urugvaju (34º53'S), što je ujedno i njena najjužnija zabilježena pojava u Americi (Vidal i Kruk, 2008).

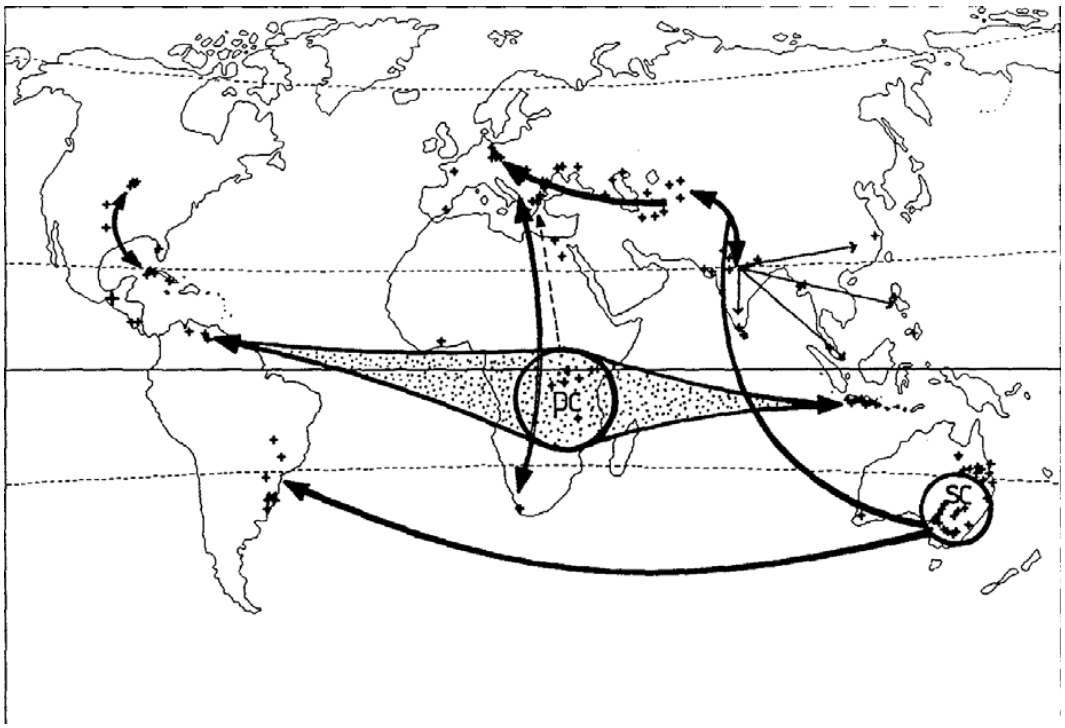
U Africi je zabilježeno da je vrsta *Cylindrospermum kaufmannii* (Schmidle) Huber-Pestalozzi u lipnju svake godine na kraju 19. stoljeća „bojila“ vodu Nila (Padisák, 1997), a vrstu je opisao Huber-Pestalozzi (Huber-Pestalozzi, 1938). Jeeji-Bai i sur. (Jeeji-Bai i sur., 1977) došli su do zaključka da je *C. kaufmannii* vjerojatno *Anabaenopsis raciborskii* što je prof. Komárek i potvrdio te je onda najraniji podatak o pojavi *Cylindrospermopsis raciborskii* u svijetu upravo taj s rijeke Nil. *C. raciborskii* uključena je na popis tropskih Zapadnoafričkih algi, a nešto kasnije je zabilježena i pojava u Nigeriji (Padisák, 1997). Nakon toga vrsta se pojavila u jezerima Naivasha i Oloiden u Keniji (Kalff i Watson, 1986), jezeru Kariba (Ramberg, 1984), jezeru Victoria (Komárek i Kling, 1991) te sjevernoj Africi u slatkovodnom jezeru Zeekoevlei (Harding, 1996). Ova toksična cijanobakterija pojavila se također i u jezeru Guiers, koje je jedno od najvećih jezera u zapadnoj Africi (Bouvy, 2006). Jezero Guiers predstavlja najveći rezervoar slatkovodne vode u Senegalu te opskrbljuje pitkom vodom glavni grad Dakar kao i brojna okolna sela (Berger, 2006).

