

Zooksantele i simbioza s morskim organizmima

Veseli, Marina

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:019690>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-06**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO – MATEMATIČKI FAKULTET
BIOLOŠKI ODSJEK

ZOOKSANTELE I SIMBIOZA S MORSKIM ORGANIZMIMA

**ZOOXANTHELLAE AND SYMBIOSIS WITH MARINE
ANIMALS**

SEMINARSKI RAD

Marina Veseli
Preddiplomski studij biologije
(Undergraduate Study of Biology)
Mentor: doc. dr. sc. Petar Kružić

Zagreb 2015.

SADRŽAJ

1. UVOD	3
2. BIOLOGIJA ZOOKSANTELA	4
2.1. Raznolikost zooksantela	4
2.2. Fotosintetski pigmenti zooksantela	5
2.3. Životni ciklus zooksantela na primjeru vrste roda <i>Symbiodinium</i>	5
3. SIMBIOZA ZOOKSANTELA S MORSKIM ORGANIZMIMA	7
3.1. Uspostavljanje simbioze	7
3.2. Simbioza s školjkašem <i>Tridacna gigas</i>	9
3.3. Simbioza zooksantela s meduzom <i>Mastigias papua</i>	10
3.4. Simbioza zooksantela s moruzgvom <i>Aiptasia pallida</i>	11
3.5. Simbioza zooksantela s kamenim koraljima	12
3.5.1. Uloga zooksantela u kalcifikaciji koralja	13
3.5.2. Simbioza zooksantela s koraljem <i>Cladocora caespitosa</i>	14
3.5.3. Simbioza zooksantela s koraljem <i>Balanophyllia europea</i>	14
3.5.4. Važnost koraljnih grebena i uloga zooksantela u izbjeljivanju koralja	15
4. ZAKLJUČAK	17
5. LITERATURA	18
6. SAŽETAK	21
7. SUMMARY	21

1. UVOD

Simbioza je česta pojava u biološkom svijetu koja označava vrlo prisan odnos, odnosno suživot između dva ili više različita organizma. Pritom oba organizma mogu imati koristi od tog odnosa, dok kod nekih oblika simbioze jedan od simbionata može sudjelovati bez koristi ili pak taj odnos može biti čak štetan za njega. Simbiotski odnosi su izrazito specifični i rezultat su usporedne evolucije simbionata te je većina organizama u nekom simbiotskom odnosu. Stupanj ovisnosti i bliskosti organizama u simbiozi može biti različit. Ponekad organizmi mogu normalno živjeti i bez simbioze, dok je kod nekih oblika simbioze život u tom određenom simbiotskom odnosu nužan za preživljavanje za jedan ili oba organizma.

Fotosintetski organizmi, alge i bakterije često su u simbiozi s beskralježnjacima. Ovakav odnos vrlo je čest u morskim staništima. Alge ili bakterije žive endosimbiontski, odnosno unutar drugog simbionta te fotosintezom pribavljaju hranu za sebe, ali i za svog domaćina, dok im on pruža stabilno i sigurno stanište te stabilan položaj u stupcu vode. (Davy i sur. 2012.)

Zooksantele su sve jednostanične alge koje su endosimbionti u drugim životinjama. Zooksantele mogu biti u simbiozi sa životinjama koje pripadaju različitim skupinama. Najistraženiji primjer je simbioza zooksantela s koraljima. Naime, zbog izrazite važnosti koraljnih grebena kao staništa za brojne morske organizme, a zbog činjenice da bez zooksantela koralj ne može preživjeti, ovaj je tip simbioze znanstvenicima najzanimljiviji. Osim s koraljima, zooksantele su u simbiozi i s drugim organizmima, primjerice s drugim žarnjacima poput meduza ili sa morskim mekušcima, točnije školjkaša. Svaki simbiotski odnos je specifičan te se vrste zooksantela u tim odnosima razlikuju. (Hoek i sur. 1997.)

2. BIOLOGIJA ZOOKSANTELA

Alge su velika i raznolika skupina eukariotskih organizama koji nisu nužno u međusobno bliskom srodstvu, stoga su polifiletička skupina. Pripadaju carstvu Protista, zajedno s protozoama i sve su alge fototrofi, odnosno sadrže fotosintetske pigmente i procesom fotosinteze samostalno stvaraju hranjive spojeve. Mogu biti vrlo jednostavne i jednostanične, poput dijatomeja ili dinoflagelata, ali i kompleksni višestanični organizmi poput kelpova. Upravo zbog velikih razlika u morfologiji, njihov je filogenetski položaj nejasan te se razlikuje od autora do autora. Jednostanične su alge evolucijski bliže jednostaničnim protozoama, dok su višestanične alge evolucijski bliže ranim biljkama, no ono što ih razlikuje od biljaka je to što alge nemaju visokodiferencirana tkiva.

Zooksantele su fotosintetske jednostanične alge koje žive kao endosimbionti unutar tkiva ili stanica drugih životinja. (Rowan 1998.) Najčešće su u morskom okolišu gdje su uglavnom u simbiozi sa žarnjacima (npr. meduze, moruzgve, koralji) i mekušcima (npr. morski puževi, školjke), no postoje i primjeri simbioze zooksantela s nekim protozoa (npr. Foraminifera). (Hoek i sur. 1997.)

