科学通报
第40卷 第9期 CHINESE SCIENCE BULLETIN 1995年5月

胶州湾的微生物二次生产力*

焦念志 肖 天
(中国科学院海洋研究所，青岛 266071)

关键词 异养微生物/细菌 生产力 生物量 胶州湾

海洋是地球上三大有机碳库之一，海洋中有机物质的最终来源是初级生产，而进入溶解状态的有机物质只能靠微生物来转移或传递．在贫营养海区，高达86.5%的初级生产力被细菌所消费并再循环．所幸的是，细菌利用DOC的过程中实际上又提供了上层营养级可利用的颗粒有机碳(POC)．这个过程被称之为微生物二次生产(secondary production)[1,1)]．从这种意义上讲，微生物即是分解者又是生产者．在外海区域细菌生物量(BB)通常比浮游植物生物量(PB)高2～3倍，平均占总POC的40%[2]．由于异养微生物在海洋生物生产和生源要素循环中起着无可替代的作用，各种海区细菌生物量和生产力的状况成为生物海洋学家所关注的焦点之一．自Fuhrman和Azam[1]创建[甲基-^{3}H]胸腺嘧啶脱氧核苷(^{3}H-Tdr)示踪法(TTI)以来，微生物二次生产的研究取得了迅速发展．但国内现场研究尚未见报道．本文的目的就是运用TTI法获取我国沿岸海域代表性海湾之一的胶州湾的现场实测资料，并为海洋生物生产过程研究和C, N循环研究提供部分参数，为建立微食物环奠定基础．

1 材料与方法

1.1 调查时间与采样站位

于1992年11月，1993年2月、5月和8月在胶州湾中心(5号站)和湾口外(10号站)对BP的季节变化进行研究，4次调查的现场水温分别为13.5,4.0,15.5和27.5℃．于1993年8月在胶州湾布设10个测站(图1)对BP的平面分布进行研究．水样采自表层0.5m和真光层底部(1%表层光强深度或2.7倍萨氏透明度盘读数)．采上后立即用200μm的筛绢过滤，然后用于实验．

1.2 BB计数

取1～4mL水样用2%福尔马林固定，用0.01%的吖啶橙染色，以直径为25mm，孔径为0.2μm的黑色核孔膜在低真空度(<0.03MPa)下抽滤．膜样于载玻片上滴一滴灭菌蒸馏水，加盖玻片后滴加专用香柏油，用Opton落射荧光显微镜，在HBO50W光源，BP450-490, FT510, CP520组滤光片条件下，以100倍物镜计数．活的异养细菌呈绿色．随机取10～20个视野，细胞数量不少于200个[3]．根据计数视野面积，滤膜过滤面积和水样体积计算每升中细菌

1993-10-11收稿，1994-11-22收修改稿
* 国家自然科学基金资助项目
1) 这里将secondary production译为二次生产以区别于通常所讲的次级生产

细胞数目.

1.3 二次生产力(BP)测定

按 Fuhrman 和 Azam[1] 方法进行 TTI 现场实验，按 Parsons 等[4] 的公式计算单位时间并入细菌 DNA 的 Tdr 摩尔数，以 1.3×10^{18} 细胞/mol Tdr 为转换因子[1] 求得以细胞数目表示的细菌生长速率，然后将其按海洋细菌细胞碳含量的平均值 20fg/细胞转换成细菌生产力[2].

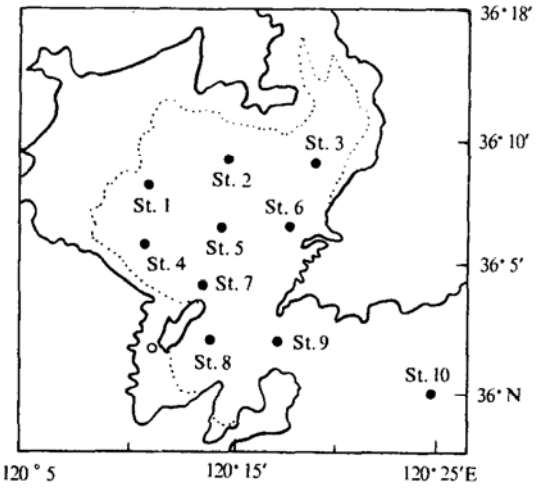


图 1 采样站位

1.4 初级生产力(PP)

以 ^{14}C 法按 Parsons 等的步骤测定 PP. 现场培养和处理方法同王荣、焦念志等[1]，本文 PP 仅用于与 BP 的比较，现场测定仅在 5 号站进行.

