

# 台湾海峡海域细菌产量、生物量 及其在微食物环中的作用\*

郑天凌 王 斐 徐美珠<sup>†</sup> 洪华生<sup>††</sup>

(厦门大学生命科学学院 国家教育部海洋环境科学重点实验室 厦门 361005)

<sup>†</sup>(厦门大学生命科学学院 厦门大学环境科学研究中心 厦门 361005)

<sup>††</sup>(厦门大学环境科学研究中心 国家教育部海洋环境科学重点实验室 厦门 361005)

**提要** 分别于 1997 年 8 月 10—19 日, 1998 年 2 月 20 日—3 月 7 日, 对台湾海峡进行现场调查, 在 20 个站位取得水文、化学和生物学综合参数, 采用改进的<sup>3</sup>H-胸苷组入 DNA 法测定细菌产量, 采用 DAPI(4', 6-diamidino-2-phenylindole) 染色法测定细菌生物量, 并研究了细菌对葡萄糖的吸收。结果表明, 1. 夏季台湾海峡南部细菌产量的平均值为 0.09 $\mu\text{gC}/(\text{L}\cdot\text{h})$ , 冬季海峡北部各站位细菌产量的平均值为 0.047 $\mu\text{gC}/(\text{L}\cdot\text{h})$ , 比夏季北部海区低约 50%。2. 夏季各站位表层水有相对较高的细菌生物量(9.97—23.16 $\mu\text{gC}/\text{L}$ )。3. 夏季海峡南部细菌生物量受水团的影响显著, 冬季北部海区上层水体的生物量比夏季南部海区生物量高(11.40—25.77 $\mu\text{gC}/\text{L}$ )。4. 细菌产量和生物量的时空分布受多种环境因素和生物过程的影响。5. 细菌对葡萄糖的最大潜在吸收能力较低 [ $V_{\max} = 0.0018\mu\text{gC}/(\text{L}\cdot\text{h})$ ], 对葡萄糖的周转率( $T_r$ )为 0.6% / d。

**关键词** 台湾海峡, 细菌产量, 细菌生物量, 微食物环

**中图分类号** Q938.1

生物活动在海洋碳的生物地球化学循环过程中的作用, 表现为对海洋环境中各种形态的碳的吸收利用和迁移转化(赵卫红, 2000), 是全球碳通量的重要调控因素, 对整个气候系统的变化产生深远影响。其中异养微生物的作用尤为重要, 关系到整个系统的物质循环和能量流动, 如营养盐的循环、有机物的运输和矿化及能量流动(Münster *et al.*, 1990; Zheng *et al.*, 1993; 郑天凌等, 1994, 1997), 特别是异养细菌, 能够有效地控制有机物的行为。约有 50% 的光合作用产生的有机碳被转化为细菌生物量(Del Giorgio *et al.*, 1997; Michael *et al.*, 1999), 并通过鞭毛虫和纤毛虫的摄食作用流向更高的营养级, 构成一个对海洋生态系主食物链起到高效补充作用的“微型生物食物环”(Microbial loop)(王斐等, 1998a, b; Cho *et al.*, 1988, 1990; Hagström, 1988)。从另一方面看, 水体中的有机物作为细菌的营养摄取来源, 其组成特性和可利用程度是影响异养微生物类群活动和演化的重要因子。因此, 两者之间的相互作用成为该系统中的重要生物过程, 对海洋中碳的生物地

\* 国家自然科学基金重大项目资助, 49636220 号; 福建省自然科学基金重点项目资助, D0020001 号。郑天凌, 男, 出生于 1955 年 6 月, 教授, 博士生导师, E-mail: wshwzh@jingxian.xmu.edu.cn

