

研究论文

南极普里兹湾及其邻近海域 细菌生产力的研究

邱雨生 黄奕普 陈敏 刘广山

(厦门大学海洋系, 厦门 361005)

提要 本文阐述了中国第 16 次南极科学考察期间(1999/2000 南半球夏季)运用³H 胸腺嘧啶核苷示踪法研究南极普里兹湾及其邻近海域细菌生产力的分布特征。结果表明:该海区细菌生产力比较低,变化范围在 4.5—191 ngC dm⁻³ h⁻¹,平均为 50.4 ngC dm⁻³ h⁻¹,其水平与 Ross 海相当。细菌生产力的变化较好地反映了浮游植物变化的特性,BP 与 PP 的比值为 0.41。表层水体中 BP 与 DOC 的分布特征呈反相关关系。普里兹湾及邻近海域细菌生产力、初级生产力及溶解有机碳之间的关系表明,细菌的活动受浮游植物活跃程度及其它环境条件的影响。

关键词 南极普里兹湾 细菌生产力 ³H 胸腺嘧啶核苷

1 前言

水体中细菌的存在以及它们的生命活动在海洋的物质循环和能量转换中起着非常重要的作用(郑天凌等,1997)。Dortch and Packard(1989)提出,在富营养水域的食物网受初级生产者的生物量所支配,而在寡营养水域的食物网受分解者的生物量所支配。在世界大洋中沉降有机物通量的时、空变化模式集中于探索元素动力学和食物网能量学,而异养细菌在真光层及其以下水体快速沉降的大有机颗粒的分解中起着显著的作用(Cho and Azam,1988)。细菌生物量(细菌数)及其活动是食物网结构中的主要因素,控制着营养盐的循环路径和生物化学动力学(Cho and Azam,1990)。真光层中细菌的活动有强烈的季节差异(Lovejoy *et al.*,2000)。随着检测技术的进步,人们认识到海洋中数量巨大的异养细菌不仅是有机物质的分解者,而且也是有机颗粒物的重要生产者(沈国英,施并章,2002)。因此,微生物食物网成为近 20 年来许多研究的焦点(Van Wambeke *et al.*,2000),细菌生产力(BP)的研究越来越受到海洋学家的重视。

[收稿日期] 2003 年 10 月 20 日收到来稿。

[基金项目] 国家自然科学基金(49836010)和科技部公益研究专项(2001DIA50040)资助。

[作者简介] 邱雨生,1963 年生。从事同位素海洋化学研究工作。

虽然有关海洋细菌生产力研究的报道非常之多,但大多数研究都集中于大陆架的沿岸海域,如 Fuhrman and Azam (1982)、陈騫等(1982)、Kirchman *et al.* (1985)、Barcina *et al.* (1992)、郑天凌等 (1997)、Sorokin (1999)、刘子琳等(2001)。而在南大洋,其相关研究的报道却不多。Fuhrman and Azam (1980)对不列颠哥伦比亚、加利福尼亚和南极等的沿岸水体的微生物次级生产力进行了估算;作为法国 JGOFS 计划的研究内容之一, Moriarty *et al.* (1997)对南大洋、南极中层水和印度洋 Moderk 水中的细菌生产力进行了观测,并详细地阐述了它们的分布特征及与水文参数(温、盐等)的关系; Ducklow (1999)发表了“大洋真光层的细菌组分”的微型综述,总结了基于 [³H]亮氨酸示踪法获得的北大西洋春季浮游植物水华期、HNLC 海域(赤道太平洋和亚北极北太平洋)、寡营养环流区(夏威夷和百慕大)、季风驱动的上升流区(阿拉伯海)以及南大洋的罗斯海等 JGOFS 研究海域的细菌生产力。此外, Maranger *et al.* (1994)观测了北极圈加拿大 Cornwallis 岛附近(74° 40' N, 94° 54' W)春季(4—5月)海水和海冰融化水中病毒(viruses)、细菌、Chl-*a* 丰度及细菌生产力,并讨论它们的群落组成。而在南极普里兹湾及邻近海域,迄今仅见 Leakey *et al.* (1996)报道过澳大利亚 Davis 南极考察站附近海域(68° 34.5' S, 77° 58.0' E)的细菌生产力。在中国南极科学考察第 16 航次期间,作者对普里兹湾及邻近海域的细菌生产力进行了初步探讨,本文报道其主要结果。

