ALTERNATOR
Misliti znanost.

Vpliv množičnega pojavljanja meduz na morske ekosisteme

30. 11. 2023

Številka: 34/2023

Avtorica:

- Tinkara Tinta

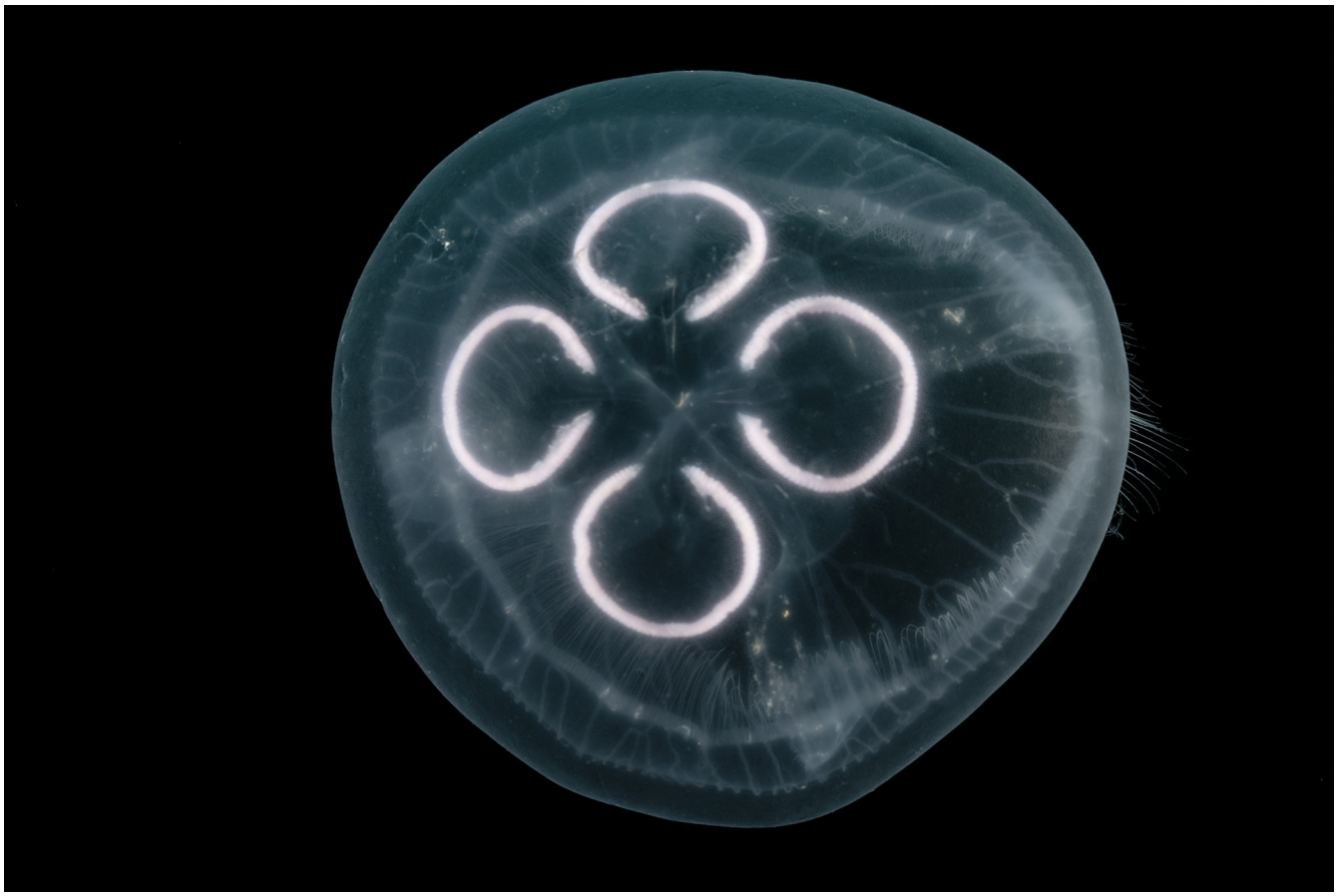


Foto: © Borut Furlan, 2023 (raba fotografije je s strani tretjih oseb prepovedana)

