

Kruženje ugljika u pelagijalu

Šupraha, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2009

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:217:883908>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-18**



Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO – MATEMATIČKI FAKULTET
BIOLOŠKI ODSJEK**

KRUŽENJE UGLJIKA U PELAGIJALU

CARBON CYCLING IN THE PELAGIC ENVIRONMENT

Luka Šupraha

Preddiplomski studij biologije
(Undergraduate Study of Biology)

Mentor: prof. Damir Viličić

Zagreb 2009.

SADRŽAJ

1. PRIMARNA PRODUKCIJA U PELAGIJALU	2 – 3
2. ORGANSKA TVAR U MORU	4 – 5
3. KRUŽENJE UGLJIK U MORU	6
3.1. AGREGIRANJE I SEDIMENTACIJA	7
3.2. HRANIDBENA MREŽA	7 – 8
3.3. MIKROBNI KRUG	9
4. SAŽETAK	10
5. SUMMARY	10
6. LITERATURA	11

1. PRIMARNA PRODUKCIJA U PELAGIJALU

Pelagijal je životna zajednica slobodne vode oceana i obalnih mora. Čine ju taksonomski različite skupine organizama koje se prema pokretljivosti dijele na slabo pokretni plankton i pokretni nekton. Plankton se prema načinu prehrane dijeli na autotrofni i miksotrofni fitoplankton te heterotrofni zooplankton i bakterioplankton (Viličić 2003). Posebnu važnost za pelagički ekosustav ima područje epipelagijala, tj. slobodne vode koja pripada fotičkoj zoni, do 150 m. dubine, a u kojoj se razvija fitoplankton.

U oceanima se događa gotovo polovica ukupne primarne produkcije biosfere, oko 46 %. Većinu ugljika pritom asimilira fitoplankton, dok manji udio u asimilaciji imaju makroskopske alge i morske cvjetnice (Field 1998).

Primarna produkcija fitoplanktona omogućuje razvoj organizama na višim trofičkim razinama. Neprobavljenu i propalu biomasu recikliraju heterotrofni i miksotrofni mikroorganizmi, čime hranjive soli postaju ponovno dostupne za novu fotosintezu. Doprinos fitoplanktona posebno je značajan u dubokim morima gdje nedostatak svjetlosti na dnu limitira razvoj morskih cvjetnica ili makroskopskih algi kao primarnih proizvođača. U takvim sustavima životne zajednice najvećim dijelom ovise o primarnoj produkciji u epipelagijalu i vertikalnom transportu organske tvari u dubinu. Iznimka su sustavi koji se temelje na kemoautotrofnoj produkciji u pridnenim staništima (npr. u hidrotermalnim izvorima). Najveći udio u krupnijem morskom fitoplanktonu (mikrofitoplanktonu, 20 – 200 μm) imaju jednostanične mikroalge dijatomeje te bičaši dinoflagelati i kokolitoforidi. Sitniji fitoplankton (nanoplankton, 2 – 20 μm te pikoplankton, 0.2 - 2 μm) čine cijanobakterije, pikoeukariotske alge, dinoflagelati, kokolitoforidi, jednostanične zelene i crvene alge te kriptoficeje (Viličić 2003, Viličić i sur. 2009).

Fitoplankton nije jednoliko raspoređen u moru. U nekim morima biomasa fitoplanktona a time i primarna produkcija su među najvećima u biosferi, dok su neka mora vrlo siromašna biomasom. Godišnji ciklusi biomase fitoplanktona i horizontalna distribucija fitoplanktona ovise o nizu biotičkih i abiotičkih čimbenika, od kojih su najznačajniji svjetlost i hranjive tvari (nutrijenti), koje se dijele na anorganske soli i organske hranjive tvari. Epipelagijal, odnosno fotička zona nije svugdje jednake dubine. Ona može varirati i s obzirom na trofičke uvjete, jer količina čestica u moru također određuje prodor svjetlosti. Manja je za oblačnog vremena a veća za sunčanog. Također, pri većoj brojnosti stanica svjetlost se može apsorbirati na površini i time limitirati razvoj fitoplanktona u dubljem sloju fotičke zone.