收稿日期: 2000-03-27, 收修修改稿日期: 2001-02-14

球化学循环过程起着重要的调控作用。作者通过测定细菌生物量、产量来探讨细菌在台湾海峡海域微食物环中所起的作用。

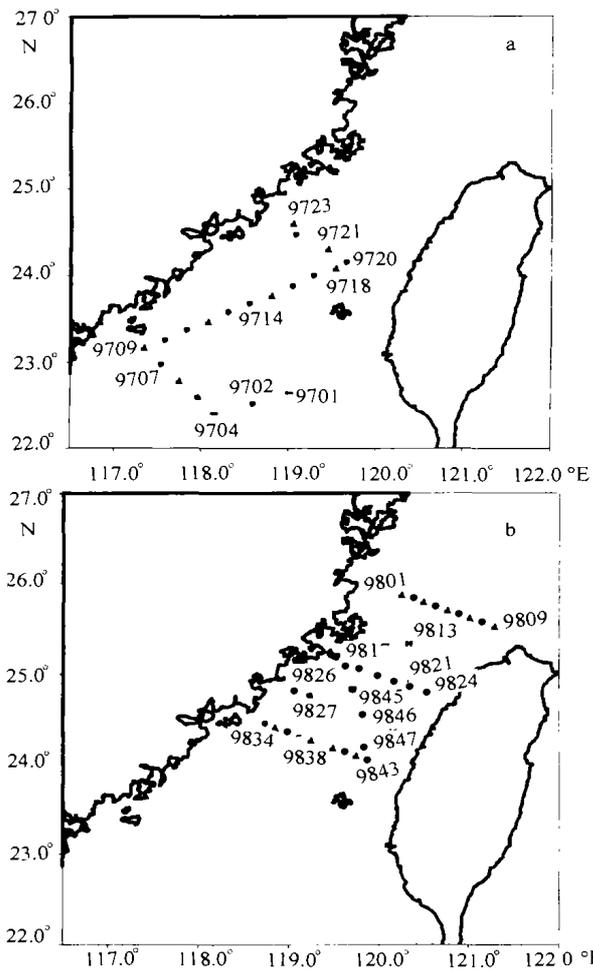


图1 各航次调查站位图

Fig.1 Sampling stations of all cruises

a. 1997年8月航次; b. 1998年2—3月航次

▲ 综合(生物、化学、水文)站位; ● 水文站位; — 连续观测站位

加入 100 $\mu$ l 福尔马林。在现场温度或实验室温度下避光培养 2—3h, 立即在平行样瓶中加入福尔马林以终止培养。样品冷藏保存 15—30min 后, 在 < 0.07atm 负压下用 0.22 $\mu$ m 孔径的硝化纤维素滤膜过滤。并用 5% 的 TCA(三氯乙酸)淋洗培养瓶 3 次, 每次 1ml; 用等量的 TCA 溶液淋洗滤杯 5 次, 淋洗液同水样一同过滤。将滤膜放入闪烁瓶中。待滤膜自然干燥后, 在闪烁瓶中加入 1ml 乙酸乙酯溶解滤膜, 约 10min 后滤膜溶解, 加入 8ml 闪烁液(4.0g PPO, 0.1g POPOP, 溶于 900ml 甲苯和 100ml 乙醇中), 用 Wallac1409 液体闪烁计数器测定放射性强度。细菌生长速率由下式计算。取 Fuhrman(1980)推荐的经验常数  $1.4 \times 10^{15}$  cell/nmol 及 dpm 与 Ci 的转换系数  $4.5 \times 10^{-13}$  Ci/dpm:

## 1 材料与方 法

### 1.1 站位布 设及采 样

分别在 1997 年 8 月 10—19 日, 1998 年 2 月 20 日—3 月 7 日在台湾海峡(21°—27°N, 116.5°—122.3°E)进行现场调查, 在 20 个站位取得水文、化学和生物学综合参数。夏季在海峡南部台湾海峡周围分别布设 4 个断面进行水文、化学、生物学综合观测。其中在定点站位 9701、9704 分别进行 72h 的连续观测, 采样间隔为 3h 或 6h, 用容积为 5L 的有机玻璃采水器(GCC2 型)在标准层(0、10、20、30、40、50m)及其它相关深度进行采样。冬季在海峡北部布设 5 个断面, 其中在第 2 和第 5 断面进行综合数据的测定, 分别在 9813 和 9837 两个站位进行周日变化的连续观测(图 1)。

### 1.2 测定方法与步骤

**1.2.1 细菌产量的测定** 对 Azam 等(1983)的氘化胸苷组入法略加改动, 测定细菌产量。用现场水样淋洗培养瓶 3 次, 加入 10ml 水样(每个样品包括 2 个空白瓶和 3 个平行样瓶), 立即加入 100 $\mu$ l  $^3$ H-Try 工作液(中国原子能科学研究院生产 [methyl $^3$ -H] Thymidine。比放射性强度为 20Ci/nmol, 放射性浓度为 1mCi/ml, 用无菌蒸馏水对原液稀释 50 倍, 配制成工作液), 使得样品中  $^3$ H-Thy

的终浓度为 10nmol/L。在空白样中立即

$$BG = 1.4 \times 10^{-15} \times (U - U_b) \times 4.5 \times 10^{-13} / (R \times V \times t)$$