V zadnjem času v različnih morskih ekosistemih po svetu zaznavamo porast množičnega pojavljanja populacij določenih organizmov oziroma tako imenovanega cvetenja. Vzroki niso jasni, pojav pa se povezuje z različnimi antropogenimi dejavniki in klimatskimi spremembami ter posledičnim propadanjem morskih ekosistemov, vse to pa lahko ustvarja razmere, v katerih uspevajo določene skupine organizmov. Po drugi strani pa gre lahko le za naravna nihanja populacije določenih morskih organizmov, saj o pojavnosti in številčnosti marsikaterih vrst vemo zelo malo. To je posledica nedoslednih monitoringov morskih ekosistemov zaradi pomanjkanja financiranja raziskav morja, a tudi tehnoloških težav, povezanih s spremljanjem določenih vrst organizmov, zlasti na odprtem morju in v oceanih. Ena najbolj izmuzljivih in enigmatičnih skupin organizmov, ki se lahko pojavlja množično in je v porastu, so nekateri predstavniki želatinoznega zooplanktona. V to raznoliko skupino krhkih in pogosto prosojnih organizmov spadajo rebrače (*Ctenophora*), salpe (*Chordata*, *Thaliacea*) in različni morski črvi (*Chaetognatha*), pa tudi nekateri razvojni stadiji organizmov iz debel *Annelia*, *Mollusca* in *Arthopoda* ter seveda knidarijske oziroma ožigalkarske meduze (*Cnidaria*, *Medusozoa*).

Meduze iz debel *Ctenophora* in *Medusozoa* so zagotovo med tistimi morskimi organizmi, ki tvorijo najbolj izjemna cvetenja, ki lahko prekrivajo več kvadratnih kilometrov in vsebujejo tudi več kot 10 ton mokre mase na 100 kubičnih metrov. Množično pojavljanje meduz lahko negativno vpliva na delovanje morskih ekosistemov, pa tudi na dejavnosti, ki jih morski ekosistemi omogočajo človeku, saj lahko veliko število meduz povzroča težave ribogojcem, ribičem in seveda tudi turistom, ki se v morju kopajo. Meduze se lahko množično pojavijo zaradi značilnega življenjskega cikla in nizkih potreb

njihovega metabolizma v primerjavi z zelo hitro rastjo (Acuña idr. 2011 (https://doi.org/10.1126/science.1205134)). Pri večini ožigalkarskih meduz se oplojeno jajčece razvije v ličinko, ki se kot polip pritrdi na podlago, iz njega pa lahko z nespolno delitvijo (strobilacijo) ob primernih pogojih v kratkem času nastane veliko število ploskih brstov (strobil). Iz njih se v ustreznih razmerah začne tvoriti veliko število efir, iz katerih se razvijejo mlade meduze, ki prosto plavajo. Krog se zaključi, ko meduze dosežejo spolno zrelost in pričnejo izločati spolne celice. Meduze so zelo učinkoviti plenilci rastlinskega in živalskega planktona, pa tudi ribjih mladic in celo drugih (ali enakih) vrst meduz.