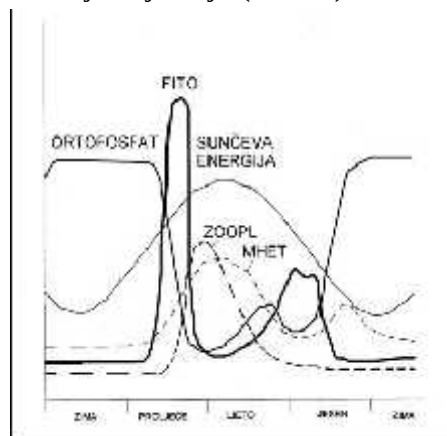
Hranjive tvari su važan limitirajući faktor. Čak i pri dovoljnoj količini svjetlosti, nedostatak hranjivih tvari limitira razvoj fitoplanktona. Najvažnija hranjiva tvar u svjetskim morima je dušik, a njegov najzastupljeniji oblik je nitrat (NO_3). Neke cijanobakterije imaju sposobnost vezivanja atmosferskog dušika u organski oblik. U području Sredozemnom moru, pa tako i u Jadranskom moru ograničavajući čimbenik je fosfor (Viličić i sur. 2008). U vodama oko Antarktika te u dijelovima Tihog oceana razvoj fitoplanktona ograničava nedostatak željeza. Važna hranjiva tvar je silicij, čija koncentracija određuje razvoj dijatomeja u fitoplanktonu. Hranjive tvari u more najčešće dopijevaju rijekama i ispiranjem

obala ali najveće zalihe trajno se nalaze u morskim ekosustavima i recikliraju se kroz hranidbene lance.

Hranjive tvari su neravnomjerno raspoređene u vodenom stupcu. Veća količina hranjivih tvari nalazi se u dubljim slojevima mora ali je primarna produkcija u dubokom moru limitirana svjetlošću. U tom slučaju vodeni stupac je stratificiran, što znači da toplija i rjeđa površinska voda, siromašnija hranjivim tvarima pluta na gušćoj i hladnijoj dubokoj vodi bogatoj hranjivim tvarima. Postoji nekoliko mehanizama kojima se vodeni stupac može izmiješati kako bi hranjive tvari došle na površinu. To se događa na višim geografskim širinama zimi, kada se površinski sloj ohladi i više ne može plutati na dubokoj vodi. Dolazi do miješanja i hranjive tvari se podižu u fotičku zonu. Slični se procesi događaju u područjima „upwellinga“, na zapadnim obalama kontinenta sa slabo razvijenom kontinentskom podinom te u ekvatorijalnom području. Uzrokuju ih vjetrovi koji pomiču površinski sloj mora pa dubinska voda dolazi na površinu. Unatoč različitostima između svjetskih mora, postoje određene pravilnosti u ciklusima fitoplanktona s obzirom na geografsku širinu.

U morima tropskog pojasa sezonske varijacije temperature su male pa vodeni stupac ostaje stabilan tijekom godine, što onemogućuje prijenos nutrijenata u fotičku zonu. Posljedica toga je stabilna ali mala primarna produkcija fitoplanktona.

Umjerena mora pokazuju najveće varijacije temperature mora kroz godinu. Miješanje vodenog stupca zimi donosi velike količine hranjivih tvari u fotički sloj, ali zbog nedostatka svjetlosti cvjetanje nastupa tek u proljetnim mjesecima. Biomasa fitoplanktona naglo se povećava, ali pritom se događaju promjene koje na nju štetno djeluju. Površinska voda se grije i sustav se stratificira pa prestaje dotok hranjivih tvari iz dubine i oni se naglo troše, a počinje i nagli rast biomase zooplanktona koji se hrani fitoplanktonom. Slijedeće miješanje stupca može se dogoditi u jesen ponovnim hlađenjem površine mora. Uz dovoljno svjetlosti, događa se još jedno manje cvjetanje (slika 1).

