

Beljenje koral in načini njegovega preprečevanja: Havaji kot študija primera

Tina Travnik

Beljenje koral je ena od najpomembnejših posledic podnebnih sprememb. Te prizadanejo koralne grebene bolj kot katere koli druge ekosisteme na Zemlji. Samo beljenje se pojavi, ko se poruši sožitje med koralami in njihovimi simbiotskimi algami. Če to stanje traja več tednov, koral umre. Pričakujemo, da bo povišanje temperature oceanov za 0,5 stopinje Celzija povzročilo pogosto množično smrtnost koral, nadaljnje segrevanje za 2 do 3 stopinje Celzija nad predindustrijsko ravniyo pa lahko povzroči popolno izumrtje koralnih grebenov. Globalni »stresorji« močno ogrožajo koralne grebene, povezani z lokalnimi pa so lahko uničujoči. Beljenje koral je znak, da moramo nujno ukrepati, če želimo zmanjšati vpliv podnebnih sprememb na koralne grebene in njihov ekosistem. Neposredna grožnja, ki jo beljenje predstavlja preživetju skoraj četrtine vseh znanih morskih vrst in 500 milijonov ljudi po vsem svetu, terja odločna prizadevanja za ublažitev tega pojava.

Glavni vzrok za beljenje koral je neposredno in posredno človek, kar pomeni, da lahko človek njihovo beljenje tudi prepreči. Več grebenov na Mauiju na Havajih je v letih od 1994 do 2006 izgubilo skoraj 25 odstotkov živih koral, v zalivu Honolulu pa se je število živih koral strmo znižalo z 42 na 9 odstotkov (Sheppard, 2014). Havajski grebeni so še posebej priljubljeni med potapljači, ki so z 800 milijoni dolarjev pomemben vir prihodkov tamkajšnjega turizma. Vendar prav ta množični turizem grebene tudi ogroža.

Havaji sami preprosto ne zmorejo v dovolj veliki meri omiliti globalne grožnje, kar posledično zmanjšuje možnosti preživetja

njihovih koralnih grebenov. Poleg lokalnih so zato nujni predvsem globalni ukrepi.

Kratek vpogled v koralne grebene

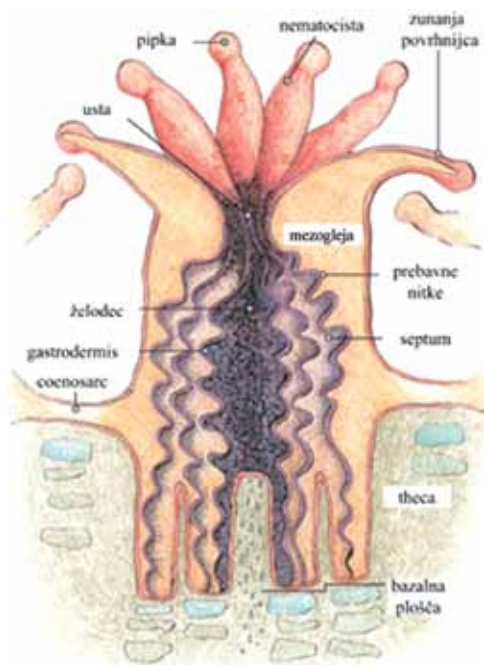
Da bi bolje razumeli kompleksnost koralnih grebenov, moramo poznati njihovo temeljno strukturo in dinamiko. Koralni polip (slika 1) je pri grebenskih koralah osnovna gradbena enota, v kateri potekajo procesi in je pomembna za sožitje (simbiozo) z enoceličnimi algami zooksantelami. Poznavanje njihove anatomije in fiziologije je ključnega pomena za razumevanje, zakaj nekateri »stresorji« ogrožajo njihovo preživetje.