Po zadnjih ocenah naj bi meduze na globalni ravni preko plenjenja rastlinskega in živalskega planktona za svojo rast porabile med 7,9 in 13 petagramov ogljika na leto. To pomeni, da je letna produkcija meduz v zgornjem, osvetljenem delu oceanov med 3,9 in 5,8 petagrama ogljika (Luo idr. 2020 (https://doi.org/10.1029/2020GB006704)), to pa je nezanemarljivo v primerjavi s primarno globalno produkcijo (7,8–11,6 odstotka, Tinta idr. 2021 (https://doi.org/10.1002/lno.11741)), ki je približno 50 petagramov ogljika na leto (Field idr. 1998 (https://doi.org/10.1126/science.281.5374.237)). Po zadnji oceni je tako v povprečju v biomasi ožigalkarskih meduz v zgornjih 200 metrih oceanov in morij shranjenih približno 290 teragramov ogljika (Luo idr. 2020 (https://doi.org/10.1029/2020GB006704)). Nekatere raziskave kažejo na porast meduz na svetovnem nivoju, predvsem v obalnih ekosistemih. Kot že rečeno, gre lahko le za naravno nihanje populacije, saj o številčnosti meduz v svetovnih morjih vemo zelo malo, ker te niso del dolgoletnih programov monitoringa, poleg tega pa spremljanje števila meduz predstavlja velik tehnološki problem (Lebrato idr. 2012 (https://doi.org/10.1007/s10750-012-1046-8) ; Tinta idr. 2021 (https://doi.org/10.1002/lno.11741)). Nekateri raziskovalci domnevajo, da bi lahko bile meduze, ki imajo evolucijsko starost več kot 600 milijonov let, zaradi svojih izjemnih sposobnosti prilagoditve na spreminjanje razmer v okolju zmagovalke scenarijev, ki se napovedujejo za morja in oceane prihodnosti (tj. dvig temperature morja, zakisanje oceanov, zmanjšanje koncentracije kisika v morju, povečanje infrastruktur v morju, ki pomenijo substrat za polipe meduz). Da bi bolje razumeli vlogo meduz v morskih ekosistemih, bi morali med drugim dobro poznati njihovo številčno zastopanost v svetovnih morjih in oceanih, od površja pa vse do dna.

Vpliv propada populacije meduz na kroženje snovi v morju

Cvetenja meduz so pogosto sezonska, pojavijo se hitro in so kratkotrajna (od nekaj tednov do nekaj mesecev), velikokrat pa sledi drastičen propad populacije, kar lahko pomembno vpliva na morski ekosistem (Pitt idr. 2014 (https://doi.org/10.13140/2.1.3574.1124)). Takšen kolaps populacije lahko pomeni nenaden velik vnos številnih odmrlih meduz v prehranjevalni splet. Z njimi se lahko zgodi naslednje: (i) lahko postanejo hrana mrhovinarjem; (ii) lahko razpadejo na delce različnih velikosti, ki različno hitro tonejo, preden postanejo hrana raznolikim organizmom v različnih globinah morja; (iii) organska snov, ki sestavlja meduze, lahko postane hrana za mikroorganizme, ki prebivajo v vodnem stolpcu; (iv) lahko pa tudi potonejo na dno, kjer jih razgradijo organizmi, ki prebivajo na sedimentu (Tinta idr. 2021 (https://doi.org/10.1002/lno.11741)). Razumevanje usode organske snovi, ki je shranjena v meduzni biomasi, je pomembno, saj lahko meduze le tako pravilno vključimo v oceanske biogeokemične modele. Takšni modeli pa nam lahko pomagajo razumeti, kako bodo prihodnje spremembe v morskih ekosistemih, kot je na primer porast meduz, vplivale na kroženje snovi, na primer ogljika, v okolju. Po nekaterih zadnjih modelskih ocenah naj bi meduzna biomasa (in ogljik, ki je shranjen v njej) v veliki meri potonila do različnih globin in celo do dna oceanov in s tem pomembno prispevala k tako imenovani biološki ogljični črpalki (angl. *biological carbon pump*). Biološka ogljična črpalka je proces tonjenja ogljika, ki nastane v postopku nastajanja organske snovi na površju oceanov (na primer s fotosintezo), v globine oceanov oziroma proti dnu. Pomembno pripomore k sekvestraciji oziroma zadrževanju ogljika v oceanih – ali z drugimi besedami: k odstranjevanju ogljikovega dioksida iz atmosfere (Ličer idr. 2023 (https://doi.org/10.22541/essoar.169754927.71150576/v1)).