Prvi dokaz o pojavi *C. raciborskii* u Australiji pojavio se 1979. godine (Hawkins i sur. 1985). Kao što je spomenuto, došlo je do masovnog trovanja ljudi u studenom 1979. godine u Palm Islandu, u Queenslandu (Jones i Sauter, 2005). Nadalje, na Novom Zelandu prva potvrđena determinacija vrste *C. raciborskii* bila je u ožujku 2003. godine u jezeru Waahi (Wood i Stirling, 2003). Prije toga bilo je nekih naznaka o pojavi ove vrste, ali nijednom nije bila sa sigurnošću determinirana (Ryan i sur., 2005).

2.6. Širenje invazivne vrste *Cylindrospermopsis raciborskii*

Različite hipoteze pokušale su objasniti podrijetlo i puteve širenja vrste *C. raciborskii*. Po Padisák (Padisák, 1997) primarna je točka širenja vrste u tropskim jezerima Afrike, s daljnjim širenjem na druga ekvatorijalna područja kao što su Indonezija i Srednja Amerika. Sekundarna točka širenja po prof. Padisák nalazi se u Australiji, s obzirom na disperziju u tropskim, suptropskim i umjerenim regijama (Slika 4). Njeni zaključci bazirani su na epidemiološkim i hidrološkim podatcima te na fiziološkim karakteristikama vrste (Antunes i sur., 2015). Različita klima na australskom kontinentu pogodovala je razvijanju tolerancije na zasjenjenost i slanost, što je vrlo bitno za širenje u umjerenim područjima. Disperzija prema umjerenim klimama iz Australije je mogla imati dvije rute. Jednu oceansku, preko Tihog oceana i nadalje prema Sjevernoj i Južnoj Americi, te kontinentalnu rutu koja vodi do središnje Azije, a zatim do Europe (Padisák, 1997). Različiti mehanizmi mogu objasniti

interkontinentalno raspršivanje ove vrste - ptice selice mogu prenijeti akinete na svojim nogama i u crijevima, a uvezene tropske ribe mogu u sebi nositi vegetativni oblik *C. raciborskii* (Atkinson, 1972). Ono što ide u prilog hipotezi iz 1997. godine je to da genetski podaci dokazuju veliku genetsku sličnost između europskih i australskih sojeva, što pokazuje na put od australazijskog područja prema Europi (Neilan i sur., 2003).



Slika 4. Mogući putevi širenja vrste *C. raciborskii* te njegova primarna i sekundarna točka širenja (Preuzeto: Padisak, 1997)

Gugger i sur. (2005) proveli su genetsko istraživanje vrste *C. raciborskii* sa sojevima iz Afrike, Amerike, Australije i Europe. Rezultati njihovog istraživanja pokazuju kako invazija umjerenih područja nije nastala kolonizacijom iz Afrike i Australije. Oni pretpostavljaju kako je došlo do izumiranja vrste na različitim kontinentima, osim u određenim toplijim područjima, zahvaljujući ekstremnim klimatskim uvjetima za vrijeme pleistocena. Nakon pleistocena, nedavno klimatsko zatopljenje izazvalo je progresivno širenje iz tih tropskih na više sjevernija područja u Europi i Americi.

Haande i sur. (2008) predložili su hipotezu relativno nedavnog širenja roda *Cylindrospermopsis* preko Amerike i Europe iz toplijih područja zajedno s kolonizacijom

Australije pomoću afričkih sojeva. Nadalje, Atkinson (1972, 1980) predlaže put migriranja sojeva *C. raciborskii* preko oceana iz Amerike u Europu prijevozom akineta ili trihoma.

Najnoviji rezultati upućuju na alternativno podrijetlo vrste *C. raciborskii* sa sjedištem u tropskim područjima američkog kontinenta. Od izvornog mjesta širenja u Americi, predlaže se put širenja prema Africi tijekom spajanja kontinenata, što ne bi bilo moguće interkontinentalnim širenjem ove slatkovodne vrste. Nakon migracije, širenje se nastavilo prema azijskom i australskom kontinentu te na kraju prema Europi. Ova hipoteza temelji se na genetskoj sličnosti između europskih te azijskih i australskih izolata i na činjenici da se američki sojevi najviše razlikuju, što sugerira na to da su se ostali sojevi kasnije pojavili u evoluciji ove vrste (Moreira i sur., 2015).