2 方法

2.1 样品采集

在中国南极科学考察第 16 航次期间(2000 年 1 月 18 日—2000 年 1 月 27 日), 62° S 在普里兹湾及相邻海区布设了 9 个测站(图 1),即陆架测站 -12(水深 600 m,位于海冰的边缘)、陆坡测站 -6(水深 2500 m)和深水测站(-2、-4 等 6 个站,水深均大于 3000 m)。

用于细菌生产力测定的水样由 Niskin 采水器采集。样品采集层次与初级生产力相同,其中 -2、-4、-2、-6、-1、-6 采集了对应于不同光强的水样用于研究细菌生产力的垂直分布,而 -1⁺、-12、-1 仅采集表层样品进行研究。在垂直采样的站位中,-2 和 -1 站分别采集了对应于表面光强 100%、50%、10%和 1%的样品,而 -4、-2、-6 和 -6 站则分别采集了对应于表面光强 100%、50%和 1%的样品。

2.2 细菌生产力的测定和计算方法

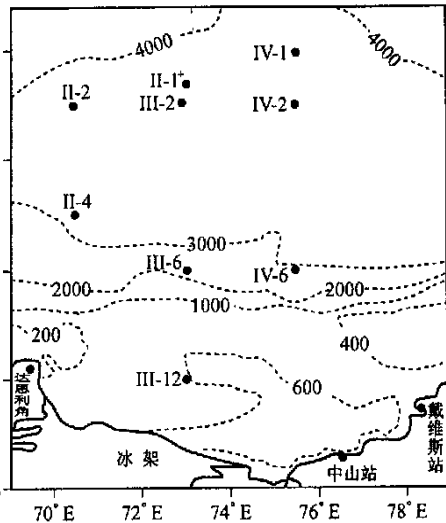


图 1 细菌生产力的采样站位
Fig. 1. Sampling locations for bacterial productivity (BP) measurements

取同一水层的海水各 20 mL, 分别注入 3 个经消毒的洁净透明的 60 mL 试剂瓶中。其中 1 瓶加入 0.1 mL 40% 甲醛溶液作为空白对照样。往 3 个瓶中各加入 0.1 mCi ^3H 胸腺嘧啶核苷示踪剂 (60 Ci/mmol), 混匀后, 根据样品采集深度的光强套上相应的遮光布, 于甲板上模拟现场培养约 2 h。

培养结束后, 立即向两份平行样中各加入 0.1 mL 40% 甲醛溶液, 以终止 DNA 的合成。1 min 后, 再分别加入 20 mL 10% TCA (三氯乙酸) 溶液, 混合并萃取 10 min。用 0.22 μm 孔径的混合纤维素酯膜过滤, 再以 5% TCA 溶液洗涤 3 次, 取下滤膜, 适当折叠后置于洁净的塑料袋并冷冻保存。至陆上实验室后, 用液体闪烁计数器 (Packard TRF-CARB 4640 型) 测定 ^3H 放射性活度, 测定过程中对闪烁液的淬灭效应进行了校正。由测定的 ^3H 放射性活度, 按下式计算异养细菌生长速率 (简称 HBR, 单位为 $\text{cells} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$) (Fuhrman and Azam, 1980, 1982):

$$HBR = \frac{A \times 630}{S \cdot V \cdot t}$$

式中, $A = A_{\text{样品}} - A_{\text{空白}}$, $A_{\text{样品}}$ 为两平行样 ^3H 放射性活度的平均值 (dpm), $A_{\text{空白}}$ 为空白对照样 ^3H 放射性活度 (dpm), S 为示踪剂的比活度 (Ci/mmol), V 为样品体积 (dm^3), t 为培养时间 (h), 630 为 $4.5 \times 10^{-13} \times 1.4 \times 10^{18} \times 10^{-3}$ (其中 4.5×10^{-13} 为单位 dpm 所相当的放射性活度的居里数; 1.4×10^{18} 为 Fuhrman and Azam (1982) 推荐的经验常数, 单位为 cells/mol)。细菌生产力 (缩写为 BP) 利用另一经验常数 $20 \text{ fgC} \cdot \text{cell}^{-1}$ 计算获得 (Lee and Fuhrman, 1987; Moriarty *et al.*, 1997; Ducklow, 1999; Van Wambeke *et al.*, 2000; Lovejoy *et al.*, 2000)。即:

$$BP = 20 \times 10^{-15} \cdot HBR$$

3 结果与讨论

3.1 普里兹湾细菌生产力水平与分布

3.1.1 细菌生产力水平

南极普里兹湾夏季 (2000 年 1 月) 真光层中细菌生产力变化范围在 $4.5 \sim 191 \text{ ngC} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ 之间, 平均为 $50.4 \text{ ngC} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ ($n=23$)。BP 的水柱积分值介于 $0.67 \sim 6.1 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 之间, 平均值为 $2.7 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, 即由 BP 表征的碳通量为 $2.7 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

表 1 列出了世界若干海域细菌生产力的研究结果。从中可以发现, 河口、海湾及近岸海域的 BP 测值较高, 如美国 Mississippi 河口、长江河口、法国 Rhone 河口、加拿大 Georgia 海峡 3 条河流的河口、切萨皮克湾、特拉华湾 (美国)、胶州湾、加拿大不列颠哥伦比亚沿岸水体、Scripps 栈桥水体等, 它们的 BP 值一般在 $10^2 \sim 10^4 \text{ ngC} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ 量级, 而在高纬度地区, BP 明显要低得多, 如罗斯海、南极 McMurdo 海峡、南印度洋、普里兹湾及邻近海域、楚科奇海与白令海、北太平洋亚北极海域等, 它们的 BP 通常在 $10^2 \text{ ngC} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ 数量级以下, 其它海域 BP 的水平大致介于这两者之间。但普里兹湾 Davis 考察站附近海域例外。应当指出, 尽管本文的研究海域与 Leakey *et al.* (1996) 所观测的 Davis 站同

属普里兹湾,但从图 1、表 1 不难看出,Leakey *et al.* 的测站位于本研究海域的东南隅,又紧靠岸边(水深仅 22 m),那里是普里兹湾生产力最高的地方,Chl-a 可达 $21.2 \mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$,平均值为 $18.5 \mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$ (Leakey *et al.*, 1996),而在本研究海域(水深最浅也有 600 m) Chl-a 含量最高才 $5.08 \mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$,平均值为 $0.68 \mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$ 。因此,Leakey 等人的观测结果较高是可以理解的。由于本研究海域远离其它大陆,陆源物质或沿岸有机物的输入较少,从而导致研究海域呈现低的 *BP* 特征。

