

zaštita okoliša

Uređuje: Vjeročka Vojvodić

Klimatske promjene i plankton u moru

Iz časopisa **Trends in Ecology and Evolution** (Vol. 20, No. 6 od lipnja 2005) prenosimo dijelove članka (I. dio) o promjeni klime i planktonskim zajednicama te posljedicama promjene klime za život u moru autora Graemea C. Haysa, Anthonyja Richardsona i Carol Robinson.

Razumijevanje utjecaja promjene klime na naš planet ključno je pitanje na koje se pokušava odgovoriti širom svijeta. Briga oko promjena i utjecaja klimatskih promjena postali su središnje pitanje u mnogim ekološkim i bigeokemijskim studijama te se sada nalaze na vrhu liste prioriteta mnogih agencija za okoliš. U ovom članku opisane su interakcije između klimatskih promjena i planktonskih zajednica s posebnim osvrtom na sustavne promjene u strukturi, brojnosti, raspodjeli i pojavnosti planktonskih zajednica kroz nekoliko desetljeća. Ispitivan je mogući socioekonomski utjecaj tih promjena, na primjer na komercijalnu eksploataciju ribljeg fonda budući da je plankton riblja hrana. Također je opisana značajna uloga koju plankton može imati u budućim kretanjima klimatskih promjena odgovarajući na povišene razine atmosferskog CO₂ putem povratnog mehanizma. Važna je poruka članka da su programi monitoringa planktona bitni za određivanje budućih promjena u ekosustavima mora.

Što je plankton?

Riječ "plankton" grčkog je porijekla "planktos" (tumaralo, skitnica; onaj koji pluta) i primjenjuje se za opisivanje pasivno plutajućih sitnih biljaka (fitoplankton) i životinja (zooplankton) u vodenim sustavima. Premda planktoni mogu mijenjati dubinu pomoću aktivnog gibanja i promjena u sposobnosti plutanja, oni nisu sposobni kretati se neovisno o morskim strujama. Prema veličini plankton jako varira, od virusa i bakterija s promjerom od samo nekoliko mikrona do meduza težine od nekoliko desateka kilograma.

Na primjer, vrsta fitoplanktona *Emiliana huxley* raširena je u oceanima širom svijeta te može doseći masivnu gustoću s više od 20 000 stanica u mililitru s rasprostranjenošću od nekoliko tisuća kvadratnih kilometara. Smatra se da *E. huxley* proizvodi više kalcijevog karbonata nego ijedan drugi organizam na zemlji i kao takva ima ključnu ulogu u globalnom ciklusu ugljika. Vanjski karbonatni oklop koji prizvode stanice visoko je reflektirajući pa je cvjetanje (proces rasta i razvitka populacije) lako pratiti s odgovarajućim instrumentima s brodova, avion i satelita. Životinje s rasponom veličina 0,2–2 mm (mezozooplankton) i mikrozooplankton s rasponom veličina 20–200 μm ključna su veza u hranidbenom lancu između fitoplanktona i riba. Postoji bojazan da će u nekim ekosustavima zbog promjene klime i pretjeranog izlovljavanja meduze zamijeniti ribe.

Globalna važnost planktona mora

Oceani prekrivaju više od 71 % površine Zemlje i zato je nužno razumjeti kako promjene klime (promjene srednjih vrijednosti u dužem razdoblju) utječu na biotu, ne samo kopnenog dijela planete nego i u moru. Glavnu ulogu u kruženju ugljika imaju oceani. Procijenjeno je da biota u oceanima ima izuzetno veliku socioekonomsku vrijednost s (ukupno oko 21 bilijun USD/godini) kroz

proizvodnju hrane, rekreaciju, obnavljanje hranjivih tvari i regulaciju plinova. Zbog toga promjene klime mogu imati negativne ekonomske posljedice širokih razmjera.