3. ZAKLJUČAK

Cylindrospermopsis raciborskii je tropska do subtropska vrsta koja se vrlo brzo širi u umjerenim područjima te je prepoznata kao invazivna vrsta, a smatra se kozmopolitskom vrstom. Vrsti *C. raciborskii* pogoduje širok spektar okolišnih uvjeta zbog čega je gotovo nemoguće predvidjeti njenu pojavu ili proliferaciju. Temperatura vode i koncentracija amonijevih iona prepoznati su kao najvažniji čimbenici potrebni za rast i razvoj ove vrste.

Vrsta *C. raciborskii* zabilježena je u tropskim, subtropskim i umjerenim područjima, kao i na svim kontinentima, osim Antartike. Nalazimo ju kako na južnim, tako i na sjevernim geografskim širinama. Nađena je u različitim temperaturnim uvjetima te različitim uvjetima hranjivih tvari, zbog čega se zaključuje da je njena pojava neovisna o bilo kakvim okolišnim čimbenicima. Smatra se kako se zbog klimatskih promjena ova nekadašnja tropska vrsta proširila i u naše krajeve preko Grčke i Mađarske.

Sve veći broj studija istražuje ekološke i toksikološke karakteristike ove cijanobakterije: zbog njenog širenja u različite vodene ekološke sustave, zbog proizvodnje širokog spektra toksina i zbog toga što izaziva značajne promjene u strukturi planktona. Različite hipoteze pokušavaju objasniti podrijetlo i puteve širenja *C. raciborskii*, kako bi se u budućnosti širenje moglo predvidjeti i u skladu s tim djelovati, no potrebna su daljnja istraživanja.

4. LITERATURA

Antunes, J. T., Leão, P. N., & Vasconcelos, V. M. 2015. *Cylindrospermopsis raciborskii*: review of the distribution, phylogeography, and ecophysiology of a global invasive species. *Frontiers in Microbiology*, 6: 473.

Atkinson, K. M. 1972. Birds as transporters of algae. *Br. Phycol. J.* 7: 319–321.

Atkinson, K. M. 1980. Experiments in dispersal of phytoplankton by ducks. *Br. Phycol. J.* 15: 49–58.

Baker, P. D. 1999. Role of akinetes in the development of cyanobacterial populations in the lower Murray River, Australia. *Mar. Freshwat. Res.* 50: 256-279.

Berger, C., N. Ba, M. Gugger, M. Bouvy, F. Rusconi, A. Coute, M. Troussellier, and C. Bernard. 2006. Seasonal dynamics and toxicity of *Cylindrospermopsis raciborskii* in Lake Guiers (Senegal, West Africa). *FEMS Microbiology Ecology* 57(3): 355-366.

Bernard C., Harvey M., Briand J. F., Biré R., Krys S. & Fontaine J. J. 2003. Toxicological comparison of diverse *Cylindrospermopsis raciborskii* toxic strains: evidence of liver damage caused by a French *C. raciborskii* strain. *Environ Toxicol* 18: 176–186.

Bourke A. T. C., Hawes R. D., Neilson A., Stallman N. D. 1983. An outbreak of hepato-enteritis (the Palm Island Mystery Disease) possibly caused by algal intoxication. *Toxicon* 45-48.

Bouvy, M., D. Falcao, M. Marinho, M. Pagano, and A. and Moura. 2000. Occurrence of *Cylindrospermopsis* (cyanobacteria) in 39 Brazilian tropical reservoirs during the 1998 drought. *Aquatic Microbial Ecology* 23: 13-27.

Bouvy M., Pagano M., Troussellier M. 2001. Effect of cyanobacterial bloom (*Cylindrospermopsis raciborskii*) on bacteria and zooplankton communities in Ingazeira reservoir - Northeast Brazil. *Aquat Microb Ecol* 25: 215–227.