表 1 不同海域的细菌生产力

Table 1. Bacterial productivity in different oceanic regions

海 域	<i>BP</i> 范围 ($\text{ngC} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$)	<i>BP</i> 平均值 ($\text{ngC} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$)	<i>BP</i> <i>PP</i>	文 献
普里兹湾及其邻近海域	4.5—190.7	50.4	0.15—0.70 平均 0.41	本 文
普里兹湾 Davis 考察站 (68°34.5' S, 77°58.0' E) 附近海域	225—704	567	—	Leakey <i>et al.</i> , 1996
北冰洋 C8 站	26—344	156	0.63	陈 敏等, 2003
C34 站	13—36	22	0.52	
白令海 B1-9 站	110—268	195	1.27	
东海,冬	460—2620	—	0.17	肖 天等, 2000
夏	3500—15700	—	0.32	
胶州湾, 四季平均	75—15400	—	0.27	Van Wambeke <i>et al.</i> , 2000
Cretan 海 (25°10' E, 35°23' N—35°45' N)	0.1—82	—	—	
加拿大不列颠哥伦比亚沿岸水体 (48°40' N, 123°29' W)	275—2958	—	0.17—0.30	
加利福尼亚 La Jolla Scripps 栈桥 (32°53' N, 117°15' W)	29.2—2208	—	0.09—0.18	Fuhrman <i>et al.</i> , 1980
南极 McMurdo 海峡	0.02—121	—	0.00—0.11	Moriarty <i>et al.</i> , 1997
南印度洋 (39°S—52°S, 56°E—58°E)	1.2—2.9	—	—	
Ross 海 (沿 76.5°S 纬线)	55 $\text{mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$	50.9	0.04	
赤道太平洋 (0°N, 140°W)	285 $\text{mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ (春)	61.1 (春)	0.26 (春)	
	176 $\text{mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ (秋)	60.1 (秋)	0.11 (秋)	
北大西洋 (47°N, 20°W)	275 $\text{mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$	229	0.25	Ducklow, 1999
阿拉伯海 (10°N—18°N)	257 $\text{mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$	144.7	0.22	
北太平洋亚北极海域	56 $\text{mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$	29.2	0.09	
百慕大时间系列站	70 $\text{mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$	20.8	0.18	
楚科奇海与白令海	6.25—70.8	—	1.13—1.70	Steward <i>et al.</i> , 1996
密西西比河口	167—3750 (夏)	—	—	Chir-Leo and Benner, 1992
	125—833 (冬)	—	—	
长江口 (春季)	560—4410	2390	0.18	刘子琳等, 2001
长江口 (秋季)	220—3350	1440	0.28	
胶州湾	80—6630	—	—	焦念志等, 1995
海峡 3 条河流的河口	0—500	—	—	Albrigt, 1983
Rhône 河 (法国) 河口	10—300	—	—	Kirchman <i>et al.</i> , 1989
特拉华湾 (USA)	208—1583	—	—	Coffin and Sharp, 1987
		—	—	Kirchman and Hoch, 1988
切萨皮克湾 (USA)	833—11667	—	—	Jonas and Tuttle, 1990
		167—2083	—	Malone and Ducklow, 1990

3.1.2 细菌生产力分布

3.1.2.1 表层水中细菌生产力的水平分布

就 BP 的平均值而言,虽然其值较低(表 1),但从各个测站的结果来看,它们的变化范围还是较大的。由图 1 和图 2 可知, BP 的表层分布最高值出现在研究海域的西北部(-2)附近,最低值出现在研究海域的东北部(-1)附近,而靠近沿岸的 -4、-12、-6 等测站的 BP 都在均值上下波动,呈现出均匀分布的特征。这表明 BP 的分布表现出在研究海域局部的不均匀性,从本航次表层盐度分布(图 3)来看,在湾的内缘东侧存在一沿岸流。在湾内的沿岸区域由于有大量的海冰,温度较低、海冰的融化使得盐度较低等因素形成了表层 BP 如图 2 的分布。

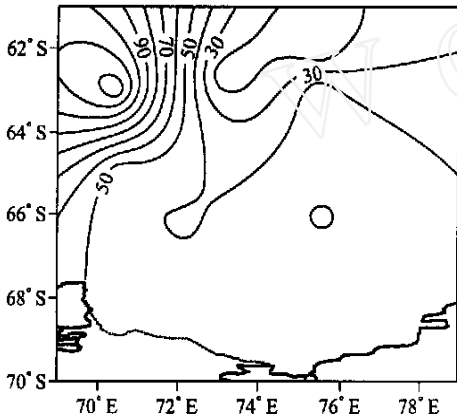


图 2 研究海域表层细菌生产力 ($\text{ngC} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$) 的分布

Fig. 2. Distribution of surface bacterial productivity ($\text{ngC} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$) in Prydz Bay

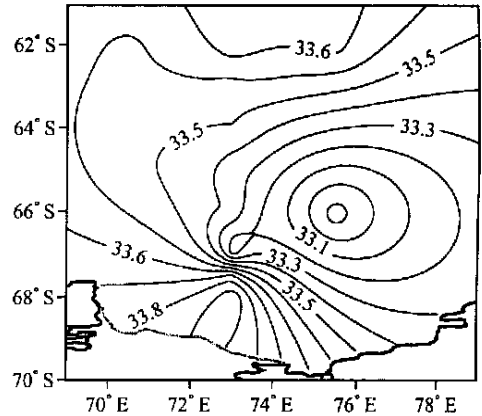


图 3 表层盐度分布

Fig. 3. Distributions of salinity in the surface

表 2 为真光层中 BP 的水柱积分值,其分布与表层 BP 的分布相似。若积分 BP 以 $\text{mmol C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 表示,6 个测站的数值为 1.4—12.2 $\text{mmol C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$,平均 5.4 $\text{mmol C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$,与北冰洋两个测站的测值(C8 站:5.7 $\text{mmol C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$;C34 站:2.0 $\text{mmol C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)相当,略低于白令海 B1-9 站的测值 22.2 $\text{mmol C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ (陈敏等,2003)。