Organska snov v morju je mešanica zelo raznolikih organskih spojin različnih kompleksnosti, v morski kemiji pa jo glede na velikost delcev delimo na organske delce (angl. *particulate organic matter*) in raztopljeno organsko snov (angl. *dissolved organic matter*). Raztopljena organska snov v morju predstavlja eno največjih skladišč ogljika v biosferi – po zadnjih ocenah vsebuje približno 662 petagramov ogljika (Hansell idr. 2009 (https://www.jstor.org/stable/24861036)). Ključno vlogo pri razgrajevanju raztopljene organske snovi do anorganskih gradnikov odigrajo prav najmanjši, a hkrati najbolj številčni, aktivni in raznoliki prebivalci morja – mikroorganizmi (Azam in Malfatti 2007 (https://doi.org/10.1038/nrmicro1747)). Raziskave kažejo, da so meduze v veliki meri sestavljene iz labilne, s proteini bogate raztopljene organske snovi (Tinta idr. 2020 (https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.590995)). To pomeni, da je velik del meduzne organske snovi praktično ekskluzivno dostopen prav mikroorganizmom, ki lahko zato pomembno vplivajo na usodo te snovi v morski ekosistemih. Interakcije med mikroorganizmi in meduzami kot pomembnega, a spregledanega vira raztopljene organske snovi so bile do sedaj v veliki meri neraziskane, njihov vpliv na biogeokemijske cikle v morju in delovanje morskih ekosistemov pa neznan.

Bakterijska razgradnja meduz

V nedavno objavljenih raziskavah smo podrobno raziskali proces mikrobne razgradnje odmrle meduzne biomase. Želeli smo razumeti, kakšen je odziv mikrobne združbe na raztopljeno organsko snov meduznega izvora, kateri predstavniki mikrobne združbe igrajo glavno vlogo v tem procesu in kateri so končni produkti mikrobne razgradnje, ki se sprostijo v okoljski sistem. Oblikovali smo laboratorijske eksperimente, v katerih smo naravno združbo morskih mikrobov izpostavili organski snovi odmrlih meduz. S pomočjo kompleksnih metod molekularne biologije in kemije smo spremljali, kaj se dogaja. Ugotovili smo, da lahko naravna bakterijska združba v morju v manj kot dveh dneh razgradi večino raztopljenih

organskih spojin in anorganskih hranil, ki se sprostijo med propadom tipičnega cvetenja meduzne populacije v obalnem morskem ekosistemu (Tinta idr. 2020 (https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.590995)). Za bakterijsko združbo, ki tako uspešno razgradi raztopljeno organsko snov odmrlih meduz, je značilna zelo hitra rast (veliko hitrejša, kot je običajno za morske bakterije) in visoka učinkovitost rasti (Tinta idr. 2020 (https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.590995)). To pomeni, da bakterije spojine iz meduz uporabijo za izgradnjo svoje biomase in ne le za dihanje, tako pa ogljik iz meduz ostane v prehranjevalnem spletu v morju (npr. ko bakterije odmrejo, se ogljik sprosti v okolje in postane hrana drugim mikroorganizmom) in se ne izgubi v atmosfero v obliki ogljikovega dioksida. Razumevanje tega procesa je zelo pomembno za pravilno vključevanje meduz v modele kroženja snovi, npr. ogljika, v okolju, kar je bistveno za razumevanje odziva morskih ekosistemov na spremembe v prihodnje. Končni produkt bakterijske razgradnje z beljakovinami bogate meduzne biomase je po naših ugotovitvah kopičenje nezanemarljivih koncentracij amonija in fosfata, kar lahko pomembno vpliva na delovanje morskega ekosistema, saj amonij in fosfat predstavljata hrano za rastlinski plankton, predvsem v morjih, v katerih je manj hranil.