Bouvy, M., N. Ba, S. Ka, S. Sane, M. Pagano, and R. Arfi. 2006. Phytoplankton community structure and species assemblage succession in a shallow tropical lake (Lake Guiers, Senegal). *Aquatic Microbial Ecology* 45(2): 147-161.

Branco, C. W. C, Senna, P. A. C. 1991. The taxonomic elucidation of the Paranoa Lake (Brasiflia, Brazil) problem: *Cylindrospermopsis raciborksii*. - *Bull. Jard. Bot. Nat. Belg.* 61: 85- 91.

Briand J. F., Robillot C., Quiblier-Lloberas C., Humbert J. F., Coute A. 2002. Environmental context of *Cylindrospermopsis raciborskii* (cyanobacteria) blooms in a shallow pond in France. *Wat Res* 36: 3183-3192.

Briand J. F., Leboulanger C., Humbert J. F. 2004. *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) invasion at mid-latitudes: selektion, wide physiological tolerance, orglobal warming? *J Phycol* 40: 231–238.

Burford M. A., McNeale K. L., McKenzie-Smith F. J. 2006. The role of nitrogen in promoting the toxic cyanophyte *Cylindrospermopsis raciborskii* in a subtropical water reservoir. *Freshw Biol* 52(11): 2143-2153.

Chellappa N. T., Chellappa Sl., Chellappa S. 2008. Harmful Phytoplankton Blooms and Fish Mortality in aeutrophicated reservoir of Northeast Brazil. *Braz Arch Biol Technol* 51: 833-841.

Chiswell R., Smith M., Norris R., Eaglesham G., Shaw G., Seawright A., Moore M. 1997. The cyanobacterium, *Cylindrospermopsis raciborskii*, and its related toxin, cylindrospermopsin. *Aust J of Ecotox* 3: 7-23.

Carmichael W. W. 2002. Detection of Cyanobacterial Toxins – The Cyanotoxins. Xth International conference on Harmful Algae St. Pete Beach, Florida, USA.

Carmichael W. W., Beasly V., Bunner D. L., Eloff J. N., Falconer I., Gorham P., Harada K.-I., Krishnamurthy T., Min-Juan Y., Moore R. E., Rinehart K., Runnegar M., Skulberg O. M.

and Watanabe M. F. (1988) Naming of cyclic heptapeptide toxins of cyanobacteria (blue-greenalgae). *Toxicon* 26: 971-973.

Carmichael W. W., Evans W. R., Yin Q. Q., Bell P., Moczydlowsky E. 1997. Evidence of paralytic shellfish poisons in the freshwater cyanobacterium *Lyngbya wollei* (Farlow ex Gomont) comb. nov. *Appl. Environ. Microbiol.* 63: 3104–3110.

Chapman, A. D. i C. L. Schelske, 1997. Recent appearance of*Cylindrospermopsis* (Cyanobacteria) in five hypereutrophicFlorida lakes. *Journal of Phycology* 33: 191–195.

Chonudomkul D., Yongmanitchai W., Theeragool G., Kawachi M., Kasai F., Kaya K. i Watanabe M. M. 2004. Morphology, genetic diversity, temperature tolerance and toxicity of *Cylindrospermopsis raciborskii* (Nostocales, Cyanobacteria) strains from Thailand and Japan. *FEMS Microbiol Ecol* 48: 345–355.

Cvijan M., Fužinato S. 2011. The first finding of *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya et Subba Raju, (Cyanoprokaryota) in Serbia. *Arch Biol Sci* 63: 507-510.

Des Marais D. J. 2000. Evolution: when did photosynthesis emerge on Earth? *Science* 289: 1703- 1705.

Dobberfuhl D. R. 2003. *Cylindrospermopsis raciborskii* in three central Florida lakes: Population dynamics, controls, and management implications. *Lake Reserv Manage* 19: 341-348.

Dokulil M. T. and Janauer G. A. 1995. Alternative stable states during eutrophication of a shallow urban lake in Vienna, Austria. *Proceedings of the 6th International Confererce on Conservation and management of lakes*. *Kasumigaura* 2: 730-733.