2.1. Raznolikost zooksantela

Zooksantele, odnosno endosimbiontske vrste postoje unutar više razreda alga. Pripadaju razredima Bacillariophyceae, Cryptophyceae, Dinophyceae i Rhodophyceae, a najčešće i najistraženije zooksantele su endosimbiontski dinoflagelati. Simbiotske vrste dinoflagelata pojavljuju se u barem sedam rodova unutar četiri reda. Od svih rodova, jedino rodu *Symbiodinium* Freudenthal (1962) ne pripada ni jedna slobodno živuća vrsta, već su sve vrste simbiotske. (Rowan 1998.)

2.2. Fotosintetski pigmenti zooxantela

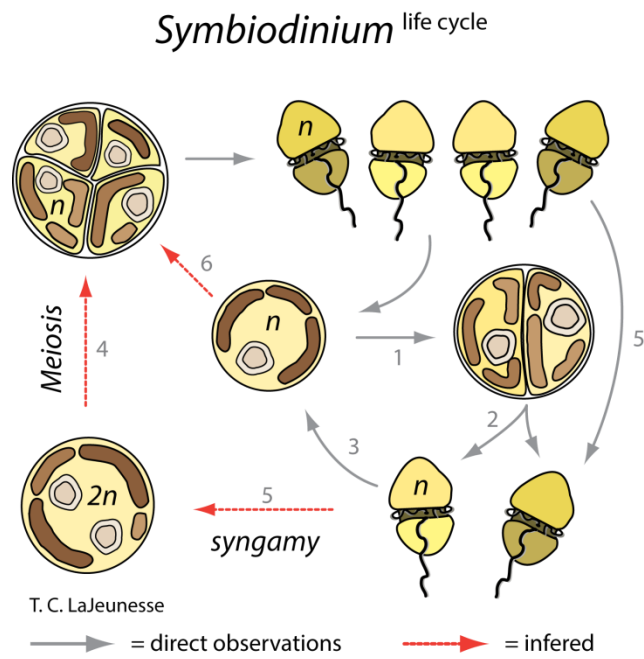
Zooxantele sadrže nekoliko fotosintetskih pigmenata čiji se udjeli u jedinkama različitih vrsta razlikuju. Pigmenti su molekule koje imaju izrazito bitnu ulogu u primarnim procesima fotosinteze. Oni apsorbiraju sunčevu svjetlost određene valne duljine (ovisi o pojedinom pigmentu) i prenose energiju na druge molekule kako bi procesi fotosinteze mogli teći. Pigmenti pronađeni u svih endosimbiontskih Dinophyceae su β -karoten, klorofil a, klorofil c i ksantofili dinoksantin, diadinoksantin i peridin. (Taylor 1967.) Pigmenti su izrazito bitni za alge, ali i za njihove simbiote, jer osim što su nužni za fotosintezu kojom alga proizvodi hranjive tvari, oni im daju obojenje. Upravo zbog zooxantela su koralji, moruzgve, puževi i drugi njihovi simbionti specifično obojeni. Također, nedostatak obojenja može ukazivati da je iz nekog razloga došlo do uginuća alga unutar simbionta, što pak može ukazati na neki okolišni problem. To je izrazito bitno za koralje i koraljne grebene. (Vidi 3.5.4., str. 15)

Pigmenti su stabilne molekule, no ipak su podložni uvjetima u kojima se alga nalazi. Do promjena u molekulama fotosintetskih pigmenata (općenito, ne samo u algi) može doći zbog ekstremnih uvjeta, poput vrlo visokih ili vrlo niskih temperatura, suša, promjena godišnjih doba i promjena saliniteta, a također i zbog prisutstva nekih drugih kemijskih tvari u okolišu koje štetno djeluju na njih. (Esteban i sur. 2014.)

2.3. Životni ciklus zooxantela na primjeru vrste roda *Symbiodinium*

Životni ciklus je bio proučavan na *in vitro* kulturi stanica *Symbiodinium*. (Sl. 1.) Zaključeno je da postoje spolna i nespolna faza u životnom ciklusu te da postoji spolno i nespolno razmnožavanje. Nespolna je faza proučena na pravim stanicama, dok se o spolnoj fazi i spolnom razmnožavanju pretpostavlja, odnosno nema direktnih znanstvenih dokaza. Jedino što upućuje na to da dolazi do genetičke rekombinacije, a time i do nekog oblika spolnog razmnožavanja, jesu genetički podaci populacija *Symbiodinium*. (Baillie i sur. 2000.) U nespolnoj fazi dolazi do mitoze, tako da prvo dođe do kariokineze, a zatim citokineze i to se događa svakih 1-3 dana. (Fitt i sur. 1983.) U razdoblju od diobe do diobe, stanice obično prolaze morfološke promjene. Postoji pokretna faza, u kojima posjeduju jedan ili dva biča, i nepokretna

faza. Na ponašanje stanica u *in vitro* kulturama najviše su utjecale promjene razdoblja svijetla i tame te sastav nutrijenata u podlozi. (McLaughlin i Zahl 1957.)