Korale

Kljub temu, da koralni grebeni pokrivajo le desetino odstotka oceanskega dna, so se v zadnjih 50 milijonih let razvili v najbolj zapleten in biotsko raznolik morski ekosistem na Zemlji. V njem lahko živi do 3.000 vrst rib. Sprva se koralne ličinke pritrdijo na skale, ki ležijo na morskem dnu, in se brezspolno razdelijo v tisoče gensko enakih klonov, ki tvorijo korale. V glavnem obstajata dve vrsti koral: tista, ki gradi grebene (hermatipska), in tista, ki jih ne gradi (ahermatipska).

Polipi

Korale so pritrdjeni (sedentarni) kolonijski organizmi. Sestavljeni so iz tisoč posameznih mikroskopsko velikih živalskih polipov, katerih premer je velik od enega do treh milimetrov. Med seboj so povezani s plastjo živega tkiva, imenovanega *cenosark*. Vsak polip ima mehko in prozorno radialno simetrično telo z eno samo telesno votlino, ki jo z zunanostjo povezuje ustna odprtina. Ta je hkrati obdana z ožigalkami, ki vse-



bujejo celice nematociste – z njimi polipi ujamejo in onesposobijo plen (slika 2). Polip tudi izloča kalcijev karbonat (CaCO_3), ki gradi njegovo apnenčasto ogrodje. Koralni polipi lahko to počnejo le v morski vodi, v kateri je izobilje kalcijevih in karbonatnih ionov.

Zooksantele

Korale dobijo sladkor za rast iz enoceličnih alg, ki se imenujejo zooksantele. Z njimi živijo v sožitju. Zooksantele v premeru merijo od osem do deset mikrometrov, zaradi česar so primerne za vgradnjo v simbiozom, to je v gastrodermalni sloj polipa. Simbiozom deluje kot specializirani predel znotraj polipa, v katerem so njegove simbiotske alge. Pigmentacija alg je vidna skozi prozorno oblogo polipa, kar daje koralni živo barvo. Prozorna obloga polipa tudi omogoča, da Sončeva svetloba doseže alge in v njih sproži fotosintezo.

Slika 1: Anatomska struktura polipa.

Vir: NOAA Ocean Service Education, 2017.

Sožitje (simbioza)

Kisik ter 95 odstotkov organskega ogljika, ki ga proizvedejo zooksantele v obliki glicerola, glukoze, aminokislin in lipidov, polip uporabi za svojo rast in presnovne procese. V zameno dobijo alge zaradi presnove polipov neposreden dostop do anorganskih odpadnih produktov, kot je ogljikov dioksid, ki ga uporabijo za fotosintezo. Ta cikel s hranilnimi snovmi je izredno učinkovit in koralam omogoča uspevanje v vodah, ki ne vsebujejo veliko hranil.

Glede na temeljno soodvisnost med koralami in zooksantelami je lahko motnja tega sožitnega (simbiotskega) razmerja izredno škodljiva za zdravje morskih ekosistemov.

Proces beljenja koral

Zooksantele tvorijo osnovo morskega ekosistema koralnih grebenov. Kadar fotosintezo oslabijo okoljski stresorji, korale izženejo zooksantele, zaradi česar se razkrije beli apnenec pod polipom: prav to daje koralam obeljeni videz (slika 3). Ker korale črpajo od 75 do 80 odstotkov hranil iz njihovega simbionta, je obeljena koralna bistvu sestradana (Baird, 2009). Posledično pomanjkanje hranil in adenozin trifosfata (ATP) povzroči, da korale začnejo porabljati lastne rezerve energije. Dolgotrajno stradanje poveča možnost okužbe in na koncu povzroči smrt – razen seveda, če polipi ponovno ne pridobijo simbiotskih alg.

Kot vsaka druga žival ima tudi koralna svoj mehanizem za obvladovanje stresa. Tilakoide so membransko vezane strukture znotraj kloroplastov. Membrana kloroplastov pa vsebuje fotosistemo (fotosistem I in fotosistem II), ki pretvarjata svetlobno energijo v kemično



Slika 2: Koralni polipi z razširjenimi ožigalkami za zajem plena.