Dokulil M. T., Mayer J. 1996. Population dynamics and photosynthetic rates of a *Cylindrospermopsis- Limnothrix* association in a highly eutrophic urban lake, Alte Donau, Vienna, Austria. *Algol. Studies* 83: 179-119.

Druart J. C., Briand J. F. 2002. First record of *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya et Subba Raju (Cyanobacteria) in a lotic system in France. *Annales de Limnologie*, 38 (4): 339-342.

Dvořák P., Hašler P. 2007. Occurrence and morphological variability of *Cylindrospermopsis raciborskii* (WOLOSZ.) SEENAYYA et SUBBA RAJU (Cyanophyta, Nostocales) near Olomouc in 2006 *Fottea, Olomouc* 7(1): 39–42.

Elenkin, A. A. 1923. De specie nova Oncobrysae et loco hujus generis inter Chroococcaceas. *Notulae Systematicae ex Instituto Cryptogamico Horti Botanici Petropolitani* 2: 1-14.

Fogg G. E., Stewart W. D. P., Fay P., Walsby A. E. 1973. The blue-green algae. Academic Press, London.

Geitler L. and Ruttner F. 1936. Die Cyanophyceen der Deutschen limnologische Sunda-Expedition, ihre Morphologie, Systematik und Ökologie. *C. Ökologischer Teil. Arch. Hydrobiol. (Stuttgart) Suppl.* Bd XIV (Tropische Binnengewässer VI): 553-715.

Griffiths D. J.,Saker M. L. 2003. The Palm Island Mystery Disease 20 years on: A review of research on the cyanotoxin cylindrospermopsin. *Environ Toxicol* 18: 79-93.

Gugger M., Molica R., Le Berre B., Dufour P., Bernard C., Humbert J. F. 2005. Genetic diversity of *Cylindrospermopsis* strains (Cyanobacteria) isolated from Four continents. *App Environ Microbiol* 71 (2): 1097- 1100.

Haande S., Rohrlack T., Ballot A., Røberg K., Skulberg R., Beck M., et al. 2008. Genetic characterisation of *Cylindrospermopsis raciborskii* (Nostocales, Cyanobacteria) isolates from Africa and Europe. *Harmful Algae* 7, 692–701.

Harding, W. R. 1996. The phytoplankton ecology of a hypertrophic shallow lake, with particular reference to primary production, periodicity and diversity. PhD Thesis, Univ. Cape Town.

Hawkins P. R., Runnegar M. T. C., Jackson A. R. B., Falconer I. R. 1985. Severe hepatotoxicity caused by the tropical cyanobacterium (blue-green alga) *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenaya and Subba Raju isolated from a domestic water supply reservoir. *Appl. Environ. Microbiol.* 50: 1292–1295.

Hawkins P. R., Chandrasena N. R., Jones G. J., Humpage A. R., Falconer I. A. 1997. Isolation and toxicity of *Cylindrospermopsis raciborskii* from an ornamental lake. *Toxicon* 35: 314-346.

Hawkins P. R., Putt E., Falconer I. A. 2001. Phenotypical variation in a toxic strain of the phytoplankter, *Cylindrospermopsis raciborskii* (Nostocales, Cyanophyceae) during batch culture. *Environ Toxicol* 16: 460-467.

Hindak F., Moustaka M. 1988. Planktic cyanophytes of Lake Volvi, Greece. *Arch Hydrobiol* (Suppl. 80): 497- 528.

Hoek C. van den, Mann D. G. and Jahns H. M. 1995. Algae An Introduction to Phycology. George Thieme, Stuttgart, 623 p.

Horecká M, Komárek J. 1979. Taxonomic position of three planktonic blue-green algae from the genera *Aphanizomenon* and *Cylindrospermopsis*. *Preslia, Praha* 51: 289- 312.

Hooker E. L., Chow N. i Saavedra R. 1993. Phytoplankton biomass and primary productivity of Lake Masaya (Nicaragua). *Verh. Internat. Verein. Limnol*. 25: 897.

Hooker E. L., Hernandez S., Chow N., Vargas L. 1991. Phytoplankton studies in a tropical lake (Lake Xolotlán, Nicaragua). *Verh Internat Verein Limnol* 24: 1158- 1162.