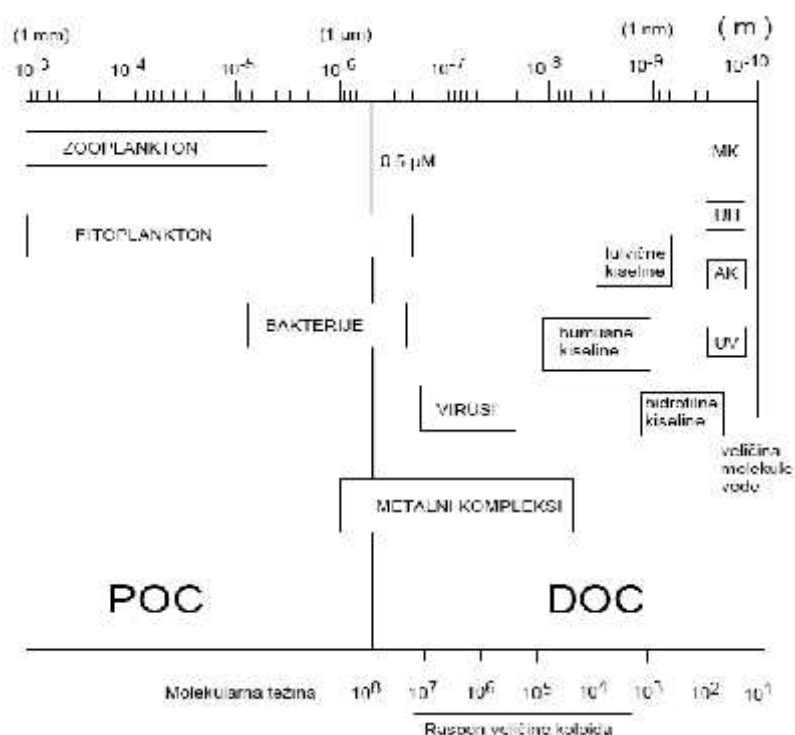


Slika 1. Sezonske promene ekoloških čimbenika i planktona u morima umjerenog pojasa. FITO – fitoplanktona, ZOOPL – zooplankton, MHET – mikroheterotrofi (Viličić 2003).

Polarna mora bogata su hranjivim tvarima, ali limitirana svjetlošću. U hladnijoj polovici godine biomasa fitoplanktona je mala, a u ljetnim mjesecima dolazi do cvjetanja. Takva mora su obično izrazito produktivna, upravo zbog velike količine hranjivih tvari (Castro, Huber 2005).

2. ORGANSKA TVAR U MORU

Organska tvar u moru prema porijeklu može biti alohtona tj. ona koja u more ulazi ispiranjem kopna ili autohtona, koju proizvode primarni proizvođači. U moru dominira autohtona organska tvar. Elementi koji su asimilirani od strane fitoplanktona ulaze u biogeokemijske cikluse i izmjenjuju se između organizama i njihova okoliša. Najzastupljeniji element u organskoj tvari je ugljik, a upravo je fitoplankton ključan za njegovo kruženje u oceanima. Asimilirani iz CO_2 , ugrađuje se prvo u šećere a zatim u složenije organske spojeve (polisaharide, organske kiseline itd.). Respiracijom se vraća u CO_2 . Dušik je ključan element za sintezu aminokiselina, a njihovom razgradnjom nastaju amonijak, nitrat i nitrit. Sulfati i fosfati također nastaju razgradnjom organske tvari. Organska tvar pokazuje veliki veličinski raspon čestica, od otopljenih molekula do velikih makroagregata organske tvari (slika 2.).



Slika 2. Spektar veličine čestica: POC – suspendirani organski ugljik, DOC – otopljeni organski ugljik, MK – masne kiseline, UH – ugljikohidrati, AK – aminokiseline, UV – ugljikovodici. Modificirano prema Thurmanu (1984) te Stummu i Morganu (1996).