其中,  $BG$  为细菌生长速率 [ $\text{cell}/(\text{L} \cdot \text{h})$ ];  $U$  为平行样放射性强度(平均值)( $\text{dpm}$ );  $U_b$  为空白样放射性强度(平均值)( $\text{dpm}$ );  $R$  为  $^3\text{H}$ -Thy 的比放射性强度( $\text{Ci}/\text{mmol}$ );  $V$  为过滤水样的体积( $\text{L}$ );  $t$  为培养时间( $\text{h}$ )。

细菌产量  $BP$  [ $\mu\text{gC}/(\text{L} \cdot \text{h})$ ] =  $BG \times 20 \times 10^{-9}$ ; 20 为单个细菌的碳含量( $\text{fg}/\text{cell}$ )。

**1.2.2 细菌生物量的测定** 用 DAPI 染色法及 SEM 法 (Fuhrman, 1980; Zheng *et al.*, 1993) 测定细菌生物量。取 100ml 水样加入到预先经酸泡并用现场水样淋洗的塑料瓶中, 立即加入 5ml 福尔马林固定样品, 低温避光保存。测定前, 用苏丹黑 B 染液 (500mg Sudan Black B 溶于 200ml 2% 乙酸中) 浸泡孔径为  $0.22\mu\text{m}$  的硝化纤维素滤膜 4h 以上, 使之变黑。DAPI (Sigma Corp) 染液用去离子无菌水配制, 浓度为  $20\mu\text{g}/\text{ml}$ , 避光冷藏。过滤体积视水样中细菌丰度的大小而定, 加入 DAPI 染液, 使得水样中 DAPI 的终浓度为  $4\mu\text{g}/\text{ml}$ , 染色 5min, 启动泵抽滤。在  $<0.07\text{atm}$  负压下过滤水样。待水样抽干, 取出滤膜, 置于滴有镜油的载玻片上, 并在滤膜上滴加少量镜油, 盖上盖玻片, 进行荧光显微计数 [Zeiss Microscope, 100W HBO mercury light source; G365, FT395, LP420 (filter set 48 79 02)]。随机选取 10 个视野计数被染色的细菌个体 (每个视野以 15—30 个细菌为宜)。按下式计算水样的细菌丰度:

$$\text{细菌丰度} (\text{cell}/\text{ml}) = A \times S_1 / (S_2 \times V)$$

其中,  $A$  为 10 个视野中的细菌平均数;  $S_1$  为滤膜的有效过滤面积;  $S_2$  为视野面积;  $V$  为过滤水样体积。

细菌生物量 ( $\mu\text{gC}/\text{ml}$ ) = 细菌丰度  $\times 20 \times 10^{-9}$ ; 20 为菌体的碳含量 ( $\text{fg}/\text{cell}$ )。

**1.2.3 细菌对葡萄糖的吸收** 用现场水样淋洗培养瓶 3 次, 分别加入 20ml 水样 (每个样品包括 2 个空白瓶和 3 个平行样瓶), 立即加入  $100\mu\text{l}$  工作液 (中国医学科学院放射医学研究所生产  $\text{D}-[u-^{14}\text{C}]$  葡萄糖。比放射性活度为  $248\text{mCi}/\text{mmol}$ , 放射性浓度为  $200\mu\text{Ci}/\text{ml}$ , 用无菌蒸馏水对原液稀释 40 倍, 配制成工作液), 使得样品中  $^{14}\text{C}$ -glucose 的终浓度为  $100\text{nmol}/\text{L}$ 。在空白瓶中立即加入  $100\mu\text{l}$  福尔马林, 固定样品。在现场温度或实验室温度下蔽光培养 2—3h 后, 立即在平行样瓶中加入福尔马林终止培养。在  $<0.07\text{atm}$  负压下用  $0.22\mu\text{m}$  孔径的硝酸纤维滤膜过滤。并用过滤除菌的海水淋洗培养瓶 3 次, 滤杯 5 次, 每次 1ml, 淋洗液同水样一同过滤。将滤膜放入闪烁瓶中。待滤膜自然干燥后, 加入 8ml 闪烁液 (4.0g PPO, 0.1g POPOP, 溶于 900ml 甲苯和 100ml 乙醇中), 用 Wallac1409 液体闪烁计数器测定放射性强度。细菌对葡萄糖的吸收速率由下式计算 (Parsons, 1984) [ $\text{dpm}$  与  $\text{Ci}$  的转换系数为  $4.5 \times 10^{-7} (\text{Ci}/\text{dpm})$ ]:

$$A = (U - U_b) \times 4.5 \times 10^{-7} / (R \times V \times t)$$

其中,  $A$  为细菌对葡萄糖的吸收速率 [ $\text{nmol}/(\text{L} \cdot \text{h})$ ];  $U$  为平行样放射性强度(平均值)( $\text{dpm}$ );  $U_b$  为空白样放射性强度(平均值)( $\text{dpm}$ );  $R$  为  $^{14}\text{C}$ -glucose 的比放射性强度 ( $0.248\mu\text{Ci}/\text{nmol}$ );  $V$  为过滤水样的体积( $\text{L}$ );  $t$  为培养时间( $\text{h}$ )。

