ALTERNATOR
Misliti znanost.

Življenje v meduzi: primer simbioze zooksantel in morske cvetače

9. 6. 2022

Številka: 23/2022

Avtorica:

- Vesna Flander Putrle



Foto: Tihomir Makovec

Sožitje ali simbioza, ko dva različna organizma živita v skupnosti, ki je za oba koristna, je prisotno pri mnogih organizmih. Pri morskih organizmih je zelo razširjena tudi *fotosimbioza*. To je sožitje med živalskimi gostitelji (heterotrofi) in endosimbiontskimi algami, ki lahko opravljajo fotosintezo (avtotrofi). Najdemo jo pri ožigalkarjih, spužvah, mehkužcih in celo pri protistih (https://sl.wikipedia.org/wiki/Protisti) . Kljub dokazani biotski raznovrstnosti fotosimbioze se večina literature (https://digitalcommons.usf.edu/bin_facpub/442/) osredotoča na preučevanje kamenih koral, ki so osnova koralnih grebenov, enega najpomembnejših in najbolj ogroženih ekosistemov na svetu. Veliko manj pa je znanega o simbiotičnih meduzah, čeprav se zaradi povečevanja populacij teh organizmov v nekaterih območjih zanimanje zanje in njihovo vlogo v ekosistemu povečuje. Z meduzami živijo v sožitju zooksantele iz skupine ognjenih alg ali dinoflagelatov, ki so specializirane za gostitelja. Zanimivo je dejstvo, da v eni meduzi nikoli ne najdemo dveh ali več različnih vrst endosimbiontov, kot je značilno za korale.

Sredozemska meduza morska cvetača (*Cotylorhiza tuberculata*) je ena tistih simbiotičnih meduz, katerih številčnost se je v zadnjih desetletjih povečala. Kot večina ožigalkarjev ima tudi morska cvetača dvodelni življenjski cikel z izmenično spolno (plavajoča meduza) in nespolno fazo (pritrjen polip). Pri tej vrsti se simbiotična združba vzpostavi zgodaj v življenjskem ciklu meduze, v fazi polipa. Zdi se, da ima prisotnost gostiteljsko specializiranih zooksantel pomembno vlogo pri prehodu iz pritrjenega polipa v prostoživečo meduzo, znanem kot *strobilacija*. Kot pri večini simbiotičnih meduz tudi polipi morske cvetače svoje simbionte pridobijo iz okolja; alge pa se nato prek lizosomov vključijo v celice meduznega tkiva. Gostiteljsko

specializirane zooksantele, povezane z vrstami meduz, spadajo v družino Symbiodiniaceae, ki obsega številne raznolike rodove in vrste, z velikimi razlikami v ekologiji in geografski razširjenosti. Zooksantele so različno porazdeljene v gostiteljevem telesu, vendar so bolj skoncentrirane v ustnih ramenih meduze. Pri odrasli meduzi so razporejene vzdolž notranje prebavne votline, kar kaže na pomen zooksantel pri prehrani meduze. Simbioza koristi tako gostitelju kot simbiontu. Simbiotične zooksantele s fotosintezo proizvajajo organske spojine, ki jih porablja tudi gostiteljska meduza v meduzni fazi in na ta način pridobi večino hrane. V zameno za hrano pa meduza algi zagotavlja dušik in fosfor. Pomembna vloga simbiontov v prehrani meduz je tudi razlog, da lahko gostitelj razvije nekatere vedenjske in morfološke prilagoditve, da bi ohranil svoje fotosintetske partnerje v najboljših svetlobnih pogojih. In prav to, da zooksantele živijo v optimalnih svetlobnih razmerah za fotosintezo, je lahko dodaten razlog za povečevanje populacije morske cvetače.