Znajući vrijednost biote u moru, iznenađujuće je mali broj mjerenja bioloških parametara na dugoj vremenskoj skali. Plankton je vrlo dobar indikator promjene klime u ekosustavu mora zbog nekoliko razloga. Prvo, za razliku od mnoštva drugih organizama u moru kao što su na primjer ribe, samo nekoliko vrsta planktona se komercijalno eksploatira, pa se zato dugoročne promjene mogu pripisati klimatskim promjenama. Drugo, većina jedinki ima kratki životni vijek pa na veličinu populacije manje utječe trajanje jedinki iz prethodnih godina. To dovodi do čvrste veze između promjena u okolišu i planktonske dinamike. Treće, plankton može pokazivati dramatične promjene u raspodjeli jer slobodno pluta i lako odgovara na promjene temperature i sustava morskih struja povećavanjem ili smanjivanjem rasprostranjenosti. Na kraju, novija istraživanja pokazala su da je plankton osjetljiviji pokazatelj promjena od samih varijabli okoliša jer nelinearni odgovor tih bioloških zajednica može pojačati suptilne perturbacije u okolišu.

Protuargumenti potencijalnim dobitcima korištenja planktona za određivanje utjecaja promjene klime na biotu u oceanima nalaze se u nekoliko točaka. Prva se odnosi na skupljanje uzoraka i ujedno i na dodatni problem financiranja znanstvenih programa, što znači da postoji relativno malo dostupnih serija rezultata dugoročnih istraživanja brojnosti i rasprostranjenosti planktona. One postojeće pokazale su se dragocjene za utvrđivanje nekih vrlo izraženih učinaka projene klime.

Veze između planktona i klime

Iz ranijih, dugoročnih istraživanja (neke su serije rezultata dobivene ispitivanjima u razdoblju dužem od 50 godina) i poboljšane analize podataka postalo je očividno da plankton može ukazati na posljedice promjene klime. Postoje čvrsti pokazatelji sustavnih promjena brojnosti i strukture planktonskih zajednica u posljednjim desetljećima na mnogim područjima širom svijeta. Brojnost antarktičkog sitnog planktona (engl., krill) koji je glavna hrana za kitove i druge morske sisavce u zadnjih 25 godina smanjila se za više od reda veličine. Ta pojava pripisuje se smanjenju raspoložive hrane za tu vrsu planktona u obliku ljetnog planktonskog "blooma" (cvjetanja) te ledenih alga u zimi. Tako je Humboldtova struja, koja je kolijevka važnog komercijalnog ribarenja podvrgnuta snažnom utjecaju oscilacija izazvanih El Ninom (engl., El Nino Southern Oscillations-ENSO) s fazama zagrijavanja morske vode koje dovodi do smanjenja proizvodnje planktona (kao posljedice smanjenog kretanja hladnijih pridonjenih slojeva mora bogatih hranjivim tvarima prema površini) i zbog toga redukcije hrane za ribe. Studije kretanja tih hladnijih, hranom obogaćenih slojeva mora u Benguali i Kaliforniji ukazale su na dramatične promjene brojnosti populacije mezozooplanktona (životinja veličine 0,2–2 mm) vezane na dugoročne klimatske utjecaje koje su također opažene i u populaciji meduza u Sjevernom moru.

Tako je na primjer između 1971. i 1986. godine u Sjevernom moru godišnja brojnost meduza varirala zajedno s NAO indeksom (North Atlantic Oscillations) koji se široko primjenjuje u sjevernoj Europi kao mjera za vrijeme. Premada se i drugi faktori kao na primjer eutrofikacija i izlovljavanje riba ne mogu odvojiti kao do-

datni faktori koji utječu na promjenu brojnosti meduza, ipak su klimatske promjene snažno umiješane u te procese. Podudarni dugoročni trendovi promjena gustoće populacije, odnosno brojnosti opaženi su i za slatkovodni zooplankton u jezeru Windermerre u Velikoj Britaniji te za mezozooplankton u moru oko Velike Britanije koji su također vezani za učinke promjene klime.