在 9813 和 9838 站位, 采用系列浓度底物加入法, 在 20ml 水样中分别加入 10、20、30、50、100、200 $\mu\text{l}$  工作液, 使水样中  $^{14}\text{C}$ -glucose 的终浓度为 10、20、30、50、100、200 $\text{nmol}/\text{L}$ 。测定

最大吸收速率  $V_{\max}$ , 细菌对水体中葡萄糖吸收的周转时间  $T_i$  及周转率  $T_r$ 。

## 2 结果与讨论

### 2.1 台湾海峡细菌生物量和生产力的时空分布

夏季, 台湾海峡南部细菌的平均丰度为  $5.31 \times 10^8$  cell/L, 各站位变化幅度较大 [ $(0.35-16.1) \times 10^8$  cells/L], 最大值出现在 9701 站位的表层水样。细菌产量的平均值为  $0.09 \mu\text{gC}/(\text{L}\cdot\text{h})$ , 最大值为  $0.39 \mu\text{gC}/(\text{L}\cdot\text{h})$ , 于 9704 站位的 40m 水层测得。冬季海峡北部细菌的平均丰度高于夏季南部海区, 为  $8.12 \times 10^8$  cell/L; 在 9838 站位的 10m 层水样测得其最大值 ( $20.63 \times 10^8$  cells/L)。各站位细菌产量的平均值为  $0.047 \mu\text{gC}/(\text{L}\cdot\text{h})$ , 比夏季北部海区低约 50% (表 1)。

表 1 台湾海峡细菌丰度、生物量、产量

Tab.1 The average and range of the bacterial abundance, biomass and production in Taiwan Strait

细菌参数	夏季	冬季
丰度 ( $10^8$ cells/L)	5.31 (0.35—16.11)	8.12 (2.59—20.63)
生物量 ( $\mu\text{gC}/\text{L}$ )	10.62 (0.69—32.21)	16.24 (5.18—41.26)
产量 [ $\mu\text{gC}/(\text{L}\cdot\text{h})$ ]	0.089 (0.003—0.39)	0.047 (0.002—0.16)

注: 括号内数据为丰度、生物量、产量的范围

### 2.2 剖面特征

表 2、表 3、表 4 分别给出了夏季航次各站位和冬季两个定位站的细菌生物量的垂直分布特征。在 9701 站不同时间所测得的细菌生物量的峰值大都出现在表层, 在 10—30m 之间存在一个明显的跃层; 9704 站也具有类似的分布特征, 而且随时间变化有较大的波动。水文数据表明在这两个站位存在明显的温盐跃层 (洪华生等, 1997), 与细菌生物量跃层的分布位置相吻合, 同时这两个站位 40m 以下有低温高盐的外海水侵入, 造成该深度以下水层细菌生物量的相对贫瘠。9709 和 9715 站位垂直分布较为均匀, 而其它各站位垂直分布特征不规则, 波动性较大。

表 2 9701、9704 站位夏季航次细菌生物量 ( $\mu\text{gC}/\text{L}$ ) 的垂直分布

Tab.2 Vertical distribution of the biomass ( $\mu\text{gC}/\text{L}$ ) during summer cruise at 9701 and 9704 stations

深度 (m)	9701 站						9704 站			
	12:00	18:00	00:00	06:00	12:00	18:00	12:00	18:00	00:00	06:00
0	14.65	14.42	17.56	19.56	21.17	27.84	12.04	18.63	12.19	6.33
10	14.95	18.94	12.65	13.34	19.79	10.05	3.91	17.64		
20	8.90	4.22	10.47	10.77	10.70	8.93	7.86	6.33	18.02	14.38
30	3.78	3.07	3.47	4.77	6.21	8.51	11.27	5.67	1.84	8.47
50							2.84	4.75	2.26	3.66
55	1.48	1.65	1.48	2.32	2.30	4.26				
68							1.69	1.32	0.94	1.17

表 3 其他站位夏季航次细菌生物量( $\mu\text{gC/L}$ )的垂直分布  
Tab.3 Vertical distribution of the biomass ( $\mu\text{gC/L}$ ) during summer cruise at other stations