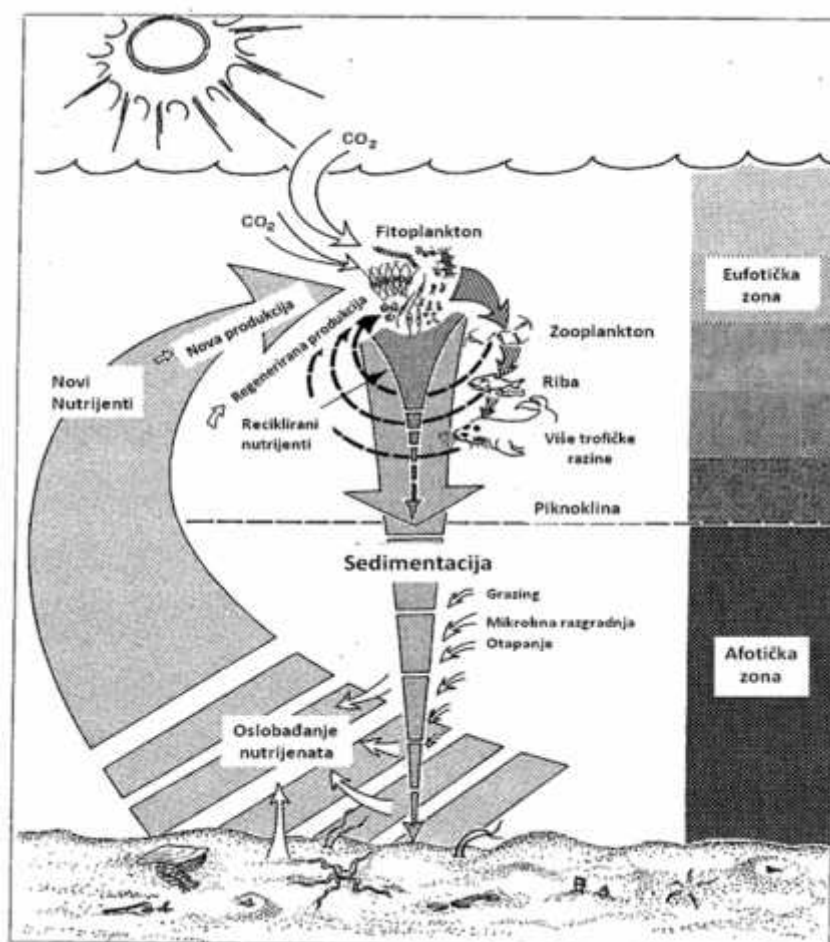
Najveći udio u organskoj tvari u moru ima otopljena organska tvar (eng. dissolved organic matter, DOM) kojoj pripadaju čestice manje od $0.5 \mu\text{m}$. U moru je ima 10 puta više od suspendirane organske tvari. Ona se može podijeliti na veličinske frakcije. Razlikujemo koloidne čestice (veličine $1 \text{ nm} - 0.5 \mu\text{m}$) te stvarno otopljene čestice, molekule i ione (do 1 nm). Kemijska struktura otopljene organske tvari u moru vrlo je raznolika. Pripadaju joj brojni visokomolekularni i niskomolekularni organski spojevi: organske kiseline, ugljikohidrati, aminokiseline, proteini, lipidi, nukleinske kiseline te esteri fosforne kiseline i

derivati fenola (huminske tvari). Koloidne organske kiseline se brže talože ukoliko se agregiraju s drugim suspendiranim česticama.

Čestice veće od $0.5\mu\text{m}$ pripadaju suspendiranoj organskoj tvari (eng. particulate organic matter, POM). I u ovoj frakciji nalazimo brojne koloidne čestice različitog kemijskog sastava, od živih koloida - agregata bakterija do neživih - fekalnih grudica zooplanktona i „morskog snijega“. Značajnu ulogu u suspendiranoj organskoj tvari (oko 34%) ima fitoplankton. Stanice fitoplanktona pridonose i otopljenoj i suspendiranoj organskoj tvari. Naime, veličinski pripadaju suspendiranoj organskoj tvari, sudjeluju u nastanku morskog snijega, a same izlučuju brojne produkte – otopljenu organsku tvar. Produkti stanica fitoplanktona su raznoliki. Od ugljikohidrata, peptida, aminokiselina i masnih kiselina do različitih metabolički aktivnih spojeva (hormona, toksina i antibiotika). Brojne vrste dijatomeja izlučuju polimere polisaharida koji služe pokretanju stanica (kod bentičkih vrsta) ili vezivanju stanica u kolonije kod kolonijalnih vrsta. Izlučivanje određenih kemijskih spojeva u pravilu je određeno uvjetima koji vladaju u okolišu.