Huber-Pestalozzi G. 1938. "Das Phytoplankton des Süsswassers. Sytstematik und Biologie," *Die Binnengewässer* 16: 342.

Ilec, 1995. Data Book of World Lake Enviroments. ILEC, Shiga.

Istvánovics V., Shafik H. M., Présing M., Juhos S. 2000. Growth and phosphate uptake kinetics of the cyanobacterium, *Cylindrospermopsis raciborskii* (cyanophyceae) in throughflow cultures. *Fresh Biol* 43: 257–75.

Jeeji-Bai N., Hegewald E., Soeder C. J., 1977. Revision and taxonomic analysis of the genus Anabaenopsis. *Algological Studies* 18, 25-32.

Jones W. W., Sauter S. 2005. Distribution and Abundance of *Cylindrospermopsis raciborskii* in Indiana Lakes and Reservoirs. Office of Water Quality. Indiana Departmentof Environmental Management. Indianapolis, *School of Public and Environmental Affairs*. Indiana University, Bloomington, IN. 41pp.

Kalff J. i Watson S. 1986. Phytoplankton and its dynamics in two tropical lakes: a tropical and a temperate zone comparison. *Hydrobiologia* 138: 161-176.

Kokocinski M., Stefaniak K., Mankiewicz-Boczek J., Izydorczyk K., Soininen J. 2010. The ecology of the invasive cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii* (Nostocales, Cyanophyta) in two hypereutrophic lakes dominated by *Planktothrix agardhii* (Oscillatoriales, Cyanophyta). *Eur J Phycol* 45(4): 365-374.

Komárek J. 1984. Sobre las cyanofíceas de Cuba: Aphanizomenon volzii, especies de Fortiea. *v Acta Bot. Cubana, La Habana*, 18: 30pp.

Komárek J. & Kling H. 1991. Variation in six planktonic cyanophyte genera in Lake Victoria (East Africa). *Algological Studies* 61: 24-45.

Komárek J., Komařková–Legnerová J. 2003. Phenotype diversity of the cyanoprokaryotic genus *Cylindrospermopsis* (Nostocales). *Czech Phycol* 3: 1–30.

Komárková-Legnerová J. & Tavera R. 1996. Cyanoprokaryota (Cyanobacteria) in the phytoplankton of Lake Catemaco (Veracruz, Mexico). *Arch. Hydrobiol./Algolog. Stud.* 83: 403-422.

Lei L., Peng L., Huang X., Han B.-P. 2014. Occurrence and dominance of *Cylindrospermopsis raciborskii* and dissolved cylindrospermopsin in urban reservoirs used for drinking water supply, South China. *Environ. Monit. Assess.* 186: 3079–3090.

Leonard J. A., Paerl H. W. (2005). Zooplankton community structure, micro-zooplankton grazing impact, and seston energy content in the St. Johns river system, Florida as influenced by the toxic cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii*. *Hydrobiologia* 537: 89–97.

McGregor G. B., Fabbro L. D. 2000. Dominance of *Cylindrospermopsis raciborskii* (Nostocales, Cyanoprokaryota) in Queensland tropical and subtropical reservoirs:Implications for monitoring and management. *Lake Reserv Res Manage* 5: 195-205.

Meeks J. C., Elhai J. 2002. Regulation of cellular differentiation in filamentous cyanobacteria in freeliving and plant-associated symbiotic growth states. *Microbiol MolBiol Rev* 66: 94-121.

Messineo V., Melchiorre S., Di Corcia A., Gallo P., Bruno M. 2010. Seasonal succession of *Cylindrospermopsis raciborskii* and *Aphanizomenon ovalisporum* blooms with cylindrospermopsin occurrence in the volcanic Lake Albano, central Italy. *Environ Toxicol* 25 (1): 18-27.

Mihaljević M., Stević F. 2011. Cyanobacterial blooms in a temperate river-floodplain ecosystem: the importance of hydrological extremes. *Aquat Ecol* 45: 335–349.

Miller V.V. 1923. K sistematike roda *Anabaen* a Bory. *Arch. Russk. Protistol.* 2: 116-126.