深度(m)	站位					
	9706	9709	9712	9715	9718	9721
0	12.64	15.57	19.86	9.97	15.03	14.34
10	18.63	12.04	19.56	11.81		
20	5.37	12.23	7.40	11.12	13.29	20.32
30	11.81	13.00	14.65		7.71	19.02
38			12.84			
40		15.45				
50				9.82	15.87	6.83
57				7.13		
69					3.80	
82						4.20

表 4 冬季航次细菌生物量和产量的垂直分布  
Tab.4 Vertical distribution of biomass and production of the bacteria during winter cruises

深度(m)		0	10	20	30	50	64
生物量( $\mu\text{gC/L}$ )	9837 站	18.48	13.73	15.72	14.19	22.24	19.63
	9813 站	8.36	13.57	12.42	6.33	8.93	--
生产力[ $\mu\text{gC}/(\text{L}\cdot\text{h})$ ]	9738 站	--	0.1274	0.0394	0.0695	0.1196	0.0347

### 2.3 周日变化

通过每隔 3h 的采样测定,发现 9704 站位表层水体中细菌丰度在白天明显高于夜间,其日变化表现一定的周期性。早晨 6 时起丰度增大,到中午达到峰值,此后出现一个小波动,晚间数量开始减少,至午夜下降到最低值,此后又逐渐回升,变化范围为  $(6.44-15.99) \times 10^8/\text{L}$ 。同时还可以看出,在 9701 和 9704 站的表层细菌丰度日变化幅度大,中层次之,底层变化最小,而且中层和底层的生物量明显低于表层,与剖面分布特征相吻合。

表层水细菌产量的日变化幅度很大,最低值与最高值相差近 10 倍,远高于细菌生物量的相应变化幅度(表 5)。

表 5 周日内细菌生物量和产量的平均值及变化范围  
Tab.5 The mean and range of the bacterial biomass and production in daily cycle

站位	深度(m)	生物量( $\mu\text{gC/L}$ )	产量[ $\mu\text{gC}/(\text{L}\cdot\text{h})$ ]
9701	0	21.94(17.94—25.84)	0.074(0.210—0.16)
	20	9.15(6.33—17.94)	0.047(0.004—0.12)
	40	5.32(3.76—7.67)	0.061(0.016—0.13)
9704	0	21.68(12.88—31.98)	0.08(0.012—0.12)
	30	7.42(2.88—31.98)	0.10(0.006—0.20)
	50	2.94(1.36—7.75)	0.12(0.047—0.20)

## 2.4 平面分布

夏季各站位表层水有相对较高的细菌生物量(9.97—23.16 $\mu\text{gC/L}$ )。9701 和 9704 两个定位站分别位于台湾-闽南浅滩的西北部,为上升流区,生物量大(郑天凌等, 1997)。9723 站最靠近陆地,受沿岸水影响大,生物量最高(表 6)。冬季北部海区上层水体的生物量(取表层水和 10m 水层的平均值)比夏季南部海区生物量高[11.40—25.77 $\mu\text{gC}/(\text{L}\cdot\text{h})$ ]。第一断面中,位于海峡中部的 9805 站生物量较高,分别向大陆和台湾沿岸方向沿展,生物量反而降低,第四断面靠近厦门港的 9835 站生物量最大,向外海,生物量逐渐降低。

表 6 细菌生物量( $\mu\text{gC/L}$ )和产量[ $\mu\text{gC}/(\text{L}\cdot\text{h})$ ]的平面分布

Tab.6 Horizontal distribution of the bacterial biomass ( $\mu\text{gC/L}$ ) and production [ $\mu\text{gC}/(\text{L}\cdot\text{h})$ ]

站位	表层水数据		站位	表层和 10m 层的平均值	
	生物量	产量		生物量	产量
9701	20.9918	0.07319	9801	14.5512	
9704	18.3357	0.09178	9803	19.2611	0.04199
9706	12.6447	0.06714	9805	21.8556	0.04191
9709	15.5673	0.12011	9807	15.2222	0.00746
9712	19.8618	0.25220	9809	12.5766	0.02910
9715	9.9692	0.17804	9813	11.3957	0.03081
9718	15.0305		9835	25.7666	0.00233
9721	14.3404	0.19984	9837	18.4256	0.06648
9723	23.1593	0.08419	9838	17.4462	0.02212
			9840	11.7330	0.06190
			9842	15.5673	0.11189