Promjene u raspodjeli organizama i događaja u vremenu

Raspodjela organizama posebno je osjetljiv indikator promjene klime. Raspon rasprostiranja terestrijalnih sustava kao odgovor na globalno zatopljenje široko je dokumentiran i neki očigledni primjeri mogu se naći i kod planktonskih zajednica. Tako su se mnogi članovi razreda *Ceratium* (važni primarni proizvođači u tropskim i umjerenim vodama) proširili u toplije vode. Na primjer, *C. trichoceros* se prije 1970. nalazila samo u južnom dijelu Velike Britanije, a sad se nalazi izvan zapadne obale Škotske i u sjevernom dijelu Sjevernog mora. Značajni biogeografski pomak također je pronađen i za zajednicu copepoda. Zajednice toplijih mora u posljednjih 40 godina pomaknule su se 1000 kilometara prema sjevernom dijelu Sjevernog Atlantika uz popratnu pojavu vraćanja natrag prema hladnijim vodama.

Promjene razdoblja u kojem se događaju važni događaji kao što su na primjer sezone naleta El Niña također odgovaraju promjeni klime. Na kopnu je posve jasno da se bujanje u proljeće u mnogim područjima uz cvjetanje cvijeća i migracije leptira odvija ranije nego prije. Slični su rezultati nađeni za biljke i životinje koje čine temelj prehrambenog lanca u moru. Na primjer, sezonski ciklusi nekih copepoda i želatinoznog zooplanktona u German Bightu za vrijeme toplih godina javljaju se 11 tjedana ranije. Slično tome, u površinskoj vodi subarktičkog Pacifika copepod *Neocalanus plumchrus*, koji dominira u mezozooplanktonskoj biomasi, ima vrijeme pojavljivanja koje je usko vezano s temperaturom površinskog sloja mora uz varijacije sezonskih najvećih vrijednosti između početka svibnja i kraja srpnja tijekom toplih odnosno hladnih godina.

Nedavna vrlo važna istraživanja slatkovodnih i morskih ekosustava upućuju na zaključak da pomak prema kalendarski ranijim pojavama kao odgovor na porast temperature vode nije konzistentan za sve funkcionalne skupine. Na primjer, u Sjevernom moru cvjetanja planktona općenito ubrzanije reagira na zatopljenje nego je to slučaj sa zooplanktonom koji se hrani tim planktonom. Također se događa da povremeni planktonski članovi ("meroplankton": primjer jedinki koje su dio pridnenih zajednica samo u jednom dijelu životnog ciklusa) kao neke meduze i larve (echinodermi i decapodi) jače reagiraju na povišenu temperaturu mora nego stalni planktonski članovi ("holozooplankton"). Gledajući sve zajedno, ta neusklađenost između trofičkih razina u vodenim sustavima može imati nekoliko implikacija na protok energije prema višim trofičkim razinama. Na primjer, u proteklih 45 godina brojnost važnog zooplanktona sjevernog Atlantika *Calanus finmarchicus* ima pik vrijednosti 11 dana ranije, odnosno znatno ranije nego njegov potencijalni izvor hrane, dietomeja *Rhizosolenia alata* (33 dana ranije) kao i uobičajena dinoflagelate *Ceratium tripos* (27 dana ranije).

Utjecaji na režim pomaka

Učinci promjene klime mogu biti pogoršani tendencijom ekosustava voda da prođu značajne i iznenadne reorganizacije planktonskih i ribljih zajednica. Taj koncept pomaka, inicijalno pronađen putem matematičkih modela, otkriva kako promjene pojedinih dijelova zajednice mogu dovesti do relativno brzih pomaka između alternativnih "steady state" stanja (dinamički ravnotežnih uvjeta sustava koji kad se jednom uspostavi, nastoji dalje trajati). Izraz "režim pomaka" široko se primjenjuje za opisivanje izraženih i produženih promjena vezanih za klimatske promjene u

biološkim sustavima. Postoje dokazi da su se takvi brzi pomaci javljali sredinom sedamdesetih u sjevernom Pacifiku te u Sjevernom moru sredinom osamdesetih. U Sjevernom moru je na primjer sredinom osamdesetih došlo do pomaka jedinki iz pretežno hladne vode prema jedinkama toplih voda budući da se biogeografska granica duž europskog kontinentalnog grebena pomakla sjevernije.