表 2 BP 的水柱积分值

Table 2. Integrated BP in the euphotic zone at sampling stations

站 位	-6	-1	-4	-2	-2	-6
水深(m)	3000	3800	3000	3900	3900	2500
真光层深度(m)	54	90	36	60	77	22
$BP(\text{mmol C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1})$	4.2	6.8	1.8	12.2	6.2	1.4
$BP(\text{mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1})$	2.1	3.4	0.9	6.1	3.1	0.7
$PP(\text{mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1})$	4.85	9.14	4.71	9.52	4.40	4.58
BP/PP	0.43	0.37	0.19	0.64	0.70	0.15
BP/PP 平均值			0.41			
$BP_{CV}^{\#}$			0.63			
$PP_{CV}^{\#}$			0.33			

: BP 、 PP (初级生产力)的变异系数:标准偏差除以平均值。

3.1.2.2 细菌生产力的垂直分布

图 4 显示了研究站位 BP 的垂直分布特征,从中可以看出,各测站在次表层或约 20

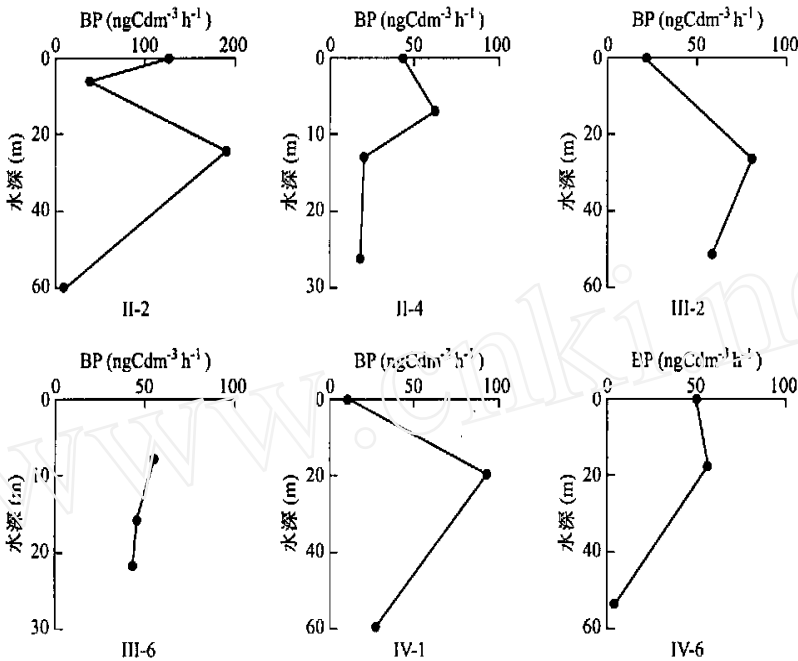


图 4 细菌生产力的垂直分布

Fig. 4. The profiles of BP

m 附近均出现极大值,之后, BP 随深度增加而减小。Van Wambeke *et al.* (2000) 在地中海的东北部 Cretan 海的研究中亦发现上层水体 (0—100 m) BP 的分布有类似的特点。此外,在 Moriarty *et al.* (1997)、彭安国等 (2003) 的研究中也有类似的发现。因此,这一结果也许是海洋真光层中 BP 垂直分布的一个较普遍的特征。

Leakey *et al.* (1996) 报道了澳大利亚南极考察站 (Davis 站) 附近表层水中实测的 BP 的结果,遗憾的是没有其它水层的数据。从图 1 和图 4 可知,无论是 BP 的水平分布还是垂直分布,其最大值均出现在 -2 测站的附近。由细菌生产力所反映的碳通量为 $6.1 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$,是研究海域积分 BP 平均值的 2 倍多,暗示着该测站附近的海洋环境的特殊性。