## 2.5 细菌生物量和产量的调控机制

细菌生物量和产量的时空分布受多种环境因素和生物过程的影响。台湾海峡细菌生物量和产量时空分布变动性很大,而且二者间有明显的差异性,说明它们受到不同因素的调控和制约。

生物量的垂直分布表明,夏季海峡南部细菌生物量受水团的影响显著。在 9701 和 9704 站,生物量跃层明显(表 2),而且与温盐跃层相吻合。受沿岸上升流的影响,沿岸站位水动力条件复杂,温盐跃层不明显,细菌生物量的垂直分布极不规则。由于水团的性质对原生动物的垂直分布有很大影响,而且在沿岸站位,纤毛虫丰度在垂直剖面中的峰值,往往对应着细菌生物量的最低值。由此推测,本海区水团对细菌生物量的影响实际上主要是原生动物的摄食作用的结果,即生物过程是细菌丰度的主要调控因素,这与 Jost(1992)的研究结果一致。

海水中的溶解有机物(DOM)是细菌生长繁殖的营养来源,对细菌的二次生产力的大小起着决定性的作用(宁修仁, 1997; 肖天等, 2000; Jost, 1992)。但通常情况下,能够被细菌直接吸收利用的 DOM 所占比例很小,无法满足细菌的营养需求,因此相对 DOM 的总量而言,其组分结构和可利用程度与细菌的二次生产有着更为密切的关系(Münster *et al.*, 1990)。

作者认为,由于地表径流往往会携带大量难降解的大分子有机物入海,造成沿岸海区的 DOM 含量较高,但其中可直接被细菌吸收利用的组分比例低(郑天凌等, 1994, 1997)。作者在本文中的采样站位多数位于近岸区,DOC 总量与二次生产无明显的相关性。而 9704 站位位于远岸海域,DOC 的主要来源为浮游植物光合作用产物(PhDOC),其中小分子组分含量较高,易于被细菌利用(Chróst, 1990),因此相对整个

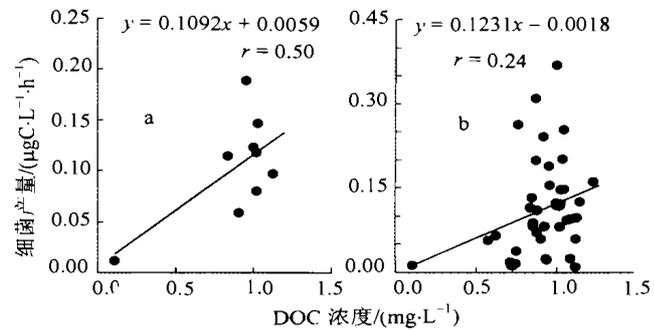


图 2 细菌产量与 DOC 浓度的相关性

Fig.2 The relation between DOC concentration and bacterial production  
a. 9704 站位数据;b. 南部海区数据

南部海区而言,在 9704 站 DOC 和细菌二次生产的数据有较好的线性相关性(图 2),二者的昼夜变化也表现出一致性(表 7)。获取 DOC 中相关组分含量的数据会有助于更清晰地认识 DOC 组分构成的差异对细菌有效利用溶解有机物的影响。

表 7 细菌产量[µgC/(L·h)]和 DOC 浓度(mg/L)的周日变化(离岸站位)

Tab.7 Diel cycle of the bacterial production [µgC/(L·h)] and the concentration (mg/L) of the DOC (at off-shore station)

时间(h:min)	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00	00:00	03:00	06:00
产量		0.1132	0.9085	0.1220	0.0778	0.0980	0.0959	0.0793	0.0113
DOC 浓度	1.0230	0.8410	0.9085	1.0015		1.5830	1.1295	1.0215	0.1100

### 2.6 细菌在台湾海峡微型生物食物环中的作用

通过比较(表 8),作者认为相对于生物量而言,台湾海峡细菌产量较低,其周转时间为夏季 4.9d、冬季 14.4d,表明夏季平均每天约 20%的细菌被原生动植物所摄食或被病毒侵袭裂解,而冬季只有 7%,周转率不高。纤毛虫对细菌的摄食实验也表明在微型生物食物环中,细菌对上一营养级的贡献较低。

表 8 不同海域细菌生物量、产量和周转时间的比较

Tab.8 Comparison of bacterial biomass, production and turnover time of the glucose in different areas