Slika 1. Životni ciklus *Symbiodinium*

(https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/96/Symbiodinium_Life_Cycle.png)

3. SIMBIOZA ZOOKSANTELA S MORSKIM ORGANIZMIMA

Blizak suživot različitih organizama, vrlo često filogenetski jako udaljenih, zapravo svjedoči o usporednoj zajedničkoj evoluciji tih organizama gdje su od početnih antagonista i međusobne konkurencije (za stanište ili hranu) ili pak od slabijih i osjetljivijih organizama, oni kroz dugi vremenski period prihvatili novi zajednički način života i time si osigurali stabilniji položaj u svom okruženju. (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1317043/>)

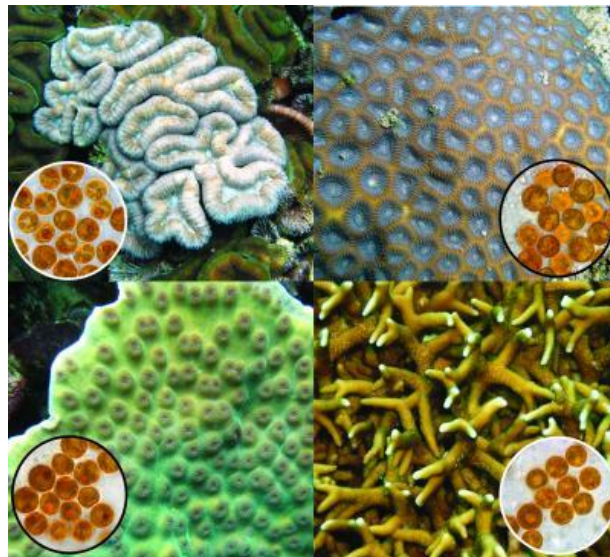
Način suživota koji je obostrano koristan naziva se mutualizam, ali simbiotski odnosi ne moraju biti isključivo takvi. U simbiotske odnose ubraja se i parazitizam, gdje jedan simbiot zapravo živi na štetu drugog, te komenzalizam, gdje jedan simbiot ima koristi od odnosa dok drugi nema ni koristi ni štete. Također, postoje obligatni simbiotski odnosi gdje su simbioti zajednički evoluirali do te mjere da jedan ili oba simbiota ne mogu preživjeti jedan bez drugoga. S druge strane, kod nekih oblika simbioze simbioti mogu normalno živjeti bez simbiotskog odnosa, ali uglavnom nastoje uspostaviti simbiozu zbog pogodnosti koje im ona pruža. (Leung i Poulin 2008.)

U slučaju zooksantela radi se o obostranoj koristi od simbioze, dakle mutualizmu, gdje alga koristi nutrijente iz otpadnih tvari svog simbiota te joj simbiot pruža stanište i relativno stabilan položaj u stupcu vode, dok ona fotosintezom proizvodi hranjive tvari koje koristi i simbiot te aktivno sudjeluje u pohrani i recikliranju esencijalnih nutrijenata. (Davy i sur. 2012.) Endosimbioza alga i morskih beskralježnjaka zapravo je kombiniranje heterotrofnog i autotrofnog načina života, s time da simbioti žive kao jedna jedinka, odnosno kao holobiont. (Rowan 1998.)

3.1. Uspostavljanje simbioze između zooksantela i domaćina

Zooksantela su endosimbionti, stoga se njihov simbiot unutar kojeg se nalaze može nazvati domaćinom. Uspostavljanje simbioze obuhvaća niz specifičnih procesa, od međusobnog prepoznavanja do fagocitoze i razmještanja alge unutar stanica domaćina. (Davy i sur. 2012.) Neke su zooksantela generalisti, odnosno mogu biti u simbiozi sa više vrsta žarnjaka ili više vrsta mekušaca, dok su druge u specifičnoj simbiozi sa isključivo jednom vrstom simbiota. Do

međusobnog prepoznavanja i inicijalnog kontakta dolazi na razini stanice zooxantele i stanice domaćina putem specifičnih molekula na membranama tih stanica i te se molekule razlikuju kod svake vrste alge i simbionta, odnosno kod svakog tipa endosimbioze. Fagocitoza je drugi stadij uspostavljanja endosimbioze te se kao proces ne razlikuje od drugih fagocitoza u biološkom svijetu. Na mjestima prepoznavanje dolazi do uleknuća membrane stanice domaćina, u to se uleknuće smjesti alga i stvaranjem fagocitnog mjehurića stanica domaćina uvuče algu u svoju citoplazmu. Posljednji stadij je smještanje alge u fagocitnom mjehuriću na mjesto u stanici gdje će biti zaštićena od razgradnje i probavljanja. (Davy i sur. 2012.)



Slika 2. Različite vrste koralja i njihove zooxantele
(<http://esciencenews.com/files/images/201209206851210.jpg>)

3.2. Simbioza zooksantela sa školjkašem *Tridacna gigas*

Tridacna gigas je najveći i najbrže rastući školjkaš. Obitava uglavnom na koraljnim grebenima u tropskom indo-pacifičkom oceanskom području. Sesilni je organizam i hrani se filtracijom. Veliki interes za istraživanje ovog školjkaša leži u njegovoj veličini, odnosno činjenici da usprkos tome što živi u toplim morima s promjenjivim i uglavnom smanjenim količinama nutrijenata, on uspijeva narasti i preko 1 metra. (http://animaldiversity.org/accounts/Tridacna_gigas/) (Sl. 3.)