3. KRUŽENJE ORGANSKE TVARI U MORU

Autohtona organska tvar nastala asimilacijom atmosferskog ugljika u fotičkom sloju ima funkciju održavanja svih morskih ekosustava. Mehanizmi kojima se organska tvar prenosi u afotičke slojeve mora i oceana ili se reciklira i ostaje u fotičkom sloju složeni su i ovise o nizu bioloških procesa, kao i fizikalno-kemijskim procesima u moru (slika 3). Najvažniji procesi koji uključuju prijenos ili recikliranje organske tvari su hranidbene mreže te agregiranje i sedimentacija organske tvari. Intenzitet svakog od navedenih procesa i njihovo međudjelovanje određuju koliko će organske tvari biti dostupno ekosustavima u dubokom moru a koliko će ostati u fotičkom sloju.



Slika 3. Primarna produkcija, vertikalni prijenos i regeneracija nutrijenata u morskom ekosustavu (Keck, Wassman 1998).

3.1. AGREGIRANJE I SEDIMENTACIJA

Agregiranje organske tvari uzrokuje njeno ubrzano tonjenje i taloženje na morskom dnu. U moru se ono događa u obliku „morskog snijega“, kontinuiranog tonjenja organske tvari iz fotičke zone u dubinu. Agregiranje i „morski snijeg“ posebno dolaze do izražaja za vrijeme cvjetanja fitoplanktona. „Morski snijeg“ čine agregati veći od 0.5 μm , a nastaje kao posljedica cvjetanja pelagičkih ili bentoskih dijatomeja koje luče ekstracelularne polimere – ljepljive polisaharide. Ljepljivost polisaharida ovisi i o vrsti dijatomeje koja ih izlučuje (Wassman 1998). Polisaharidi imaju svojstvo nakupljanja u koloidne čestice - polimere veličine do 0.7 μm . Čestice su u formi gela, a na njih agregiraju različite organske i anorganske tvari. Tonjenjem prema dnu čestice postaju sve veće te se stvara mreža ljepljivih polimera. U slijedećoj fazi nastaju transparentni egzopolimeri (eng. transparent exopolymer particles, TEP) veličine do 100 μm . Konačni produkt procesa agregiranja organske tvari su makroagregati veliki i do 1 m u koje su uklopljeni najrazličitiji oblici organske i anorganske tvari, od polisaharida i masnih kiselina do metala i stanica fitoplanktona i drugih organizama (Viličić 2003). Zooplankton je obično prisutan u manjoj abundanciji u početnim fazama cvjetanja fitoplanktona, pa ne može regulirati stvaranje velikih agregata. Formiranju agregata mogu doprinjeti bakterije nakupljanjem na čestice organske tvari. One također luče ljepljive polisaharide kojima se pričvršćuju na čestice pa potiču stvaranje većih agregata. Bakterijska kolonizacija agregata može imati i suprotan učinak. Uslijed bakterijske razgradnje organske tvari agregati se mogu raspadati na manje čestice, što smanjuje sedimentaciju (Viličić 2003).