Vir: California Academy of Sciences.

Foto: 2009 Mark Yokohama.

energijo (ATP) med svetlobno odvisnimi fotosintetskimi reakcijami. Stresorji zavirajo fotosintezo, kar lahko vodi v nastanek reaktivnih kisikovih spojin ali zvrsti (ROS), kot je vodikov peroksid (H_2O_2). Njihovo kopičenje povzroči neravnovesje med prostimi radikali in antioksidanti ter vodi v oksidativni stres (Lesser, 2006). Posledično so molekularni gradniki kloroplasta, kot so ogljikovi hidrati, lipidi, proteini in DNA, poškodovani. Da bi preprečile širjenje oksidativnega stresa na tkivo polipov, koralne izločajo svoje simbiotiske alge in poskušajo preživeti samostojno. Iz dosedanjih raziskav lahko sklepamo, da je beljenje koralni mehanizem za zaščito pred oksidativnim stresom.

Neinvazivne tehnike fluorescence klorofila kažejo, da je beljenje povezano z izgubo fotokemične učinkovitosti fotosistema II. Pozitivne temperaturne in obsevalne anomalije so močno povezane s fotoinhibicijo (inhibicijo aktivnosti fotosistema II, drugače povedano, z zmanjšanjem fotosintetske aktivnosti). To se pojavlja zaradi neravnovesja med pogostostjo poškodbe in popravljivimi me-

hanizmi fotosistema II. Molekule reaktivnih kisikovih spojin, katerih nastajanje sprožijo ti stresorji, zavirajo sintezo proteinov, ki popravljajo fotosistem II. To tezo podpira raziskava iz leta 1999, ki trdi, da molekule reaktivnih kisikovih spojin zavirajo sintezo proteina D1, ki sodeluje pri fotolizi vode in je pomemben strukturni del fotosistema II (Warner, 1999). Vendar je raziskava iz leta 2009 tudi ugotovila, da fotoinhibicijo povzroči blokada encima rubisco v Calvinovem ciklu med svetlobno neodvisnimi reakcijami fotosinteze (Baird, 2009). Čeprav obe študiji dokazujeta, da težave izvirajo iz tilakoidov, so za ugotovitev natančnega vzroka/vzrokov mehanizma beljenja koral potrebne nadaljnje raziskave.

Globalni in lokalni stresorji, ki povzročajo beljenje koral na Havajih

Glavni stresorji, neposredno povezani z beljenjem koral, so naraščajoče temperature oceanov, zakisanje oceanov, močnejše Sončevo obsevanje in antropogene kemikalije, kot sta oksibenzon in oktinoksat, ki jih najdemo v izdelkih za zaščito pred Soncem. Vendar se znanstveniki strinjajo, da beljenje koral v največji meri povzročajo temperature, višje od povprečja.



Slika 3:
Pobeljeni koralni greben
na Mauiju na Havajih (2015).
Vir: Hoku Hawaii Tours.
Foto: Duke University.

Višje temperature oceanov

Večina vrst hermatipskih koral je zelo občutljiva že za majhne temperaturne spremembe. Najugodnejše temperature za večino vrst takih koral so od 23 do 29 stopinj Celzija (NOAA, 2014).

El Niño je naravni podnebni pojav, ki se pojavlja vsakih dve do sedem let in povzroča nenavadno visoke temperature površinskih voda (temperature, ki so višje od povprečnih) v vzhodnem Tihem oceanu. Povezan je s prvim množičnim obeljenjem havajskih koral v letih od 1997 do 1998. Strokovnjaki ocenjujejo, da je pri takratnem dvigu temperatur propadlo 16 odstotkov svetovnih koralnih grebenov (Wilkinson, 1999). Čeprav je El Niño neodvisen od podnebnih sprememb, ki jih povzroča človek, lahko njun medsebojni vpliv povzroči močno prekomerno segrevanje v morju in celo ogroža bolj temperaturno odporne korale.