Istraživanjima je otkrivena endosimbiotska alga, zooksantela *Symbiodinium microadriaticum* koja živi u stanicama plašta ovog školjkaša. Zooksantela fotosintezom koristi ugljik iz okoliša, koji je u takvom obliku školjkašu nedostupan te ga u obliku jednostavnih ugljikohidrata predaje okolnom tkivu domaćina. (Fitt i sur. 1986.) Na taj način školjkaš podmiri i do 90% potreba za ugljikom. (http://animaldiversity.org/accounts/Tridacna_gigas/) Osim ugljika, zooksantela može asimilacijom pribavljati školjkašu i druge nutrijente koji su u tom staništu limitirajući faktor za rast, primjerice dušik. (Hawkins i Klumpp 1995.) Iako, češće sama alga koristi dušik koji školjkaš dobiva razgradnjom zooplanktona i drugog filtriranog materijala. Prisutstvo alge u tkivu školjkaša vidljivo je i po specifičnom obojenju. *Tridacna gigas* ovisi o nutrijentima koje dobiva od *Symbiodinium microadriaticum*, stoga se radi o obligatnoj simbiozi.



Slika 3. *Tridacna gigas*

(<http://www.gaiaguide.info/Image/s67ScmXd.jpeg?version=medium>)

3.3. Simbioza zooksantela s meduzom *Mastigias papua*

Mastigias papua je meduza koja obitava u lagunama diljem Indijskog oceana i Kineskog mora. Ipak najveća raznolikost i brojnost ove vrste i njezinih podvrsta obuhvaća područje slanih jezera koja pripadaju tihooceanskoj otočnoj državi Palau (Belau). (http://animaldiversity.org/accounts/Mastigias_papua/) Ova meduza u svojoj mezogleji sadrži simbiotske zooksantele, dinoflagelate, koji joj daju smeđe obojenje. (Muscatine 1986.) (Sl. 4.) Ova je simbioza specifična po tome što meduza kao jedan od simbionta nije sesilni organizam, već je pokretna te je njezino ponašanje, odnosno kretanje, regulirano zooksantelama. Zooksantele, kao i u drugim slučajevima simbioze, fotosintezom meduzi pribavljaju spojeve s ugljikom i tako je najvećim dijelom opskrbljuju tim potrebnim elementom. Kako bi ta proizvodnja, odnosno fotosinteza, bila što učinkovitija, meduza ima točno određene dnevne migracije kretajući se tako da u svakom trenutku dana zooksantele primaju svjetlost odgovarajuće valne duljine.

Osim vertikalnih migracija, meduze obično migriraju i u horizontalnom smjeru, te su i te migracije prilagođene zooksantelama i njihovim potrebama za svjetlošću. Meduze se tijekom dana uglavnom zadržavaju bliže površini, no ne preblizu kako zračenje ne bi bilo prejako i ugrozilo zooksantele, dok se tijekom noći zadržavaju u dubljim dijelovima jezera i mora. (<http://thescyphozoan.ucmerced.edu/Biol/Behav/Migration/MastigiasMigrate.html>)



Slika 4. *Mastigias papua*

(http://thescyphozoan.ucmerced.edu/tSimage/Mastigias_Kwajalein.jpg)

3.4. Simbioza zooksantela s moruzgvom *Aiptasia pallida*

Aiptasia pallida je moruzgva koja raste na korijenju drveća mangrove, mrtvim koraljima te stijenama u moru formirajući velike kolonije. Pronađena je u Atlantskom oceanu duž južne obale SAD-a te na obalama Kariba. (http://animaldiversity.org/accounts/Aiptasia_pallida/) U gastrodermalnim stanicama ima endosimbotske dinoflagelate koji fotosintezom daju moruzgvi spojeve koji joj koriste kao izvor ugljika, dok sama alga koristi nutrijente iz otpadnih tvari moruzgve kojih uglavnom ima vrlo malo u toplim morima gdje rastu. Dokazano je da ne samo da moruzgva ne može bez fotosintetske produkcije alge, već i da alga uvelike ovisi o prehrani moruzgve, odnosno da smanjenje nutrijenata zbog smanjenja dostupnosti hrane prvo snižava stopu diobe alge, zatim snižava količinu klorofila u algama i konačno dovodi do smanjenja broja stanica alga u domaćinu. (Cook i sur. 1988.)

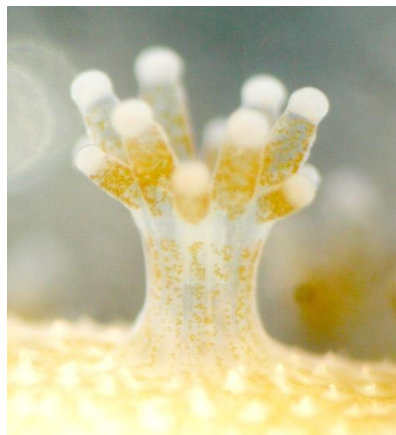


Slika 5. *Aiptasia pallida*

(<http://www.seaslugforum.net/images/m12296.jpg>)