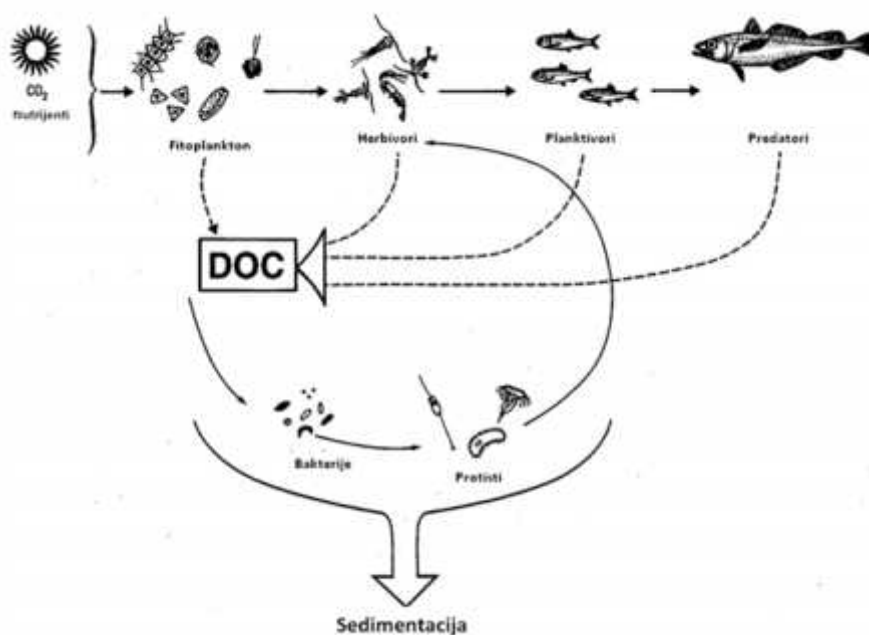
3.2. HRANIDBENE MREŽE

U osnovi klasične pelagičke hranidbene mreže nalazi se fitoplankton kao primarni proizvođač, a sekundarni je proizvođač herbivorni zooplankton koji organsku tvar prenosi na više trofičke razine (slika 4). Oblici prehrane u moru su složeni. Pored klasičnih oblika prehrane, autotrofije i heterotrofije, u moru nalazimo i organizme koji su miksotrofni, što znači da uz fotosintezu, dio potreba za hranom zadovoljavaju i heterotrofnom prehranom. Miksotrofi su najvećim dijelom zastupljeni u fitoplanktonu, pogotovo u bičša.

Kada su uvjeti za razvoj fitoplanktona optimalni, dolazi do naglog povećanja njegove biomase. Zooplankton prati promjene u biomasi fitoplanktona i povećanju hrane povećavanjem svoje biomase. Nakon toga pritisak herbivornog zooplanktona na fitoplankton uzrokuje postupno smanjivanje biomase fitoplanktona čime se ograničava i daljnji razvoj zooplanktona. Ciklusi fitoplanktona i zooplanktona diktiraju razvoj svih ostalih trofičkih razina u morskim ekosustavima. Najveći dio regulacije vertikalnog prijenosa događa se u površinskom sloju, do 100 m dubine (Wassman 1998). U tom sloju niz organizama kroz različite hranidbene mreže regulira recikliranje i tonjenje organske tvari.

Posebno značajan način prijenosa organske tvari su fekalne grudice zooplanktona, koje sadrže neprobavljene stanice fitoplanktona (Viličić 1994). Brzina tonjenja fekalnih grudica razmjerno je velika, one tonu brzinom od desetak do tisuću metara dnevno. Njihov udio u vertikalnom prijenosu može se odrediti prema udjelu u sedimentu. On obično iznosi 5 - 10% ukupnog vertikalnog prijenosa, dok u slučajevima razvoja veće biomase fitoplanktona i zooplanktona fekalne grudice mogu imati najveći udio u vertikalnom prijenosu organske tvari.

Udio fekalnih grudica u sedimentu ovisi i o dominantnoj skupini u zooplanktonu. Fekalne grudice planktonskih rakova i riba krhke su i lako se raspadaju na putu do dna. S druge strane, fekalne grudice plaštenjaka obavijene su mrežicom za hranjenje, koja im daje čvrstoću pa lako dolaze do dna mora budući da tonu brzinom i do tisuću metara dnevno. Zooplankton može utjecati na sedimentaciju peleta i hranjenjem peletima. Neke vrste zooplanktona hrane se čitavim fekalnim peletima (*koprofagija*), čime ih izravno uklanjaju iz suspendirane organske tvari. Postoje vrste koje jedu samo neke dijelove grudica, čime uzrokuju njihovo raspadanje. Kolonizacija fekalnih grudica bakterijama i heterotrofnim protistima također uzrokuje njihovo raspadanje. Isto mogu uzrokovati i bakterije i protisti koji se nalaze u grudicama a potječu iz probavnog sustava zooplanktonskih životinja.



Slika 4. Pelagička hranidbena mreža: hranidbeni lanac: fitoplankton – zooplankton – riba i mikrobni krug: DOC – bakterije – cilijati – zooplankton. Oba procesa doprinose kruženju organske tvari u moru (Lalli, Passon 1993).