Omenjeno tezo podpira zgodnja študija o havajskih koralnih vrstah iz leta 1977, ki je ugotovila, da kratkotrajna toplotna obdelava pri 32 stopinjah Celzija povzroči smrt že v nekaj dneh. Po drugi strani pa dolgotrajna izpostavljenost temperaturi 30 stopinj Celzija postopno povzroči izgubo enake količine zooxantel. Posledično je obeljenje v obeh primerih enako škodljivo (Jokiel, 1977).

Leta 1989 je druga raziskava ugotovila, da je že sedemurna toplotna obdelava vrst koral *Stylophora pistillata* in *Seriatopora hystrix* pri 32 stopinjah Celzija povzročila tisočkrat

večjo izgubo zooxantel kot pri 27 stopinjah Celzija (Hoegh-Guldberg, 1989). Rezultati jasno kažejo, da so korale izjemno občutljive za dvig temperature in da je to zanje smrtonosno. Kombinacija globalnega segrevanja in naravnih do-

godkov, kot je El Niño, resno ogroža prizadevanja, da bi na Havajih uspeli zmanjšati oziroma ustaviti beljenje koral.

Zakisanje oceanov

Drugi globalni stresor je kopičenje koncentracije ogljikovega dioksida v oceanu, ki absorbira približno 25 odstotkov vsega ogljikovega dioksida v ozračju. Ta v morski vodi tvori ogljikovo kislino (H_2CO_3), s čimer znižuje vrednost pH in s tem zakisuje oceane. Na ta način se v morski vodi zmanjša vsebnost karbonata, ki ga potrebujejo korale za gradnjo svojih apnenčastih eksoskeletov. Oslabljeni eksoskeleti povzročijo, da korale postanejo bolj dovzetne za bolezni in zato povečujejo možnost erozije obal v tropskih in subtropskih območjih.

Raven ogljikovega dioksida v oceanih s 350 delci na milijon je že izjemno zaviralna in skoraj smrtonosna za rast koralnih grebenov. (Število delcev na milijon - kratica *ppm* iz angleškega izraza parts per million - je enota za merjenje koncentracije. Definiran je kot število masnih ali volumskih delov izbrane snovi v milijonu delov raztopine ali zmesi.)

Zaskrbljujoče je, da je leta 2013 globalna raven ogljikovega dioksida v oceanu dosegla 400 delcev na milijon (Sheppard, 2014). Brez optimalnega pH zooxantele zapustijo korale, kar ponovno pripelje do obeljenja.



Sončevo obsevanje

Za fotosintezo je potrebna ustrezna količina Sončeve svetlobe ustreznih valovnih dolžin. Če se poveča ultravijolično sevanje z valovnimi dolžinami od 280 do 400 nanometrov, kar je verjetna posledica luknje v Zemljini ozonski plasti, to algam onemogoči optimalno fotosintezo in poškoduje njihov fotosintezni aparat.

Vendar koralje v svojem tkivu vsebujejo posebne proteine, ki sintetizirajo plast fluorescentnega pigmenta, kar uravnava količino svetlobe, ki vstopa v zooxantele (slika 4). Med močnim obeljenjem ta fluorescentna plast včasih postane vidna s prostim očesom in deloma pomaga ohranjati odpornost koral. Preveliko ultravijolično sevanje sproži podobno reakcijo kot visoke temperature. Beljenje se začne pojavljati, ko oksidativni stres povzroči poškodbe fotosistemov in beljakovinskih kompleksov, potrebnih za izvajanje fotosinteze. Raziskava iz leta 1993 je opozorila na povezavo med ultravijoličnim sevanjem in bledenjem: ugotovila namreč je, da kratkotrajno povečanje ultravijolične svetlobe povzroči beljenje in hkrati doseže tudi vse globine osvetljene (fotične) cone (Gleason, 1993). To pomeni, da dvig gladine oceana ne bo preprečil obeljenja, grebeni pod mirno in čisto vodo pa so v največji nevarnosti. Navedena dejstva sicer niso obetavna, vendar so nekateri lokalni ukrepi za ublažitev posledic – na primer zasenčenje vodne površine nad

Slika 4: Fluorescentni pigment hermatipske koralje pod ultravijolično svetlobo. Vir: Poeple4ocean. Foto: pictureboss.com.

občutljivimi grebeni, ki omogoča hlajenje in omejuje ultravijolično svetlobo – lahko kratkoročno uspešni.