Naše analize so pokazale, da hiter in množičen propad meduznih populacij v morju pomembno spremeni tudi sestavo naravne mikrobne združbe v morju. Mikrobno združbo, ki tako dobro uspeva na odmrlem tkivu meduz, namreč sestavljajo prav posebne skupine bakterij iz rodov *Pseudoalteromonas*, *Vibrio* in *Alteromonas*, ki navadno niso tako množično zastopane v mikrobni združbi obalnega morskih ekosistemov (Tinta idr. 2020 (https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.590995)). Da bi dobili vpogled v metabolizem bakterij, ki tako uspešno razgrajujejo odmrlo tkivo meduz, smo uporabili najnovejša orodja molekularne biologije in bioinformatike, kot so metagenomika in metaproteomika (Tinta idr. 2023 (https://doi.org/10.1186/s40168-023-01598-8)). Naše analize so pokazale, da vsaka od omenjenih bakterij zasede drugo nišo, in na ta način pripomore k razgradnji odmrle meduzne biomase. Populacija *Pseudoalteromonas* izloča velike količino encimov za razgradnjo kompleksnih beljakovin, kot je na primer kolagen; populacija *Alteromonas* razgrajuje kompleksne ogljikove hidrate in organofosforne spojine; populacija *Vibrio* pa istočasno sintetizira posebne beljakovine, ki so potrebne za privzem enostavnih peptidov in ogljikovih hidratov v celico (Tinta idr. 2023 (https://doi.org/10.1186/s40168-023-01598-8)). Naša raziskava je torej pokazala, da se med bakterijami, ki so izpostavljene kompleksnemu substratu, kot je odmrla snov meduz, vzpostavijo zelo različni tipi in ravni interakcij – od sodelovanja (na primer med pripadniki rodov *Pseudoalteromonas* in *Alteromonas*) in antagonizma (na primer ostalih bakterijskih skupin do alfaproteobakterije *Thalassobius*, ki poraste šele v zadnji fazi razgradnje, ko druge bakterijske populacije že odmirajo) do obstoja tako imenovanih goljufov, kot je v tem primeru *Vibrio*, ki uspeva na račun ostalih članov konzorcija (Tinta idr. 2023 (https://doi.org/10.1186/s40168-023-01598-8)). Izkazalo se je, da mora bakterijska skupnost kompleksno presnovno mrežo upravljati v časovni kaskadi biokemičnih reakcij, da razgradi spojine, specifične za cvetenje meduz.

Če povzamemo: propad množične meduzne populacije pomembno vpliva na spremembo sestave in funkcije mikrobne združbe v morju, in sicer na način, ki je zelo drugačen od sprememb, ki jih sproža cvetenje rastlinskega planktona kot pogost pojav v morskih ekosistemih. Iz tega sledi, da pojavljanje in posledično nenadno propadanje meduznih populacij lahko bistveno vpliva na delovanje morskih ekosistemov. Pomemben vidik metabolnega odziva mikrobnih populacij na odmrlo biomaso meduz je pospešena sinteza specifičnih izven celičnih encimov, kot so na primer kolagenaze, ki poleg razgradnje kompleksnih beljakovin, kot je na primer kolagen, delujejo tudi kot virulentni faktorji tako za morske organizme kot za ljudi. S tem znatno vplivajo na delovanje morskih ekosistemov in na dejavnosti, ki jih morski ekosistemi omogočajo človeku (Tinta idr. 2023 (https://doi.org/10.1186/s40168-023-01598-8)). Končni produkti mikrobne razgradnje, kot so različni mikrobni metaboliti, anorganska hranila in encimi, pa lahko bistveno vplivajo tudi na kroženje snovi v morskem ekosistemu (Tinta idr. 2021 (https://doi.org/10.1002/lno.11741)). V prihodnje bi bilo raziskave iz laboratorija dobro prenesti v naravne sisteme, kar pa zaradi izmuzljive narave meduz in omejenosti s tehnologijo, ki je trenutno na voljo, predstavlja velik zalogaj. Kljub temu pa obstoječe raziskave pomenijo pomemben korak k razumevanju interakcij med mikrobi in meduzami, njihovo razumevanje pa je ključno za pravilno vključevanje meduz v modele kroženja snovi v morju.