Ravnoteža između biomasa fitoplanktona i zooplanktona određuje da li će prevladati recikliranje ili tonjenje organske tvari. Cvjetanje mora, kao porast biomase fitoplanktona, predstavlja neravnotežu u biomasi fitoplanktona i zooplanktona. U plitkim morima iznad kontinentske podine takvi se procesi događaju u proljeće porastom temperature i količine svjetlosti u sustavima bogatim hranjivim tvarima. Uzrok neravnoteži je kraće generacijsko vrijeme zooplanktona i predacija mezozooplanktona nad mikrozooplanktonom, čime se smanjuje pritisak na fitoplankton. Takva neravnoteža dovodi do gomilanja biomase fitoplanktona i povećanog agregiranja te gubitka organske tvari iz fotičkog sloja.

S druge strane, ravnoteža između biomasa fitoplanktona i zooplanktona potiče recikliranje organske tvari tj. njeno zadržavanje u fotičkom sloju. Jedini mehanizam prijenosa organske tvari u dubinu u tom slučaju su fekalni peleti i detritus, a intenzitet prijenosa ovisi prije svega o strukturi zooplanktonske zajednice. Primjer ravnoteže fitoplanktona i zooplanktona su tropska mora, u kojima su biomase fitoplanktona i zooplanktona ujednačene tijekom godine i nema većih cvjetanja mora. U takvim sustavima organska tvar se zadržava u fotičkom sloju. Ravnoteža se može uspostaviti i zbog niskih temperatura. Tako u hladnijim morima fitoplankton cvjeta sporije što omogućuje zooplanktonu da regulira njegov razvoj.

U hladnijim morima samo veće vrste zooplanktona mogu prezimljavati bez hibernacije i vršiti pritisak na fitoplankton u ranim fazama cvjetanja. U nekim slučajevima je aktivnost zooplanktona u rano proljeće toliko jaka da izostane uobičajeno proljetno povećanje biomase fitoplanktona. Time je smanjena mogućnost nastanka većih agregata organske tvari koji bi hranu mogli prenijeti u dubinu.

3.3 MIKROBNI KRUG

Mikrobni krug je pelagička mikrobna hranidbena mreža kojom se otopljeni organska tvar (DOM) vraća u suspendiranu organsku tvar (POM) ugrađujući se u stanice mikroorganizama te se metabolički razgrađuje do hranjivih tvari, CO₂ i vode (Sherr, Sherr 1988). Ti produkti metabolizma omogućuju novu fotosintezu. Najvažniji organizmi u mikrobnom krugu su bakterije, flageliti i cilijati. Bakterije kao izvor hrane najčešće koriste otopljenu organsku tvar koju luče stanice fitoplanktona ili suspendiranu organsku tvar u obliku morskog snijega. Stvaranju DOM-a pridonose i virusne infekcije budući da stanice mikroorganizama, kako planktonskih organizama tako i bakterija, pucaju uslijed virusnih infekcija i oslobađaju otopljenu organsku tvar. Kada koloniziraju veće čestice organske tvari, bakterije prolaze kroz fazu intenzivnog rasta koja traje do pojave veće biomase flagelata koji se hrane bakterijama. Cilijati se hrane flagelatima te tako organsku tvar ponovno vraćaju na više trofičke razine budući da se njima hrani zooplankton. Mikrobni krug potiče recikliranje organske tvari. Regeneriraju se hranjive tvari i pomaže se razvoj i fitoplanktona i zooplanktona. Također, bakterijskom razgradnjom raspadaju se čestice „morskog snijega“ i nastaju mikropeleti koji slabije doprinose vertikalnom transportu organske tvari.