Kemikalije

Turizem na plažah Havajem prinaša več milijard dolarjev, povzroča pa tudi onesnaženje morja, saj se približno 25 odstotkov sestavin krem za sončenje s kopalcev spere v ocean že samo po dvajsetih minutah (Danovaro, 2008). Kemikalije v običajnih kremah za zaščito pred Soncem vključujejo oksibenzon in oktinoksat, ki sta znanstveno dokazano odgovorna za hitro obeljenje koral, saj v simbiotskih zooxantelah z latentnimi virusnimi okužbami povzročijo litski cikel. Posledica je, da zooxantele eksplodirajo in jih polip izloči. Raziskovalci so ugotovili, da lahko pride do obeljenja hermatipskih koral že pri zelo nizki izpostavljenosti tem kemikalijam. Študija iz leta 2008 je pokazala, da so v prvih 48 urah po tem, ko so koralje izpostavili 10 mililitrom teh kemikalij na liter kreme za sončenje, te izvrgele velike količine zooxantel, popolno obeljenje pa je bilo vidno že po 96 urah (Danovaro, 2008). Prepoved krem za sončenje, ki vsebujejo te kemikalije, bi lahko pripomogla k zmanjšanju obeljenja koral.

Možne rešitve

Odpornost nekaterih koral je posledica prilagoditve – naravnega procesa, s katerim se vrsta bolje prilagodi okolju z ugodnimi genetskimi mutacijami. Za tako prilagoditev z naravno selekcijo bi potrebovali milijone let. Zaradi podnebnih sprememb pa se zdi, da bi koralje lahko že prej izumrle. Upanje na naravno rešitev koralnih grebenov torej ni zanesljivo. Namesto tega bi lahko spodbujali evolucijo z umetno selekcijo, torej procesom selektivne vzreje organizmov z ugodnimi lastnostmi. Gojenje koral postaja vse bolj perspektivno in lahko obnovi poškodovane

grebene (slika 5).

V primeru, da se gospodarstvo Havajev odloči za sodelovanje z nevladnimi organizacijami, kot sta *Ocean Gardener* ali *Coral Restoration Foundation*, bi s tem lahko pospešili razvoj bolj prilagodljivih vrst koral na svojih grebenih. Naravna prilagoditev koral se je že zgodila v Arabskem zalivu, kjer lahko vrsta koral preživi pri temperaturah od 33 do 34 stopinj Celzija, medtem ko v Indijskem oceanu ista vrsta pogine pri temperaturah od 29 do 30 stopinj Celzija (Sheppard, 2014). Če bi genotipe iz Arabskega zaliva preučili, križali in gojili, bi se njihova številčnost povečala in pomagala omiliti obeljenje.

Mikrofragmentacija je metoda za pospešitev rasti pomembnih hermatipskih koralnih vrst, znanih po počasni rasti. Skupaj s selektivno vzrejo lahko v laboratorijih vzgojijo odporne hermatipske koralne do primerne velikosti v manj kot dveh letih, za kar bi v naravnem okolju potrebovale sto let. Rezultati raziskave so zelo obetavni, kar bi lahko omogočilo obsežno obnovo koralnih grebenov na Havajih in drugod po svetu.

Belize je to že uveljavil v svojem dolgoročnem načrtu ohranjanja koralnih grebenov in beleži 85-odstotno stopnjo preživetja koral po ponovni zasaditvi. To dokazuje, da imajo tudi majhne otoške države, kot so Havaji, možnost reševanja globalnih problemov s sodobnimi rešitvami.