3.5. Simbioza zooxantela s kamenim koraljima

Sredinom prošlog stoljeća, znanstvenici su došli do otkrića da koralji sadrže endosimbiontskog dinoflagelata čije je prisutstvo zaslužno za uspravni rast koralja prema svjetlu, ali i za smanjeni rast koralja u plitkim vodama. (Small i Adey 2001.) Daljnjim istraživanjima otkrivalo se sve više utjecaja zooxantela na rast i preživljavanje koralja, a sekundarno i na preživljavanje drugih organizama koji su žive na koraljnim grebenima. Kameni koralji (*Scleractinia* ili *Madreporaria*) su najveća skupina unutar razreda Anthozoa (koralji) i broje čak 3600 vrsta. Njihova glavna odlika je vapnenački egzoskelet te brojne vrste žive u velikim zajednicama i grade koraljne grebene. (Habdija i sur. 2011.) Kao i mnoge druge vrste koralja, veliki broj vrsta kamenih koralja je u obligatnom simbiotskom odnosu sa zooxantelama, uglavnom s dinoflagelatima *Symbiodinium*. Zooxantele se nalaze u gastrodermi i tankoj mezogleji koralja. (Sl. 6.) Radi se o mutualističkom odnosu, odnosno oba simbionta imaju koristi od tog odnosa. Zbog potrebe zooxantela za svjetlošću, simbiotski kameni koralji rastu samo u plićim dijelovima mora. Zooxantele fotosintezom stvaraju spojeve bogate ugljikom koji koralju služe kao glavni izvor ugljika, te također opskrbljuju koralj kisikom koji je nusprodukt fotosinteze. Kao endosimbiont u koralju zooxantela ne samo da dobiva stabilni položaj u stupcu vode već od koralja preuzima i ugljikov dioksid kojeg koralj izlučuje kao nusprodukt respiracije i u procesima kalcifikacije, a alga je potreban za fotosintezu. (Davy i sur. 2012.)

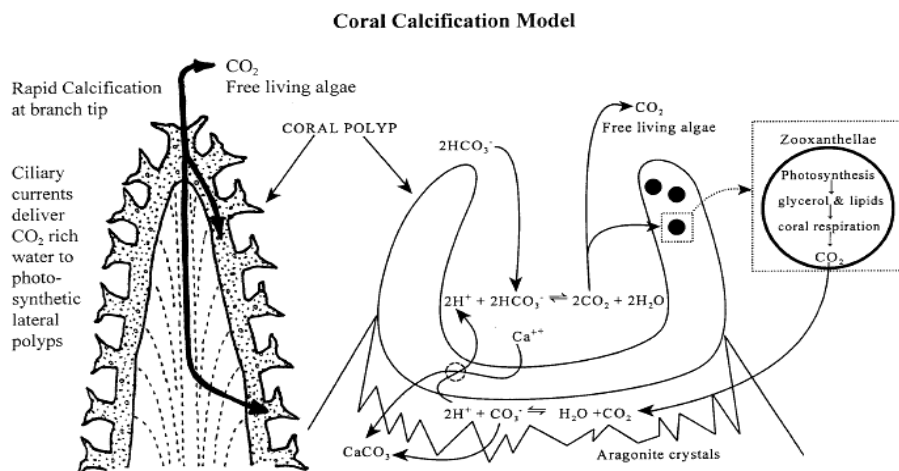


Slika 6. Polip koralja s zooxantelama

(https://www.oist.jp/sites/default/files/photos/3_P1010018_4.jpg)

3.5.1. Uloga zooxantela u kalcifikaciji koralja

Ubrzo nakon otkrića zooxantela u koraljima, otkriveno je da su one neophodne za rast i razvitak koralja te za stvaranje vapnenačkog egzoskeleta. Kalcifikacija je proces kojim koralj stvara svoj egzoskelet koji je građen od vapnenca, odnosno kalcijevog karbonata, ali u kristalnoj modifikaciji aragonita. (Habdija i sur. 2011.) Veliku ulogu u kalcifikaciji imaju epitelne stanice smještene u sloju ispod vanjskog skeleta. One reguliraju pH vrijednost medija u kojem se stvara kalcijev karbonat, u međustaničnom prostoru između epidermalnih stanica i skeleta, a reguliraju i rast aragonita. Zooxantele se nalaze u mezogleji ispod epitelnih stanica i imaju višestruku ulogu u kalcifikaciji. Pretpostavlja se da zooxantele potiču kalcifikaciju time što fotosintezom stvaraju ugljikom bogate spojeve koji koralju služe kao izvor energije za procese kalcifikacije, te apsorpcijom CO₂ i otpuštanjem O₂. (Davy 2012.) Za kalcifikaciju koralj koristi karbonatne ione iz okolne vode i u tom procesu nastaje CO₂. CO₂ također nastaje i respiracijom koralja. Povećana koncentracija CO₂ u koralju bi smanjivala stopu kalcifikacije stoga dio CO₂ koralj izbacuje u okolnu vodu, a dio zooxantele koriste za procese fotosinteze. (Sl. 7.) Stvaranje hranjivih tvari bogatih ugljikom također je način na koji zooxantele utječu na procese kalcifikacije. Koralj bi u nedostatku ugljika zadržavao CO₂, što bi poremetilo pH vrijednost u stanicama i u izvanstaničnom prostoru i utjecalo na produkciju CaCO₃. Usprkos svim ostalim pogodnostima endosimbiotskog odnosa alge i koralja, pretpostavlja se da je upravo kruženje bikarbonatnog iona i CO₂ glavna prednost suživota ovih organizama. (Small i Adey 2001.)