3.2 细菌生产力与初级生产力的关系

普里兹湾及邻近海域 BP 与初级生产力 (PP)^{*} 的关系示于表 2。可以看出,真光层中积分 BP 和积分 PP 的变化比较一致,即研究海域的中部较低 (-4、-6),周边 (-2、-1) 较高。

一些海域 BP 和 PP 的比值如表 1 所示。在所比较的海域中, BP/PP 比值变化幅度很大,从 0.04—1.70。多数变动在 0.1—0.7 之间,这与肖天等人 (2000) 所比较的另外 10 多个海域所给出的 BP/PP 比值介于 0.11—0.69 相当吻合。本研究海域 BP/PP 平均比值为 0.41,介于上述两组比较海域 BP/PP 比值的中值,这一结果比 Ducklow (1999) 在

邱雨生,黄奕普,刘广山等:南极普里兹湾及邻近海域初级生产力的时空变异,厦门大学学报(自然科学版),出版中。

Ross 海测得的结果(4%)要高许多,但在普里兹湾 $PP(79-805 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1})$ 要比 Ross 海的 $PP(720-1080 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1})$, Smith *et al.* (1996) 低得多,而两海域的 BP 相当(见表1),表明研究海域细菌的作用要比在 Ross 海的大得多。表1中楚克奇与白令海沿岸海域 BP/PP 的比值高达 1.13—1.70, Steward *et al.* (1996) 认为细菌需碳量(BCD)超过 PP 的 100% 可能是由于有机物的大量再循环和来自其它海域的平流输入的结果。沈国英和施并章(2002)指出,虽然 BP 依海域和深度的不同变化很大,但多数相当于 PP 的 20%—30%,而且这一比例无论是在海洋或在陆地水环境中基本一样。假定细菌对 DOM 的同化效率为 70%,则可以认为海域 PP 的 30%—40% 是通过浮游植物的细胞分泌和(或)浮游植物来源的有机碎屑被细菌所利用(沈国英,施并章,2002)。从以上两组不同海域的比较,不难看出总 PP 中的相当一部分被异养细菌浮游生物所利用,在沿岸海洋食物网的定量上,细菌浮游生物是一个重要组分。Fasham *et al.* (1999) 指出,即使在水华期,在微型浮游动物的摄食中仍有 15% 来自异养细菌。Harada (1995) 在实验水体中进行了浮游动物对 BP 转化效率的研究,结果表明,其转化效率相当于浮游动物对 PP 的转化效率的 52%。这些均证实海洋异养细菌在微生物食物环中具有重要的作用。由表2的 BP_{CV} (BP 的变异系数, CV 即 Coefficients of Variation) 大于 PP_{CV} (PP 的变异系数) 可知,细菌的变化比浮游植物的变化要更大些。一般地,在开阔大洋中细菌依赖于浮游植物过程(Ducklow, 1999)。Ducklow 所得的 BP_{CV} 和 PP_{CV} 值相当,并认为细菌的变化精确地反映着浮游植物的性质。而本研究得到的 BP_{CV} 略大些,表明在本研究海域 BP 不仅依赖于 PP , 而且可能还受到水体运动及其它生物活动的影响。

3.3 细菌生产力与溶解有机碳的联系

在中国第16航次南极科考期间,我们既研究了细菌生产力,同时也研究了溶解有机碳(DOC),普里兹湾及邻近海域表层水 DOC 浓度的空间分布如图5所示(Qiu Yusheng *et al.*, 2003)。比较图2和图5,我们不难发现,研究海域表层水中 BP 和 DOC 的分布,总体来说,两者呈反相关关系, BP 的分布为东低西高,更准确地说,是东低西北高,而 DOC 恰好相反,东高西低,两者的分布特征非常明显,而趋势截然相反,这是不难理解的。Kirchman *et al.* (1991) 曾研究北大西洋春季水华期中 DOC 的周转速率,他们发现,随着细菌的生长和生物量的增加,DOC 浓度很快降低,与此同时, $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的浓度也很快减小,当细菌