Zakisanje oceanov je veliko težje rešiti, saj je posledica množične uporabe fosilnih goriv. Raziskovalci so že odkrili izvedljivo metodo črpanja ogljikovega dioksida iz oceana, pri čemer tekoče metanolno gorivo pridobijo kot vir energije, kar hkrati pomaga omiliti zakisanje

oceanov (Patterson, 2019). Vendar je ta rešitev zelo omejena in mora biti usklajena z globalnimi ukrepi.

Prepoved prodaje škodljivih krem za sončenje bi zagotovo spremenila navade, saj večina razpoložljivih krem vsebuje za koralne škodljive kemikalije. Po drugi strani je prepoved večine krem za sončenje potencialno lahko zelo nevarna za zdravje, zlasti na Havajih, kjer beležijo tridesetodstotno povečanje števila obolelih za melanomom nad državnim povprečjem (Olbricht, 2018). Alternativi tradicionalnim kremam za zaščito pred Soncem bi lahko bili iskanje sence in pokrivanje kože z oblačili. Na voljo so tudi bolj eksperimentalne nadomestne zaščitne kreme, ki so »grebenom prijazne«. Sestavljene so iz biološko razgradljivih sestavin, kot sta cinkov oksid in titanov dioksid. Problem pa je, da le »blokirata« ultravijolične žarke, namesto da bi jih absorbirala. Vendar velja, da so varne za grebene le, če niso v obliki nanodelcev - ti bi sicer lahko škodili koralam.

Kratkoročni proračunsko prijazni preprečevalni ukrepi vključujejo tudi zasenčenje koralnih grebenov, kar bi jih zavarovalo pred škodljivo ultravijolično svetlobo. Če bi bila na Havajih prednostna naloga aktivna podpora izvajanju takšnih raziskav, bi bilo mogoče v večji meri doseči kratkoročno ublažitev. Gre za omejene rešitve, ki bi jih bilo treba podpreti z učinkovitimi strategijami za boj proti globalnim podnebnim spremembam.



Slika 5: Farma koral, kjer pripravljajo bolj podnebno odporne genotipe koral za naseljevanje na grebene.

Vir: Crop Insurance Solutions.

Zaključek

Sistematična analiza postopkov beljenja koral kaže, da je preživetje koralnih grebenov na Havajih močno odvisno od sožitja med polipom in simbiotskimi algami zooxantelami. Šele sedaj začnemo razumevati molekularne in celične mehanizme, na katerih temelji ta odnos.

Ugotovitve raziskav kažejo tudi, da je blažitev beljenja koral močno odvisna od upoštevanja kratkoročnih in dolgoročnih strategij. Neposredne prepovedi krem za sončenje z oksibenzonom in oktinoksatom bi se lahko dolgoročno pokazale za učinkovite le ob hkratnem zmanjšanju izpustov ogljikovega dioksida. V primeru, da obojega ne dosežemo, bo stopnja ublažive beljenja koral zelo majhna, saj je glavni negativni dejavnik vendarle temperatura.

Raziskava beljenja koral na Havajih obravnava pomembno globalno vprašanje, ki je posledica napačne razporeditve virov in vedénja človeka po vsem svetu. Razviti je treba raziskovalne in napredne projekte, ki bodo vse družbene sloje ozaveščali in izobraževali o tem problemu. Pri tem se je treba zavzemati za širjenje poznavanja ekosistemov koralnih grebenov kot tudi za seznanjanje z njihovim prispevkom h gospodarstvu, podnebjem in nadaljnjemu preživetju našega planeta.

Za razumevanje prihodnosti koralnih grebenov je ključno temeljito razumevanje molekularnih in fizioloških mehanizmov. Pomembno je razumeti, do katere temperature korale lahko preživijo, kar je določeno tudi z njihovim genskim zapisom. Z razumevanjem vseh teh dejavnikov bi lahko določili, kdaj se začne beljenje koral. Rezultati znanstvenih raziskav bodo tvorili nepogrešljiv del za oblikovanje in izvajanje družbenih in gospodarskih strategij in politik za obnovo koralnih grebenov in za ustrezno spodbujanje njihovega ohranjanja.