Slika 7. Kalcifikacija koralja

(izvor: Small i Adey 2001.)

3.5.2. Simbioza zooksantela s koraljem *Cladocora caespitosa*

Cladocora caespitosa je vrlo česti zadružni koralj u Mediteranskom moru koji obitava na raznolikim podlogama i u raznolikim uvjetima. Najčešće raste na kamenitim podlogama i formira koraljne grebene koji čine posebni ekosustav u Mediteranu. U simbiozi je s zooksantelama roda *Symbiodinium* i te im endosimbiotske alge daju smeđe-narančasto obojenje. (Schiller 1993.)



Slika 8. *Cladocora caespitosa*

(http://hippocampus.hr/img2/cladocora_caespitosa_big.jpg)

3.5.3. Simbioza zooksantela s koraljem *Balanophyllia europea*

Balanophyllia europea je solitarni kameni koralj koji uglavnom raste na kamenitim podlogama i endem je Mediterana. Sadrži endosimbiotske zooksantele te ne raste na dubinama većim od 10 metara zbog potrebe zooksantela za svjetlošću. (Kružić i Popijač 2015.)



Slika 9. *Balanophyllia europea*

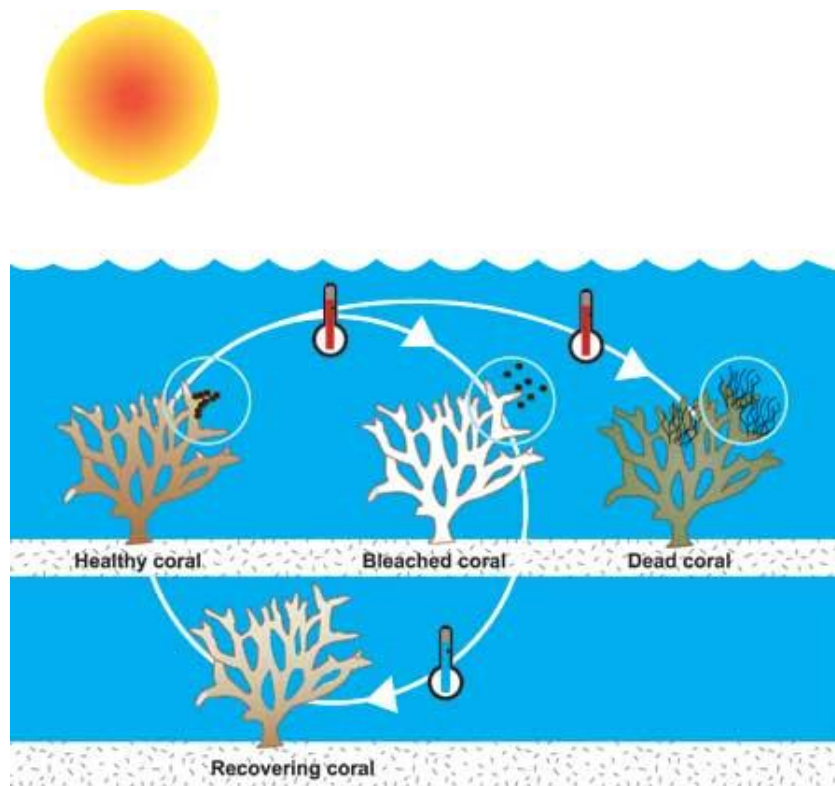
([http://www.nottesale.it/images/010fotoschede/cnidari/Madrepora%20solitaria%20\(Balanophyllia%20europaea\)%2011-05-2008%2010.43.29.JPG](http://www.nottesale.it/images/010fotoschede/cnidari/Madrepora%20solitaria%20(Balanophyllia%20europaea)%2011-05-2008%2010.43.29.JPG))

3.5.4. Važnost koraljnih grebena i uloga zooxantela u izbjeljivanju koralja

Koraljni grebeni poznati su kao staništa s izrazito velikom bioraznolikošću. Najviše koraljnih grebena postoji u tropskim morima te su oni i najviše istraženi, no koraljnih grebena, s ništa manjom važnosti za bioraznolikosti, ima i u umjerenim morima poput Mediterana. (Kružić i sur. 2012.) Koraljni su grebeni velike trodimenzionalne biološke strukture koje se mogu proučavati kao zasebni ekosustavi s velikom raznolikosti vrsta. Od primarnih proizvođača poput alga i morskih biljaka, preko potrošača različitih skupina životinja poput mnogočetinaša, glavonožaca, drugih žarnjaka i kralježnjaka, do razlagača, sve to čini veliku zajednicu života koji obitava na koraljnim grebenima. (http://www.nature.com/scitable/blog/saltwater-science/why_are_coral_reefs_important)