2 结果与讨论

2.1 BB, BP 的季节变化

胶州湾 5 号站和 10 号站不同季节的测定结果(表 1)表明，BB, BP 的季节变化明显，以冬季为最低[BB 为 $(0.69\sim0.87)\times10^3$ 细胞 $\cdot L^{-1}$, BP 为 $0.08\sim0.11\ \mu g\cdot L^{-1}\cdot h^{-1}$]; 夏季为最高(BB 为 $(4.69\sim5.52)\times10^8$ 细胞 $\cdot L^{-1}$, BP 为 $2.69\sim5.38\ \mu g\cdot L^{-1}\cdot h^{-1}$)，春、秋季介于两者之间[BB(春季)为 $(2.45\sim2.76)\times10^8$ 细胞 $\cdot L^{-1}$, BP 为 $0.41\sim2.75\ \mu g\cdot L^{-1}\cdot h^{-1}$]. BB 与 BP 相比，后者的季节变化更为剧烈. BB 在夏季约为冬季的 7倍，而 BP 在夏季约为冬季的 30～50 倍. 可见细菌的活性受温度的影响要比生物量所受的影响来得大. 例如，BP:BB 比值在冬季为 $1.08\times10^{-9}\mu g\cdot L^{-1}\cdot h^{-1}$, 在夏季为 $7.89\times10^{-9}\mu g\cdot L^{-1}\cdot h^{-1}$, 即单个细胞的生产率在夏季是冬季的 7 倍之多. 与 PP 相比，BB 和 BP 的季节变化更有规律性，这种规律性的突出特征是与温度呈明显的正相关(图 2). 在冬季初级生产者仍可活跃地进行光合作用，而微生物活动却受到明显抑制，此时 BP:PP 为 0.022，即只有 2.2% 的初级生产力能流通过异养微生物路径. 而在夏季微生物活动异常活跃，BP:PP 为0.58，即异养微生物所消耗的有机碳相当于初级生产力的 58%. 纵观 4 个季节，BB, BP 与 PP 的相关微弱，说明 BB, BP 的季节变化不受PP 变化的制约，而主要取决于环境(特别是温度)调节，同时也可看出，近岸水域中异养微生物生长

表 1 胶州湾 PP, BB 和 BP 的季节变化

季节	PP/$\mu g\cdot L^{-1}\cdot h^{-1}$	PP/10^8 细胞 $\cdot L^{-1}$				BP/$\mu g\cdot L^{-1}\cdot h^{-1}$			
	St.5	St.5		St.10		St.5		St.10	
	表 层	表层	底层	表层	底层	表层	底层	表层	底层
秋	3.16					0.71	2.75	0.41	0.44
冬	3.75	0.87	0.69	0.85	0.83	0.08	0.11	0.08	0.08
春	9.41	2.45	2.76	2.51	2.64	0.60	0.67		
夏	9.20	4.69		5.52		5.38		2.69	

1) 王 荣，焦念志等. 胶州湾的初级生产力与新生产力. 海洋科学集刊(1995 待发表)