海域	BB(µgC/L)	BP[µgC/(L·h)]	T <sub>i</sub> (d)	文献
台湾海峡(冬季)	16.24	0.049	14.9	本文
台湾海峡(夏季)	10.62	0.089	4.9	本文
寡营养盐站位	7.2	0.38	0.78	Rath, 1993
富营养盐站位(加勒比海)	18.6	0.65	1.3	Rath, 1993
Fiel fjord 海湾(离岸)	9.8	0.1	4.0	Hoppe, 1983
Schlei fjord 海湾(离岸)	17.6	0.39	1.8	Hoppe, 1983

注:BB 为细菌生物量;BP 为细菌产量;T<sub>i</sub> 为细菌生物量周转时间

细菌产量低的主要原因可能是该海域水体中易于被细菌所直接吸收利用的有机营养物质含量低,而且细菌胞外酶无法有效地水解大分子有机物释放细菌生长所需的营养;也可能是由于其它因子的影响,使细菌无法有效地吸收 UDOC,转化为细菌生物量。通过对台湾海峡海域综合研究的相关数据进行分析,作者认为,本海域细菌产量水平低主要源于第二方面:以 9838 站位为例,细菌  $\beta$ GlcA( $\beta$ -葡萄糖苷酶活性)为  $0.091\mu\text{gC}/(\text{L}\cdot\text{h})$ ,但对水体中天然存在的相关底物的水解率( $H_r$ )仅为  $0.31\%/d$ ,表明底物的存量很丰富,在  $\beta$ -葡萄糖苷酶水解作用下,可以释放足够的葡萄糖,维持细菌的二次生产 [ $0.11\mu\text{gC}/(\text{L}\cdot\text{h})$ ]。细菌对葡萄糖的吸收实验表明,最大潜在吸收能力较低 [ $V_{\max} = 0.0018\mu\text{gC}/(\text{L}\cdot\text{h})$ ],对葡萄糖的周转率( $T_r$ )为  $0.6\%/d$ ,这表明细菌无法有效地利用葡萄糖,因而导致二次生产偏低。

作者推测营养盐在其中扮演了限制因子的角色。传统的观点认为,营养盐含量仅仅影响浮游植物的生长繁殖,但 Zweifel 等(1993)的研究表明,无机氮、无机磷等营养盐的缺乏会降低细菌对有机碳的利用率,导致二次生产的下降。夏季航次的观测中,海区营养盐含量很低,几乎降至历年的最低值,其中溶解无机磷(DIP)经常未检出(洪华生等,1997)。因此,营养盐的匮乏可能是导致本海区二次生产较低的主要原因。

夏、冬两个季节,台湾海峡南北海域出现细菌较低产量的现象,与作者于 1995 年在本海域的研究结果相似。在微食物环中,细菌作为“摄食”DOC 的第一营养级,未能起到高效的物质和能量的传输作用。由此推测本海域微型生物食物环的作用因受某些因素的制约而显得不够显著(伍伯瑜等,1987;高会旺等,2000;福建省海洋研究所,1988)。有关该制约因子的细节情况正在进一步研究中。

### 参 考 文 献

- 王 斐,郑天凌,洪华生,1998a. 海洋病毒在微生物食物环中的重要作用. 海洋科学, 4: 41—43
- 王 斐,郑天凌,洪华生,1998b. 细菌胞外酶的生态作用. 海洋科学, 6: 25—29
- 宁修仁,1997. 微型生物食物环. 东海海洋, 15(1): 66—68
- 伍伯瑜,陈季良,1987. 台湾海峡. 见:《中国大百科全书》大气科学-海洋科学,水文科学卷. 北京:科学出版社, 331—340
- 肖 天,王 荣,2000. 东海异养细菌生产力的时空分布. 海洋与湖沼, 31(6): 664—670
- 郑天凌,王海黎,洪华生,1994. 微生物在碳的海洋生物地球化学循环中的作用. 生态学杂志, 13(4): 47—50
- 郑天凌,默哈默德,李文权等,1997. 台湾海峡海域细菌生产力及其异养活性研究. 见:洪华生著. 台湾海峡初级生产力及其调控机制研究,中国海洋学文集(卷7). 北京:海洋出版社, 153—161
- 赵卫红,2000. 海洋中胶体研究的新进展. 海洋与湖沼, 31(2): 221—229
- 洪华生,1997. 台湾海峡初级生产力及其调控机制研究. 见:洪华生著. 台湾海峡初级生产力及其调控机制研究,中国海洋学文集(卷7). 北京:海洋出版社, 1—15
- 高会旺,冯士筌,管玉平,2000. 海洋浮游生态系统动力学模型研究. 海洋与湖沼, 31(3): 341—346
- 福建省海洋研究所,1988. 台湾海峡中、北部综合调查研究报告. 北京:科学出版社, 111—137
- Cho B C, Azam F, 1988. Major role of bacteria in biogeochemical fluxes in the ocean's interior. Nature, 332: 441—443
- Cho B C, Azam F, 1990. Biogeochemical significance of bacterial biomass in the oceans euphotic. Mar Ecol Prog Ser, 63: 253—258
- Chróst R J, 1990. Microbial Ectoenzymes in Aquatic Environments. In: Munster U, Chróst R J ed. Aquatic Microbial Ecology: Biochemical and Molecular Approaches. New York: Springer Verlag, 47—78
- Del Giorgio P A, Cole J J, 1997. Respiration role in bacterial exceed phytoplankton production in unproductivity aquatic system. Na-