Ta zaključek podpira tezo, da je mogoče najti ustrezne rešitve le ob sodelovanju interdisciplinarnih ekip strokovnjakov.



Tina Travnik je na svojo raziskovalno pot stopila na mednarodni šoli La Grande Boissière v Ženevi. Ta šola je bila prva mednarodna šola na svetu, ki je leta 1968 tudi uvedla tako imenovano

mednarodno maturo (International Baccalaureate - IB). Že takoj jo je pritegnila biologija, ki jo je z odliko zaključila na visoki ravni. Svoja prva raziskovanja je namenila morskim koralam. Še posebno jo zanima vpliv okolja na njihov razvoj. Poglobljeno in s pomočjo znanstvenih dognanj dokazuje možnost preživetja koral. Njen cilj je prebuditi različne gospodarske panoge, da bi sprejele konkretne ukrepe za izboljšanje okoljevarstvenega stanja..

Slovarček:

Ahermatipske korale. Korale, ki ne gradijo grebenov.

Apnenčasti eksoskelet. Zunanji skelet hermatipskih koral, katerih polipi ustvarijo in na njih rastejo.

Adenozin trifosfat (ATP). Molekula, ki jo najdemo v vseh živih celicah in zagotavlja energijo za izvajanje celičnih procesov.

Cenosark. Tanka plast živega tkiva, ki povezuje koralne polipe na grebenu.

Fotične cone. Površinska plast oceana, ki sprejema Sončevo svetlobo.

Fotoinhibicija. Zaviranje fotosinteze, ki jo povzročijo poškodbe fotosistemov (FII) zaradi visoke ravni ultravijolične svetlobe.

Fotosistema (fotosistem I in fotosistem II). Proteini, vgrajeni v tilakoidni membrani, ki pretvorijo svetlobno/Sončevo energijo (energijo fotonov) v kemično energijo.

Hermatipske korale. Korale ki gradijo grebene.

Mikrofragmentacija. Metoda za pospešitev rasti hermatipskih koral.

Oksibenzon in oktinoksat. Organski spojini

v kremah za sončenje, za kateri je bilo ugotovljeno, da povzročata obeljenje koral.

Reaktivne kisikove spojine ali zvrsti (ROS).

Vrsta nestabilnih molekul/radikalov, ki vsebuje kisik in zlahka reagira z drugimi molekulami v celici. Preveliko kopičenje reaktivnih kisikovih spojin v celicah lahko povzroči poškodbe DNA, RNA in proteinov ter celično smrt.

Simbiont. Organizem, ki živi v sožitju (simbiozi) z drugim organizmom.

Simbiozom. Specializirani predel v gostiteljski celici, v katerem je endosimbiont v sožitnem (simbiotskem) razmerju.

***Stylophora pistillata* in *Seriatopora hystrix*.** Vrsti koral iz indopacifiške regije.

Tilakoide. Del membran v kloroplastih, na katerih poteka fotosinteza. Ključni proteini v tem procesu so vgrajeni znotraj tilakoidne membrane in se imenujejo fotosistemi I (FI) in fotosistemi II (FII).

Zooksantele (*Zooxanthellae*). Enocelične alge, ki lahko živijo v sožitju (simbiozi) z različnimi morskimi nevretenčarji, kot so tudi korale.

Literatura:

AuMarc, M., 2017: *Build a Coral Polyp*. California Academy of Sciences. www.calacademy.org/educators/lesson-plans/build-a-coral-polyp. Dostop 11. septembra 2019.

Baird, A. H., Bbagooli, R., Ralph, P. J., Takahashi, S., 2009: *Coral Bleaching: the Role of the Host*. *Trends in Ecology & Evolution*, 24 (1): 16–20. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169534708003236>.