Unatrag nekoliko desetljeća primijećeno je znatno propadanje koraljnih grebena, do kojeg dolazi zbog ugibanja koralja. Danas je to problem koji istražuju mnogi znanstvenici, pokušavajući shvatiti kako to spriječiti. Prvi pokazatelj problema je pojava izbjeljivanja koralja. Izbjeljivanje koralja prirodna je pojava koju uzrokuju različiti stresni uvjeti u kojima se koralj može naći, poput smanjenja prisutnosti nutrijenata, promjena u salinitetu, smanjenja cirkulacije okolne vode, zagađenja, velikih promjena u temperaturi. No stresni uvjeti zapravo ne utječu direktno na koralje, već na njihove endosimbionte, zooxantele. U nekim slučajevima alge jednostavno napuste koralj, a kod onih koje ostaju stresni uvjeti prvenstveno smanjuju stopu fotosinteze zooxantela, a dugoročno može doći i do smanjenja količine pigmenta i na kraju do ugibanja alge. (Fagoonee i sur. 1999.) Bez alge, odnosno bez energijom bogatih spojeva koje je dobivao od simbioze s algom, izbijeljeni koralj ne može dugo preživjeti. (Sl. 10.)

Najveći utjecaj na zooxantele ima temperaturni stres, odnosno velike promjene u temperaturama mora. Dokazano je da do izbjeljivanja ne dolazi podjednako kod svih koralja, već to ovisi o vrsti koralja, odnosno o tome koliko je njegov simbiot otporan na stresne uvjete te koliko je on sam ovisan o simbiozi s algom. (Marshall i Baird 2000.)



Slika 10. Izbjeljivanje koralja uzrokovano povišenom temperaturom mora
(<http://www.coralwatch.org/web/guest/coral-bleaching>)

4. ZAKLJUČAK

Sesilni organizmi se obično smatraju primitivnima i neefikasima, no simbioza zooksantela i sesilnih organizama poput koralja ili moruzgvi, vrlo je zanimljiv primjer kako sesilni heterotrofni organizmi oportunistički koriste autotrofnu fotosintetsku algu kako bi na lakši način došli do potrebnih nutrijenata i tvari. Naravno, ovi su se složeni simbiotski odnosi razvili kroz dug vremenski period, odnosno ovi su organizmi zajedno evoluirali i danas u toj simbiozi funkcioniraju kao cjelina, kao holobiont.

Može se zaključiti da u simbiozi alga i domaćin međusobno reguliraju svoj rast. Rast i razvitak domaćina ovisi količini hranjivih tvari koje mu alga proizvodi pribavlja, dok s druge strane domaćin može probaviti algu te upravo zbog toga zooksantela nikad ne nadrastu domaćina niti mu ne štete.

Simbiotski su odnosi vrlo specifični i stoga vrlo zanimljivi za proučavanje te postoje još brojne neobjašnjene činjenice. Ipak, danas se zbog velike važnosti koraljnih grebena najviše istražuje simbioza zooksantela s koraljima. Velika važnost koraljnih grebena ne leži samo u očuvanju bioraznolikosti već imaju i veliko ekonomsko značenje, jer velik broj tih vrsta čovjek koristi za prehranu.

5. LITERATURA

- Baillie B. K., Belda-Baillie C. A., Silvestre V., Sison M., Gomez A. V., Gomez E. D., Monje V., 2000. Genetic variation in *Symbiodinium* isolates from giant clams based on random-amplified-polymorphic DNA (RAPD) patterns. *Marine Biology* **136**, 829-836
- Cook C. B., D'Elia C.F., Muller-Parker G., 1988. Host feeding and nutrient sufficiency for zooxanthellae in the sea anemone *Aiptasia pallida* *Marine Biology* **98**, 253-262
- Davy S. K., Allemand D., Weis V. M., 2012. Cell Biology of Cnidarian-Dinoflagellate Symbiosis. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* **76**, 229-261
- Esteban R., Barrutia O., Artetxe U., Fernandez-Martin B., Hernandez A., Garcia-Plazaola J. I., 2014. Internal and external factors affecting photosynthetic pigment composition in plants: a meta-analytical approach. *New Phytologist* **206**, 268–280
- Fagoonee I., Wilson H. B., Hassell M. P., Turner J. R., 1999. The Dynamics of Zooxanthellae Populations: A Long-Term Study in the Field. *Science* **283**, 843-845
- Fitt W. K., Fisher C. R., Trench R. K., 1986. Contribution of the symbiotic dinoflagellate *Symbiodinium microadriaticum* to the growth and survival of larval and juvenile tridacnid clams. *Aquaculture* **55**, 5-22
- Fitt W. K., Trench R. K., 1983. The Relation of Diel Patterns of Cell Division to Diel Patterns of Motility in the Symbiotic Dinoflagellate *Symbiodinium microadriaticum* Freudenthal in Culture. *New Phytologist* **94**, 421-432
- Habdija I., Primc Habdija B., Radanović I., Špoljar M., Matoničkin Kepčija R., Vujčić Karlo S., Miliša M., Ostojić A., Sertić Perić M., 2011. Razred Anthozoa. U: Protista-Protozoa Metazoa-Invertebrata Strukture i funkcije. Alfa, Zagreb, pp. 106-116
- Hawkins A. J. S., Klumpp D. W., 1995. Nutrition of the giant clam *Tridacna gigas* (L.). II. Relative contributions of filter-feeding and the ammonium-nitrogen acquired and

recycled by symbiotic alga towards total nitrogen requirements for tissue growth and metabolism. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **190**, 263-290