Moreira C., Fathalli A., Vasconcelos V., Antunes A. 2015. Phylogeny and biogeography of the invasive cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii*. Arch. Microbiol. 197, 47–52.

Neilan B. A., Saker M. L., Fastner J., Torokne A., Burns B. P. 2003. Phylogeography of the invasive cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii*. *Mol Ecol* 12 (1): 133-140.

Newcombe G., House J., Ho L., Baker P., Burch M. 2010. Management Strategies for Cyanobacteria (Blue-Green Algae): A guide for water utilities. Research Report No. 74. Adelaide, SA, Australia: Water Quality Research Australia Limited.

Obuchova V. M. i Kozenko Z. P. 1964. Novie vidi *Anabaenopsis* (Wolosz.) V. Miller [Species novae *Anabaenopsis* (Wolosz.) V. Miller]. *Bot. mater. herb. In-ta bot. Akad Nauk Kaz. SSR* 2: 74-85.

Ohtani I., Moore R. E., Runnegar M. T. C. (1992). Cylindrospermopsin: a potent hepatotoxin from the blue-green alga *Cylindrospermopsis raciborskii*. *J. Am. Chem. Soc*. 114: 7941–7942.

Padisák J. 1991. Some aspects of the ecology of subdominant green algae in a large, nutrient limited shallow lake (Balaton, Hungary). *Archiv für Protistenkunde* 139: 225-242.

Padisák J. 1997. *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya et Subba Raju, an expanding, highly adaptative cyanobacterium: worldwide distribution and review of its ecology. *Arch Hydrobiol Suppl* 107: 563-93.

Padisák J., Reynolds C. S. 1998: Selection of phytoplankton associations in Lake Balaton, Hungary, in response to eutrophication and restoration measures, with special reference to cyanoprokaryotes. *Hydrobiologia* 384: 41–53.

Papke R. T., Douady C. J., Doolittle W. F., Rodríguez-Valera F. 2003. Diversity of bacteriorhodopsins in different hypersaline waters from a single Spanish saltern. *Environ. Microbiol.* 5: 1039–1045.

Pomati F., Moffitt M. C., Cavaliere R., Neilan B. A. 2004. Evidence for differences in the metabolism of saxitoxin and C1+2 toxins in the freshwater cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii* T3. *BBA- Gen Subjects* 1674: 60–67.

Posselt A. J., Burford M. A., Shaw G. 2009. Pulses of phosphate promote dominance of the toxic cyanophyte *Cyindrospermopsis raciborskii* in a subtropical water reservoir. *J Phycol* 45 (3): 540-546.

Ramberg, L. 1984. Phytoplankton gradients during rainy season in Lake Kariba. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 222: 1590-1593.

Romo M., Miracle M. 1994. Population dynamics and ecology of subdominant phytoplankton species in a shallow hypertrophic lake (Abulifera of Valencia, Spain). *Hydrobiologia* 273: 37-56.

Rott E. 1983. A contribution to the phytoplankton species composition of Parakrama Samudra, an ancient man-made lake in Sri Lanka. *Limnology of Parakrama Samudra –Sri Lanka. – Dr. W. Junk Publ., The Hague*, p. 209-226.

Ryan J. P., F. P. Chavez, and J. G. Bellingham. 2005. Physical-biological coupling in Monterey Bay, California: topographic influences on phytoplankton ecology. *Marine Ecology Progress Series*, 287: 23-32.

Saker M.L. and G.K. Eaglesham. 1999. The accumulation of cylindrospermopsin from the cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii* in tissues of the Redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus*. *Toxicon* 37: 1065-1077.

Saker M. L., Griffiths D. J. 2001. Occurrence of blooms of the cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya and Subba Raju in a north Queensland domestic water supply. *Mar Freshwater Res* 52: 907-915.

Saker M. L., & Neilan B. A. 2001. Variable diazotrophies, morphologies, and toxicities of genetically similar isolates of *Cylindrospermopsis raciborskii* (Nostocales, Cyanophyceae) from northern Australia. *Appl Environ Microbiol* 67: 1839– 1845.