Zbirno, danas postoje dokazi da se glavne promjene događaju u bioti oceana i mnogobrojne studije pokazale su kako plankton može biti važan nagovještaj promjena u ekosustavu mora. Ti su rezultati priredili iznenađenje jer su se promjene u nedavnim desetljećima odvijale znatno sporije nego se to predviđa za budućnost.

Plankton i zakiseljavanje oceana

Većina CO₂ iz atmosfere nastalog ljudskim djelatnostima otapa se u oceanima povećavajući koncentraciju CO₂ i iona HCO₃⁻ te snižavajući pH morske vode i koncentraciju iona CO₃²⁻. Porast sadržaja CO₂ u atmosferi s razine od 280 μatm u predindustrijsko vrijeme na sadašnjih 370 μatm prouzročio je sniženje pH površinske vode oceana za ~0,12 jedinica, na pH-vrijednost 8,2. Direktni utjecaj porasta koncentracija CO₂ i sniženja pH-vrijednosti na plankton glavno je pitanje u istraživanjima mora.

Nesmanjena antropogena emisija CO₂ kroz nekoliko stoljeća vjerojatno je proizvela veće promjene pH oceana nego u ranijih 300 milijuna godina. Te promjene pH i koncentracija CO₂ mogu imati i pozitivne i negativne učinke na rast planktona u moru.

Za stvaranjem organske tvari za vrijeme fotosinteze fitoplankton predominantno koristi CO₂ otopljen u morskoj vodi i na taj način osigurava dodatno otapanje CO₂ iz atmosfere (CO₂ + H₂O → CH₂O + O₂). Fotosinteza je stimulirana (faktor 40–200 %) porastom koncentracije otopljenog CO₂ s predviđanjem udvostručavanja atmosferskog CO₂ do 2100. godine. Protivno tome, proizvodnja kalcijeva karbonata (kalcifikacija) pomoću određenih vrsta fitoplanktona uzrokuje porast CO₂ i tako predstavlja potencijalni izvor CO₂ za atmosferu. To se događa zato jer se za kalcifikacije troše prije bikarbonati nego otopljeni CO₂ prema jednadžbi Ca²⁺ + 2 HCO₃⁻ → CaCO₃ + CO₂ + H₂O. Kalcifikacijom proizveden CO₂ stvara negativni "feedback" jer raste razina CO₂ uz rezultirajuće sniženje pH koje inhibira kalcifikaciju.

Navedene ekološke i biogeokemijske interakcije u moru i atmosferi vrlo su složene. Fitoplankton ima različitu osjetljivost na koncentracije CO₂ te ima razne mehanizme uzimanje CO₂ u fotosintezi. Zato porast sadržaja CO₂ u moru neće promijeniti samo aktivitet individualnih jedinki fitoplanktona, nego će također imati tendenciju favoriziranja nekih specija na račun drugih. Pomaci strukture fitoplanktonskih zajednica utjecati će na zajednice viših trofičkih razina koje ovise o fitoplanktonu kao hrani te će utjecati na kruženje elemenata koji se razlikuju između jedinki (na primjer karbonati za kalcificirajuće jedinke, a silicij za druge). Nadalje, na aktivnost bakterija koje također proizvode CO₂ i zooplanktona koji se hrani fitoplanktonom može utjecati promjena pH rezultirajući promjenama u strukturi i funkcioniranju ekosustava mora u cjelini. Te su ekološke interakcije dodatno komplicirane jer se zakiseljavanje morske vode neće pojaviti kao izolirana pojava. Na primjer, predviđa se da će u sljedećih 100 godina temperatura površine mora porasti za 2–3 °C. Taj porast utjecat će na aktivnost fitoplanktona i na topljivost CO₂ u moru. Stoga se još uvijek ne zna dali će aktivnost planktona ublažiti ili obogatiti već povećanu koncentraciju atmosferskog CO₂ prouzročenu ljudskim djelatnostima.

U sljedećem broju KUI, u završnom predstavljanju (II. dio) ovog članka opisan će se ispitivanje planktona kroz povijest, problemi s dugoročnim serijama podataka istraživanja planktona, biogeokemijski istraživački programi, implikacije promjene klime na ribarstvo kao i načini za napredak istraživanja planktona širom svijeta.