4. SAŽETAK

Važan dio pelagičkog ekosustava je epipelagijal, područje slobodne vode do oko 150 m dubine u kojem se razvija primarni proizvođač – fitoplankton. Fitoplankton se razvija unutar godišnjih ciklusa, a u ovisnosti o fizikalno-kemijskim i biotičkim čimbenicima. Organsku tvar u moru predstavlja čitav niz ugljikovih. Prema porijeklu može biti alohtona, donesena iz drugih sustava i autohtona, porijeklom od primarne produkcije. Autohtona organska tvar proizvedena u epipelagijalu potrebna je svim životnim zajednicama u moru a posebno onima na dnu. Pelagički sustavi imaju mehanizme recikliranja i vertikalnog prijenosa organske tvari. Taj se prijenos najčešće odvija putem agregiranja i sedimentacije organske tvari te putem hranidbenih mreža. Agregiranje organske tvari u obliku „morskog snijega“ i njeno tonjenje posljedica je cvjetanja dijatomeja. Stanice dijatomeja luče ljepljive polisaharide koji djeluju kao središta agregiranja i dok tonu na sebe vežu organsku tvar. Način prijenosa organske tvari u dubinu su i fekalne grudice zooplanktona koje sadrže neprobavljenu organsku tvar. Bakterijska razgradnja te mikrobni krug važni su za recikliranje otopljene organske tvari i njeno vraćanje u hranidbenu mrežu.

5. SUMMARY

Important part of pelagic environment is its upper layer, shallower than 150 m which contains the biggest biomass of primary producers – phytoplankton (photic zone). Phytoplankton develops in regular annual cycles which depend on certain physical, chemical and biological parameters. The organic matter in the sea is represented by carbon compounds. Organic matter in the sea can originate from other ecosystems (allochthonous) or it can be produced by primary producers (autochthonous). The one that is assimilated in epipelagic zone is vital for all marine ecosystems, especially for those on the bottom of the ocean. Pelagic system has mechanisms for recycling and vertical export of organic matter. It is conducted by aggregation and sedimentation of organic matter or through different food webs. Aggregation of organic matter and its sinking is taking place after large diatom blooms, and it's also called „marine snow“. „Marine snow“ is created by sticky diatom exopolymers which act as centers of aggregation. Faecal pellets of zooplankton are also very important way of vertical transport. They contain non-digested organic matter. Microbial decomposers recycle dissolved organic matter and return it into food web.

6. LITERATURA

- Castro, P., Huber, M. E., 2005: Marine biology. McGraw-Hill, New York.
- Field, C. B., Behrenfeld, M.J., Randerson, J. T., Falkowski, P., 1998: Primary production of the biosphere: Integrating terrestrial and oceanic components, *Science* 281: 237 – 240.
- Keck, A., Wassmann, P., 1993: Den sibirske kontinentalsokkel og Polhave. II. Betydning for den globale karbonkretslop? *Naturen* 6: 264 – 272.
- Lalli, C. M., Passon, T. R., 1993: Biological oceanography: An introduction. Pergamon Press, Oxford.
- Sherr, E., Sherr, B., 1988: Role of microbes in pelagic food webs: a revised concept. *Limnol. Oceanogr.* 33: 1225 – 1227.
- Stumm, W., Morgan, J. J., 1996: Aquatic chemistry. Wiley interscience, New York.
- Thurman, R. C., 1984: Organic geochemistry of natural waters. Nijhoff/Junk, Dordrecht.
- Viličić, D., Kršinić, F., Bičanić, Z., 1994: The diatom *Nitzschia sicula* (CASTR) and naupliar faecal minipellets in the adriatic sea. *P.S.Z.N.I.: Marine ecology*, 15: 27 – 39.
- Viličić, D., 2003: Fitoplankton u ekološkom sustavu mora, Školska knjiga, Zagreb.
- Viličić, D., Terzić, S., Ahel, M., Burić, Z., Jasprica, N., Carić, M., Caput Mihalić K., Olujić, G., 2008: Phytoplankton abundance and pigment biomarkers in the oligotrophic, eastern Adriatic estuary, *Environ Monit Assess* 142:199–218.
- Viličić, D., Djakovac, T., Burić, Z., Bosak, S., 2009: Composition and annual cycle of phytoplankton assemblages in the northeastern Adriatic sea, *Botanica Marina* 52: 291 – 305.
- Wassmann, P., 1998: Retention versus export food chains: Processes controlling sinking loss from marine pelagic systems, *Hydrobiologia* 363: 29 – 57.