

Mořský fytoplankton a globální koloběh živin

Pro svůj rychlý růst a obrovskou biomasu je mořský fytoplankton hlavní složkou globálního koloběhu živin. Soudí se, že tvoří přibližně polovinu primární produkce Země. Pochopit rozšíření a zvláštnosti globálního koloběhu živin v mořském prostředí je hlavní výzvou pro současné mořské algology a oceánology. V posledních asi 10 letech se totiž změnil a ustálil pohled na některé zásadní procesy koloběhu živin (zejména dusíku) v oceánech. Ve svém článku v časopise *Nature* K. R. Arrigo ze Stanfordské univerzity v Kalifornii přehledně shrnul čtyři nově poznané aspekty mořského koloběhu živin. První z nich se týká vysvětlení proměnlivého poměru živin (tzv. stechiometrie) v mořském fytoplanktonu a jeho důsledků, druhým je teorie, že růst fytoplanktonu může být společně omezen více než jedním zdrojem, třetí se týká revize odhadu mořské fixace N_2 a poslední pak významu anaerobní oxidace amonných iontů pro ztrátu fixovaného dusíku v oceánech.

Už v r. 1934 popsal A. Redfield, že prvkové složení mořského fytoplanktonu je nápadně podobné složení rozpuštěných živin v oceánech. Molární poměr koncentrací $NO_3^-:PO_4^{3-}$ 16:1 (tj. váhový poměr N:P je 7,2:1) je v oceánech regulován fytoplanktonem, jehož mineralizací se dusík a fosfor uvolňují ve stejném poměru zpět do vody. Přestože byl tento poměr mnohokrát potvrzen, zjistily se také podmínky a procesy, které tento poměr u fytoplanktonu mění. Stechiometrie C:N:P v biomase částečně odráží fylogenezi fytoplanktonu. U eukaryotního mořského fytoplanktonu existují dvě hlavní vývojově systematické skupiny, které se výrazně liší svou stochiometrií živin: zelená skupina s molárními poměry výrazně vyššími (C:P cca 200 a N:P cca 27) než u červené skupiny (C:P cca 70 a N:P cca 10). Kromě toho tato stochiometrie živin odráží i schopnost fytoplanktonních buněk uchovávat živiny ve vnitřních zásobách, přepínat mezi enzymy (procesy) s různým požadavkem na živiny a upravovat osmotické složení buněk. Hlavní průlom v chápání buněčné stochiometrie C:P:N však přišel až s poznáním, že různé buněčné procesy mají svou vlastní stochiometrii. Je příznačné, že např. složky fotosyntézy a příjmu živin (chlorofyl, enzymy) mají velmi vysoký molární poměr N:P, kdežto růstové procesy vyžadují hodně N i P (DNA, RNA, proteiny) a poměr N:P je nízký. U reálných skupin mořského fytoplanktonu jde pak ve věci stochiometrie živin o to, který z procesů převládá. Podle podílu těchto procesů byly rozlišeny tři typy růstových strategií. Tzv. přeživáči (survivalist) mají vysoký poměr N:P (>30), obsahují účinné systémy pro využívání světla a živin a mohou udržet růst i při nízkých zdrojích živin. Patří mezi ně i fixátoři N_2 . Naproti tomu vodní květy (bloomer) mají nízký poměr N:P (<10), převažují u nich procesy růstu a jsou ekologicky adaptovány k exponenciálnímu růstu. Třetím typem jsou generalisté (generalist), kteří mají poměr N:P blízký 16

a kolísají mezi rychlým růstem a účinným využíváním světla a živin. Autor shrnuje, že zjišťovaný Redfieldův poměr N:P 16:1 u mořského fytoplanktonu není univerzální hodnota, ale představuje průměr pro různé skupiny fytoplanktonu, které se mohou výše uvedeným způsobem lišit ve svých růstových strategiích. Budou-li se měnit poměry živin v mořské vodě (např. vlivem člověka), povede to i ke změně poměrů v biomase a druhovém složení fytoplanktonu.