Vloga meduze v simbiotski zvezi alga-meduza

Svetlobno okolje, ki obdaja zooksantele, je ključen dejavnik za razumevanje fotosimbioze. Produktivnost fotosimbioze je odvisna od količine in kakovosti svetlobe v okolju oziroma z drugimi besedami od pretoka fotonov in spektralne sestave svetlobe, ki doseže alge v meduzi. Zato so globina, na kateri meduza živi, in značilnosti okolne morske vode ter senca in zaščita, ki jo zagotavlja samo telo meduze, pomembne pri simbiozi meduze in zooksantel. Spektralna sestava svetlobnega polja v tkivu meduze je lahko ključen dejavnik, ki uravnava fotosintezo simbionta. Svetlobno polje, ki je na voljo simbiontom, ki živijo v telesu meduze, je odvisno od optičnih lastnosti tkiv gostitelja in se zaradi sipanja ter absorpcije razlikuje od vpadnega okoljskega sevanja. V tkivu klobuka morske cvetače smo izmerili dva absorpcijska vrhova v ultravijoličnem delu spektra, pri približno 270 in 330 nm. Absorpcija svetlobe v tkivu treh delov klobuka meduze (rob klobuka, prozorni del in osrednji del) je visoka pri ultravijoličnih valovnih dolžinah (pod 400 nm), kar kaže, da ima meduzno tkivo pomembno vlogo pri zaščiti simbiontov pred UV-sevanjem. UV-sevanje je najbolj škodljiv del svetlobnega spektra, za katerega je znano, da negativno vpliva na fiziološke in celične procese ter poškoduje gostiteljsko tkivo in fotosintezni aparat alg. Te visokoenergijske valovne dolžine povzročajo poškodbe v biološko pomembnih molekulah, kloroplastu in fotosinteznem aparatu, kar povzroča fotoinhibicijo.

Struktura klobuka morske cvetače zagotavlja različna svetlobna okolja. Temno obarvana osrednja kupola kaže visoko absorpcijo ne le v UV-območju, temveč tudi v območju fotosintetsko aktivnega sevanja (PAR; 580–630 nm). Ta del tkiva povzroči do 75 % oslabitev gostote svetlobnega toka, kar lahko sčasoma povzroči omejitev svetlobe za fotosintezno aktivnost simbionta. Gostota svetlobnega toka v gostiteljevem belem tkivu v debelejšem delu klobuka pade za 44 %. Simbionti so še posebej številni vzdolž radialnih kanalov gastrovaskularnega sistema v osrednji kupoli klobuka, ki zagotavlja zaščito pred UV-sevanjem. Rob klobuka, ki je tanjši del klobuka meduze, pa zagotavlja le 14-odstotno oslabitev gostote svetlobnega toka. Vendar je tu absorpcija povišana v območju UV spektra, medtem ko ostaja zelo nizka v območju PAR, kar nakazuje, da tu ne prihaja do omejevanja svetlobe, zaradi česar bi lahko svetlobne razmere v tem območju škodile endosimbiontskim algam. Vendar se to ne zgodi, saj v tem tkivu endosimbiontske alge niso bile najdene.

Svetloba, ki doseže alge v gostitelju, je odvisna tudi od globine, na kateri se gostitelj nahaja, značilnosti okolne morske vode in vpadne obsevanosti. Znano je, da simbiotične meduze izvajajo kompleksne horizontalne in vertikalne selitve in/ali cirkadiano uravnavano krčenje tkiv, da bi zagotovile najboljše svetlobne pogoje in optimizirale fotosintezo svojih endosimbiontov. Meduza tako ščiti simbionte pred negativnimi učinki UV-sevanja in ublaži povečano intenziteto svetlobe, ki doseže dinoflagelate v gostitelju, s čimer se izogne fotoinhibiciji in poškodbam v fotosinteznem aparatu alg. Seveda pa imajo tudi pigmenti dinoflagelata pomembno vlogo pri zaščiti fotosinteznega aparata.

Dokazan je torej velik pomen tkiva meduze, ki ublaži povišano obsevanje iz okolja v zgornjem delu vodnega stolpca in absorbira škodljivo UV-sevanje. Vertikalna porazdelitev simbiotičnih meduz, ki zasedajo določeno globinsko območje, da pridobijo dovolj kisika za dihanje in svetlobe za fotosintezo, je bila predhodno raziskana (https://doi.org/10.1007/s00227-003-1155-z) tudi pri drugih simbiotičnih meduzah. Na optimalno globino morske cvetače lahko vplivajo prodor svetlobe, motnost vode, sezonska intenzivnost svetlobe in oblačnost. Zato se bodo meduze na spremembe v vodnem stolpcu odzvale tako, da bodo izbrale globino, ki bo ustrezala njihovi optimalni fiziološki toleranci in maksimizirala fotosintezo endosimbiontov.