所需的有机碳源不成为限制因子，事实上微生物所利用的 DOC 中，外源供给可能占相当比例．这是沿岸水域区别于大洋水域的一个显著特点．

2.2 BB,BP 的水平分布

1993 年 8 月胶州湾 10 个站位的 BB, BP 观测结果(表 2)显示了非常明显的水平分布规律．不论 BB 还是 BP 基本上都是由沿岸浅水区向湾中部、湾口、湾外方向递减．BB 的最大值出现于 1, 2, 3,6 号站，每升水细胞数量达 10^9 个，其余站位丰度在 10^8 细胞 · L^{-1} 左右，最小值出现于湾口区 (9 号站)，最大值与最小值相差 4 倍之多．BP 的最大值分布情况与 BB 相似，唯 6 号站例外．BP 最高可达 15.40 μg · L^{-1} · h^{-1}. BP 最低的海区是湾口以外 (10 号站)，为 2.69μg · L^{-1} · h^{-1}, 只有最大值的 1/5 弱．BB 与 BP 相比，再次显示出异养活性的变异程度要比生物量变异程度大．可见细菌生物量是不能人微言轻生产力指标的．6 号站作为一个特例，可能与其环境条件有关．通常这里营养条件较好，但来自大港码头的污染较严重，相对最低的异养活性可能源于采样期间的短时污染．统观 BB 和 BP 的水平分布，发现其与营养盐以及叶绿素的分布状况非常一致．这两类指标分别反映了水体中无机和有机营养的基本状况．异养微生物只能利用有机碳为碳源，但可同时利用有机氮和无机氮 (特别是 NH_4^+-N) 作为氮源．因而，可以说 BB,BP 的水平分布最终取决于营养供给条件．

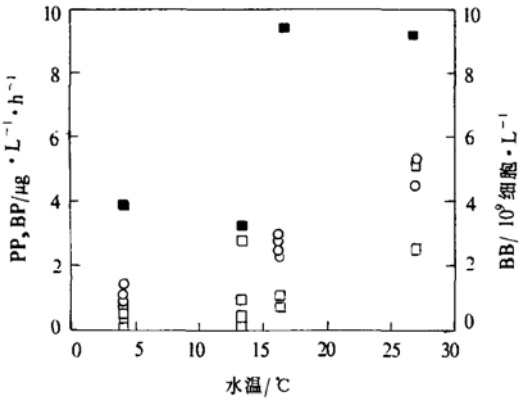


图 2　胶州湾初级生产力(■), 异养微生物生物量(O)和二次生产力(□)与温度的关系

表 2　胶州湾 BB 和 BP 的水平分布

站　位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BB/ 10^8 细胞 · L^{-1}	12.79	16.51	12.13	6.78	4.69	11.22	5.20	5.66	3.88	5.52
BP/ μg · L^{-1} · h^{-1}	15.40	9.50	10.62	6.90	5.38	3.15	3.48	4.01	3.13	2.69

2.3 与其他海区的比较

研究期间胶州湾的 BB 变化范围在 10^7 ～ 10^9 细胞 · L^{-1}, 这个结果与北太平洋涡以及南加利福尼亚湾的情况相当[2]. 全年中，胶州湾平均的 BP 变化范围在 0.08 ～ 6.63 μg · L^{-1} · h^{-1}, 这个结果约是不列颠哥伦比亚和加利福尼亚沿海BP 的 2 倍[1], 而与 Constance 湖的情况相近[5]. 胶州湾 BP: PP 的比值变化范围为 0.02～0.58. 4 个季节平均 BP: PP 为 0.27, 这个比值与一般河口区的比值 0.23[6] 非常接近．但从夏季 BP 的水平分布来看，有些站位 (如 1, 2, 3) 的 BP 占 PP 的比例则要比上述情况大得多．应当指出，在近岸海区异养微生物所利用的 DOC 绝非全部来自海区的初级生产力，有相当比例的 DOC 是外源性的，如径流、排污等．

参 考 文 献

1 Fuhrman J A, Azam F. Bacterioplankton secondary production estimates for coastal waters of British, Columbia, Antarctica and Californmia. Appl Environ Microbiol, 1980, 39(6): 1 085～1 095

2 Cho B C, Azam F. Biogeochemical significance of bacterial biomass in the ocean's cuphotic zone. Mar Ecol Prog Set, 1990, 63: 253～259

3 Hobbie J E, Daley R J, Jasper S. Use of nuclepore filters for counting bacteria by fluorescence microscopy. Appl Environ Microbiol, 1977, 33: 1 225～1 228

4 Parsons T R, Maita Y, Lalli C M. A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Oxford: Pergamon Press, 1984. 115～134

5 Güde M. Bacterial production and the flow of organic matter in lake Constance. In: Overbeck J, Chrost R J eds. Aquatic Microbial Ecology. Berlin: Springer-Verlag, 1990. 489

6 Sharp J H. Review of carbon, nitrogen and phosphorus biogeochemistry. Review of Geophysics, 1991, (Suppl): 648～657