- ture, 385: 148—151
- Fuhrman J A. 1980. Bacterioplankton secondary production estimates for coastal waters of British Columbia and California. *Appl Environ Microbiol*, 39(6): 1085—1095
- Hagström A. 1988. Microbial loop in an oligotrophic pelagic marine ecosystem: possible roles of cyanobacteria and nanoflagellates in the organic fluxes. *Mar Ecol Prog Ser*, 49: 171—178
- Hoppe H G. 1983. Significance of exoenzymatic activities in ecology of brackish water: measurements by means of methylumbelliferyl-substrates. *Mar Ecol Prog Ser*, 11: 299—308
- Jost G. 1992. Bacteria between grazing pressure and organic carbon limitation. *Arch Hydrobiol Beih Ergebn Limnol*, 37: 233—240
- Michael J R F, Phillip W B. 1999. Modeling the relative contributions of autotrophs and heterotrophs to carbon flow at a Lagranzian JGOFS station in the Northeast Atlantic: the importance of DOC. *Limnol Oceanogr*, 44(1): 80—94
- Münster U, Chróst R J. 1990. Origin, Composition, and Microbial Utilization of Dissolved Organic Matter. In: Münster U, Chróst R J ed. *Aquatic Microbial Ecology: Biochemical and Molecular Approaches*. New York: Springer Verlag, 8—46
- Parsons T R. 1984. *A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis*. Pergamon Press, 1—120
- Rath J. 1993. Ecto enzymatic activity and bacterial dynamics along a trophic gradient in the Caribbean Sea. *Mar Ecol Prog Ser*, 102: 89—261
- Zheng T L, Cai L Z. 1993. The role of marine bacteria in upwelling ecosystem. *Acta Sinica Oceanologica*, 12(2): 261—267
- Zweifel U L, Norrman B, Hagstrom A. 1993. Consumption of dissolved organic carbon by marine bacteria and demand for inorganic nutrients. *Mar Ecol Prog Ser*, 101: 23—32

## BACTERIAL PRODUCTION, BIOMASS AND ROLE IN MICROBIAL LOOP IN TAIWAN STRAIT

ZHENG Tian-Ling, WANG Fei, XU Mei-Zhu<sup>†</sup>, HONG Hua-Sheng<sup>††</sup>

(*The School of Life Sciences, Xiamen University; Key Laboratory of Marine Environmental Science of Ministry of Education, Xiamen, 361005*)

<sup>†</sup>(*The School of Life Sciences; Environmental Science Research Center, Xiamen University, Xiamen, 361005*)

<sup>††</sup>(*Environmental Science Research Center, Xiamen University; Key Laboratory of Marine Environmental Science of Ministry of Education, Xiamen, 361005*)

**Abstract** Bacterial production (*BP*) was measured using tritiated thymidine incorporation (*TTI*) method. The bacterial biomass was determined by DAPI (4'-6-diamidino-2-phenylindole) dyeing and SEM method, and the bacterial absorption of in glucose in Taiwan Strait From August 10 to 19, 1997, and From February 20 to March 7, 1998, was studied. The results show that (1) the mean of bacterial production in the south of the Taiwan Strait in the summer was 0.09  $\mu\text{gC}/(\text{L}\cdot\text{h})$ , and it was 0.047  $\mu\text{gC}/(\text{L}\cdot\text{h})$ . The mean of bacterial production in the north of the Taiwan Strait in the winter; (2) the surface water had relatively high bacterial biomass 9.97—23.16  $\mu\text{gC}/\text{L}$  in the summer; and (3) the bacterial biomass of the southern surface water in winter was higher than in the north in winter 11.40—25.77  $\mu\text{gC}/\text{L}$ . The importance of microbes in the marine ecosystem of Taiwan Strait was discussed.

**Key words** Taiwan Strait, Bacterial production, Bacterial biomass, Microbial loop