Razporeditev simbiontskih alg v telesu meduze

Številčnost simbiontskih alg je pomembna značilnost simbioze, saj neposredno vpliva na količino kisika, proizvedenega s fotosintezo. Na gostoto endosimbiontov pri simbiotičnih meduzah vpliva njihov zapleten življenjski cikel. Pri morski cvetači se simbionti pridobijo v fazi polipa in dosežejo gostoto med 100 in 300 algnih celic/mm^2. Med strobilacijo se alge razmnožujejo v ustnem predelu polipa, kjer se tvorijo efire – klobučnjaki na razvojni stopnji med polipom in meduzo, ki se sproščajo v okolno morsko vodo. Po drugi strani pa med rastjo meduze številčnost endosimbiontov pri večini vrst ostaja nespremenjena ali se rahlo zmanjša na do 106 celic na gram mokre mase.

Endosimbiotske alge so v telesu meduze heterogeno razporejene, pri čemer so približno 5,5-krat gostejše v ustnih ramenih kot v klobuku. Ta heterogenost je lahko posledica različnih funkcij in morfologije delov telesa meduze. Ustna ramena delujejo kot sprejemni organ ter so tako okolje, bogato s hranili za prehrano simbiontov in posledično za primarno produkcijo alg. Poleg tega so ustna ramena in lovke vijugasto pregibani, kar zagotavlja veliko površino za gostitev mikroalg. Po drugi strani pa ima klobuk dobro razvito organizacijo mišičnih celic, ki omogočajo aktivno krčenje in premike med gibanjem meduze. V tem delu živali so simbionti skoncentrirani v radialnih kanalih gastrovaskularnega sistema. Na

večjo prisotnost simbiontov v teh organih kažejo tudi povišane vrednosti cinka, izmerjene v ustnih ramenih morske cvetače (4-krat višje kot pri klobuku), saj je cink ključni element encima karbonska anhidraza pri algah. Pri morski cvetači je bila gostota simbiontov neodvisna od velikosti telesa, gostota celic pa je bila podobna kot pri nekaterih drugih meduzah, pri katerih je bila gostota simbiontov prav tako dva- do trikrat večja v ustnih ramenih kot v klobuku. Ta ugotovitev (https://doi.org/10.1007/BF00386597) je skladna tudi z večjimi vrednostmi ogljika, izmerjenimi v ustnih ramenih morske cvetače. Na splošno je za meduze značilna visoka vsebnost vode (> 95 %) in nizka vsebnost ogljika (< 1 % mokre mase), kar jim omogoča veliko večje povečanje velikosti kot neželatinoznim živalim z enako vsebnostjo ogljika. Ta sestava prav tako ponuja številne prilagoditvene prednosti, ki skupaj z ostalimi zgoraj omenjenimi prilagoditvami najverjetneje vplivajo na povečevanje populacije morske cvetače.

Kljub temu da je 20–25 % vrst klobučnjaških meduz v simbiozi z zooksantelami, osnovnih informacij o biologiji in ekologiji večine vrst še vedno primanjkuje. Naše delo (https://doi.org/10.3389/fmars.2022.817312) lahko prispeva k znanstvenemu znanju o ekologiji simbiotičnih meduz. Potrebne so prihodnje raziskave biologije manj raziskanih simbiotičnih meduz in njihovih specializiranih endosimbiontskih dinoflagelatov z uporabo bolj sistematičnega pristopa ter novejših metod. Ker večina našega znanja o fotosimbiozi izvira iz preučevanja kamenih koral, bi lahko zanimiva raziskovalna vprašanja in zamisli za prihodnje raziskave črpali tudi iz znanja ter izkušenj s tega znanstvenega področja.

https://www.alternator.science/sl/krajse/zivljenje-v-meduzi-primer-simbioze-zooksantel-in-morske-cvetace/