- Hoek C. van den, Jahns H. M., Mann D., 1997. General features of Dinophyta. U: Algae : introduction to phycology. Cambridge Univ. Press, Cambridge, pp. 275-276
- Kružić P., Popijač A., 2015. Mass mortality events of the coral *Balanophyllia europaea* (Scleractinia, Dendrophylliidae) in the Mljet National Park (eastern Adriatic Sea) caused by sea temperature anomalies. *Coral reefs* **34**, (109-118)
- Kružić P., Sršen P., Benković L., 2012. The impact of seawater temperature on coral growth parameters of colonial coral *Cladocora caespitosa* (Anthozoa, Scleractinia) in the eastern Adriatic sea. *Facies* **58**, 477–491
- Leung T. L. F., Poulin R., 2008. Parasitism, commensalism, and mutualism: Exploring the many shades of symbiosis. *Vie et Milieu – Life and Environment* **58**, 107-115
- Marshall P.A., Baird A.H., 2000. Bleaching of corals on the Great Barrier Reef: differential susceptibilities among taxa. *Coral reefs* **19**, 155-163
- McLaughlin J. J. A., Zahl P.A., 1957. Studies in Marine Biology. II. *In vitro* Culture of Zooxanthellae. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine* **95**, 115-119
- Muscatine L., Wilkerson F. P., McCloskey L. R., 1986. Regulation of population density of symbiotic algae in tropical marine jellyfish (*Mastigias* sp.). *Marine ecology – Progress series* **32**, 279-290
- Rowan R., 1998. Diversity and ecology of zooxanthellae on coral reefs. *Journal of Phycology* **34**, 407-417
- Schiller C., 1993. Ecology of the Symbiotic Coral *Cladocora caespitosa* (L.) (Faviidae, Scleractinia) in the Bay of Piran (Adriatic Sea): I. Distribution and Biometry. *P.S.Z.N.I.: Marine Ecology* **14**, 205-219

- Small A. M., Adey W. H., 2001. Reef corals, zooxanthellae and free-living algae: a microcosm study that demonstrates synergy between calcification and primary production. *Ecological Engineering* **16**, 443–457
- Taylor D. L., 1967. The pigments of the zooxanthellae symbiotic with the intertidal anemone *Anemonia sulcata*. *Journal of Phycology* **3**, 238-240
- http://animaldiversity.org/accounts/Aiptasia_pallida/
- http://animaldiversity.org/accounts/Mastigias_papua/
- http://animaldiversity.org/accounts/Tridacna_gigas/
- <http://esciencenews.com/files/images/201209206851210.jpg>
- http://hippocampus.hr/img2/cladocora_caespitosa_big.jpg
- <http://thescyphozoan.ucmerced.edu/Biol/Behav/Migration/MastigiasMigrate.html>
- http://thescyphozoan.ucmerced.edu/tSimage/Mastigias_Kwajalein.jpg
- https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/96/Symbiodinium_Life_Cycle.png
- <http://www.coralwatch.org/web/guest/coral-bleaching>
- <http://www.gaiaguide.info/Image/s67ScmXd.jpeg?version=medium>
- http://www.nature.com/scitable/blog/saltwater-science/why_are_coral_reefs_important
- <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1317043/>
- [http://www.notteesale.it/images/010fotoschede/cnidari/Madrepورا%20solitaria%20\(Balanophyllia%20europaea\)%2011-05-2008%2010.43.29.JPG](http://www.notteesale.it/images/010fotoschede/cnidari/Madrepورا%20solitaria%20(Balanophyllia%20europaea)%2011-05-2008%2010.43.29.JPG)
- https://www.oist.jp/sites/default/files/photos/3_P1010018_4.jpg
- <http://www.seaslugforum.net/images/m12296.jpg>

6. SAŽETAK

Suživot dvaju organizama, simbioza, može biti toliko intiman da jedan simbiot živi unutar stanica drugog simbionta kada govorimo o endosimbiozi. Zooksantele su jednostanične fotosintetske alge koje su endosimbionti mnogim morskim žarnjacima, mekušcima pa čak i nekim protozoama. U tom mutualističkom odnosu, alge uzimaju nutrijente iz otpadnih tvari simbionta te im on pruža stanište, dok simbiot koristi energiju i ugljikom bogate spojeve koje alga proizvede fotosintezom.

U ovom su seminaru dati neki primjeri simbioze zooksantela s morskim organizmima i pobliže je objašnjena njihova uloga u tom odnosu. Najšire je obrađena tema simbioze zooksantela s kamenim koraljima zbog njihove izrazite važnosti u očuvanju bioraznolikosti morskog života.

7. SUMMARY

Coexistence of two organisms, a symbiosis, may be so intimate that one symbiont lives inside the cells of another. In such a case we speak of endosymbiosis. Zooxanthellae are unicellular photosynthetic algae that are endosymbionts to many sea cnidarians, molluscs and even some protozoa. In this mutualistic relationship, the algae take nutrients from the waste matter of their symbiont and the symbiont provides them with a habitat. On the other hand, the symbiont uses energy and carbon-rich compounds which the algae produce through photosynthesis.

This seminar paper provides examples of symbioses of Zooxanthellae with various sea organisms, and their role in such relationships is explained. The topic of symbiosis of Zooxanthellae with stony corals is addressed in more detail for its immense importance in preserving biodiversity of sea life.