Bleaching on Hawaii's Coral Reefs: What's Going On?, 2015: Digital image. Hoku Hawaii Tours. www.hokuhawaiiitours.com/bleaching-on-hawaiis-coral-reefs-whats-going-on/. Dostop 15. oktobra 2019.

Coral colony fluorescing under UV-light in the Philippines, 2019: Digital image. People4ocean. (April 2, 2019). <https://www.people4ocean.com/full-blog-posts/corals-may-be-wearing-natures-best-sunscreen>. Dostop 26. novembra 2019.

Coral farming. Digital image. Dostop 28. novembra 2019. <http://cropinsurancesolutions.com/coral-farming/>.

Danovaro, R., Bongiorno, L., Corinaldesi, C., Giovannelli, D., Damiani, E., Astolfi, P., Greci, L., Pusceddu, A., 2008: *Sunscreens Cause Coral Bleaching by Promoting Viral Infections*. *Environmental Health Perspectives*, 116 (4): 441–47. <https://doi.org/10.1289/ehp.10966>. Dostop 10. septembra 2019.

Diagram of Polyp Anatomy, 2017: Digital image. NOAA Ocean Service Education. https://oceanservice.noaa.gov/education/kits/corals/media/supp_coral01a.html#top. Dostop 11. septembra 2019.

Gleason, D. F., Wellington, G. M., 1993: *Ultraviolet Radiation and Coral Bleaching*. *Nature*, 365 (6449): 836–838. <https://doi.org/10.1038/365836a0>.

Hoegh-Guldberg, O., Smith, G. J., 1989: *The Effect of Sudden Changes in Temperature, Light and Salinity on the Population Density and Export of Zooxanthellae from the Reef Corals Stylophora Pistillata Esper and Seriatopora Hystrix Dana*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 129 (3): 279–303. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(89\)90109-3](https://doi.org/10.1016/0022-0981(89)90109-3). Dostop 11. septembra 2019.

Jokiel, P. L., Coles, S. L., 1977: *Effects of Temperature on the Mortality and Growth of Hawaiian Reef Corals*. *Marine Biology*, 43 (3): 201–208. <https://doi.org/10.1007/bf00402312>. Dostop 13. oktobra 2019.

Lesser, M. P., 2006: *Oxidative Stress in Marine Environments: Biochemistry and Physiological Ecology*. *Annual Review of Physiology*, 68 (1): 253–278. <https://doi.org/10.1146/annurev.physiol.68.040104.110001>. Dostop 17. oktobra 2019.

Olbricht, S. M., 2018: *American Academy of Dermatology Association Statement on Sunscreen Access*. American Academy of Dermatology Association. <https://www.aad.org/news/aada-statement-on-sunscreen-access>.

Patterson, B. D., Mo, F., Borgschulte, A., Hillestad, M., Joos, F., Kristiansen, T., Sunde, S., Van Bokhoven, J. A., 2019: *Renewable CO₂ Recycling and Synthetic Fuel Production in a Marine Environment*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116 (25): 12212–12219. <https://doi.org/10.1073/pnas.1902335116>. Dostop 20. novembra 2019.

Sheppard, C., 2014: *Coral Reefs: A Very Short Introduction*. Oxford: Oxford University Press.

US Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, 2014: *In What Types of Water Do Corals Live?* NOAA's National Ocean Service, August 1, 2014. <https://oceanservice.noaa.gov/facts/coralwaters.html>.

Warner, M. E., Fitt, W. K., Schmidt, G. W., 1999: *Damage to Photosystem II in Symbiotic Dinoflagellates: A Determinant of Coral Bleaching*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96 (14): 8007–8012. <https://doi.org/10.1073/pnas.96.14.8007>. Dostop 7. novembra 2019.

Wilkinson, C. R., 1999: *Global and Local Threats to Coral Reef Functioning and Existence: Review and Predictions*. *Marine and Freshwater Research*. <https://doi.org/10.1071/mf99121>. Dostop 19. septembra 2019.