V posledním desetiletí bylo pozorováno, že zejména v oligotrofních oceánech je růst fytoplanktonu omezen několika živinovými zdroji zároveň. Těmi mohou být vedle N a P i Si (u rozsivek) nebo Fe (u sinic fixujících N_2) či Zn. Uznávají se tři typy společného omezení růstu fytoplanktonu živinami: omezení růstu několika živinami současně, biochemické omezení růstu (limitující živina zvyšuje účinnost příjmu nebo využití druhé) anebo současné omezení růstu jednotlivých druhů fytoplanktonního společenstva různými živinami. Učebnicovým příkladem biochemického omezení růstu fytoplanktonu v oceánech je zrychlení růstu po přidání Zn^{2+} , který jako kofaktor alkalické fosfatázy následně umožňuje využívat pro růst fosfor z organofosfátů, čímž se překoná nedostatek minerálního fosforu.

Rovnováha mezi buněčnou stochiometrií živin a oceánickými zásobami živin často utváří typická fytoplanktonní společenstva, přičemž fixátoři N_2 jsou zvýhodněni v průzračných (sub)tropických vodách s nedostatkem anorganického dusíku. V posledním desetiletí se potvrdil velký význam fixace N_2 , když se prokázalo, že spotřeba dusíku v osvětlených povrchových vrstvách oceánů převyšuje přísun NO_3^- z hloubek. Tento rozdíl by měl být — spolu se zvýšeným atmosférickým přísunem dusíku ze srážek — vyrovnáván hlavně fixací N_2 . Podle původních představ byl rozsah mořské fixace N_2 asi 10–20 milionů tun dusíku za rok poměrně malý ve srovnání s 90–130 miliony tun v suchozemském prostředí. Později se ale ukázalo, že výskyt mořských fixátorů N_2 (např. sinice rodu *Trichodesmium*) byl hrubě podceněn a že význam mořské fixace N_2 je mnohem větší. Z dlouhodobého časového pohledu mořská fixace N_2 vyrovnává ztráty dusíku způsobované denitrifikací a vyváženost obou procesů je opět regulována poměrem N:P fytoplanktonu: při vyšší denitrifikaci budou povrchové vody relativně ochuzeny o dusík v poměru k fosforu, což následně podpoří růst fixátorů N_2 , dokud nedojde k vyčerpání fosforu. Vyhodnocením všech současných údajů bylo možné dojít k celkovému rozsahu mořské fixace N_2 asi 100–200 milionů tun dusíku za rok, což odpovídá asi 50–180 % přísunu NO_3^- z hloubek do povrchových vrstev oceánů. Znamená to také, že velká část primární produkce v těchto vodách je spotřebována na fixaci N_2 .

Denitrifikace je mikrobiální proces probíhající v bezkyslíkatém prostředí, kterým je globálně přeměněno asi 175–450 milionů tun dusíku za rok a který je také zásadní složkou mořského koloběhu dusíku a uhlíku. Kolem poloviny 90. let odhalila práce s bioreaktory na odstraňování NH_4^+ z odpadních vod mikrobiální proces zvaný anaerobní oxidace NH_4^+ (tzv. anammox), jehož podstatou je oxidace NH_4^+ na N_2 pomocí nitritu (NO_2^-) jako oxidantu, takže N_2 vzniká

párováním atomu dusíku z NH_4^+ a NO_2^- (naopak při denitrifikaci vzniká N_2 ze dvou molekul NO_3^-). Anaerobní oxidaci NH_4^+ provádějí zástupci bakteriálního řádu *Planctomycetales*. Studie provedené v posledních pěti letech v různých mořích a oceánech prokázaly, že anaerobní oxidace NH_4^+ se podílí na vzniku N_2 , a tedy na odstranění minerálních forem dusíku nejméně z 19 až 40 %; zbytek tvoří denitrifikace. Globálně by se anaerobní oxidací NH_4^+ podle odhadů mělo z oceánů, a to zejména z hlubinných oblastí se sníženou koncentrací kyslíku, ročně odstranit 80–150 milionů tun dusíku. Studium tohoto důležitého procesu je na začátku, ale je možné předpokládat, že další výzkum prokáže jeho ještě větší význam v oceánech ve srovnání s denitrifikací. [Nature 2005, 437: 349–355]

Připravil L. Adamec