Sakshena, P. N. 1965. K sezonnim izmeneniam fitoplanktona nekotorih prydov ribhoza Kaglan. *Tsirtsih. Uzb. Biol. Zh.* 4: 45-49.

Schopf J. W. and Packer B. M.: 1987, Early Archean (3.3 Billion to 3.5 Billion-Year-Old) Microfossils from Warrawoona Group, Australia, *Science* 237, 70–73.

Seenayya G. & Subba Raju N. 1972. On the ecology and systematic of the alga known as *Anabaenopsis raciborskii* (Wolosz.) Elenk. and a critical evaluation of the forms described under the genus *Anabaenopsis*. *Papers submitted to the First International Symposium on Taxonomy and Biology of blue-green algae*. (Desikachary, T.V. Eds), pp. 52-57.

Shafik H. M., Herodek S., Presing M., Voros L. 2001. Factors effecting growth and cell composition of cyanoprokaryote *Cylindrospermopsis raciborskii*. *Algol Studies* 103: 75-93.

Shafik H. M., Vörös L., Sprőber P., Présing M., Kovács A. W. 2003. Some special morphological features of *Cylindrospermopsis raciborskii* in batch and continuous cultures. *Hydrobiologia* 506–509: 163–167.

Singh R. N. 1962. Seasonal variants of *Anabaenopsis raciborskii* Wolosz. *Hydrobiologia* 20: 87-91.

Sinha R., Leanne, Pearson L. A., Davis T. W., Michele, Burford M. A., Orr P. T., Neilan B. A. 2012. Increased incidence of *Cylindrospermopsis raciborskii* in temperate zones- Is climate change responsible? *Wat Reas* 46 (5): 1408-1419.

Skuja, H. 1938. Süsswasseralgen aus Griechenland und Kleinasien. *Hedwigia* 77: 15-70.

St. Amand A. 2002a. *Cylindrospermopsis: an invasive toxic algae*. LakeLine, 36-38.

Stucken Marin K. S. 2010. Physiogenomics of *Cylindrospermopsis raciborskii* and *Raphidiopsis brookii* with emphasis on cyanobacterial evolution, nitrogen control and toxin biosynthesis. In *Faculty of Biology and Chemistry*. (PhD Thesis). Bremen, Germany: University of Bremen.

Ussatshev P. I. 1938. Novie i redkie vidi sine-zelenih vodoroslei v planktone Kaspiyskovo moria. *Tr. Kasp.* 5: 99-113.

Vidal L. & Kruk C. 2008. *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) extends its distribution to Latitude 34°53'S: taxonomical and ecological features in Uruguayan eutrophic lakes. *Panam J Aquat Sci* 3: 142–151.

Whitton B. A. & Potts M. [Eds.] 2000. The Ecology of Cyanobacteria: Their Diversity in Time and Space. *Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands*, 669 pp.

Wilson, Kim M., M. A. Schembri, P. D. Baker, and C. P. Saint. 2000. Molecular characterization of the toxic cyanobacterium Cylindrospermopsis raciborskii and the design of a species-specific PCR. *Applied Environmental Microbiology* 66 [1]: 332-338.

Woloszynska J. 1912. Das Phytoplankton einiger Javanian Seen mit Berücksichtigung des Sawa-Planktons. *Bull. Int. Acad. Sci. Cracoviae Ser.* B 6: 649–709.

Wood S. A., Stirling D. J. 2003. First identification of the cylindrospermopsin producing cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii* in New Zealand. *N. Z. J. Mar. Freshwater Res.* 37: 821–828.

Zohary T. 2004. Changes to the phytoplankton assemblage of Lake Kinneret after decades of a predictable, repetitive pattern. *Freshw. Biol.* 49: 1355–1371.

Web 1 - http://www-cyanosite.bio.purdue.edu/images/lgimages/CYLINDP1.JPG - preuzeto 28. 8. 2015.

Web 2 - https://c2.staticflickr.com/6/5024/5808252498_7a53345278_b.jpg - preuzeto 28. 8. 2015.

Web 3 - http://www.wikiwand.com/en/Cylindrospermopsin - preuzeto 5. 9. 2015.