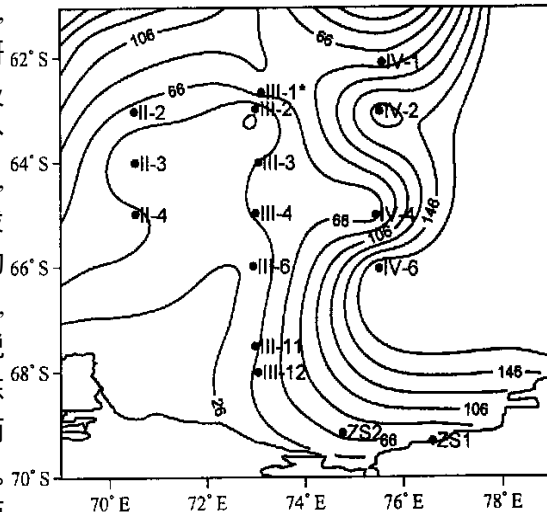


图5 普里兹湾及邻近海域表层水 DOC 浓度 ($\mu\text{mol C} \cdot \text{dm}^{-3}$) 的空间分布

Fig. 5. Distributions of surface DOC concentrations in Prydz Bay and its adjacent waters

生物量 (cell/dm^3) 达最大值 (约 4.2 d) 时, DOC 几乎降到最低值而 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 减小至最低浓度, 与此同时, 摄食细菌的鞭毛生物开始生长, 使细菌生物量从峰值开始下降, 而鞭毛生物量 4.2 d 后迅速增大, 同时释放一定量的 DOC, 减缓 DOC 浓度下降速率并使 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度几乎与鞭毛生物量同步增长。从以上细菌、鞭毛生物、DOC、 NO_3^- 、 NH_4^+ 等随时间变化的图像, 我们清楚地看到, 水体中细菌的生长消耗了 DOC、 NO_3^- 。不久前, Richardson 与 Daniels (2003) 在集成 U. S. J GOFS 数据的研究中, 利用反演分析 (inverse analysis) 揭示浮游生物食物网中的碳循环, 试图阐明食物网各组分在控制碳迁移、颗粒输出和 DOC 生产方面的作用。结果显示, 细菌生产力的数值表明体系中净初级生产力的 53% 左右是以 DOC 的形式释放的, 后者被细菌所吸收。普里兹湾及邻近海域表层 BP 和 DOC 的分布图象是以上研究结果的最好佐证。

4 结论

在中国第 16 次南极科学考察期间, 利用 ^3H -胸腺嘧啶核苷示踪法研究了南极普里兹湾及邻近海域的细菌生产力, 得出以下结论:

南极普里兹湾及邻近海域细菌生产力水平较低, 与 Ross 海极为相似。其变化范围为 $4.5 \text{ ngC} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ — $191 \text{ ngC} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$, 平均为 $50.4 \text{ ngC} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ 。细菌生产力在次表层存在极大值是普里兹湾及其邻近海域 BP 垂直分布的普遍特征。研究海域的 BP/PP 比值平均为 0.41, 与世界其它多数海域 (0.1—0.7) 的结果相吻合, 表明总 PP 中的相当一部分被异养细菌浮游生物所利用。研究海域表层水体中 BP 与 DOC 的分布特征呈反相关关系。

致谢 中国极地研究所的罗宇忠和北海分局的马训辉为本文提供了温、盐、深等水文数据, 国家海洋局第二海洋研究所的卢勇为本文提供了营养盐的数据, 中国极地研究所的陈波、国家海洋局第一海洋研究所的将志晓、国家海洋局第二海洋研究所的刘子琳等在水样采集过程中给予了大力的帮助。作者谨此一并表示衷心的感谢。

参考文献

- 刘子琳, 越川海, 宁修仁等 (2001): 长江冲淡水区细菌生产力研究, 海洋学报, 23(4), 93—99。
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。
沈国英, 施并章 (2002): 海洋生态学 (第二版), 北京, 科学出版社, 263—270。
陈敏, 高众勇 (2003): 北冰洋碳的生物地球化学, 北极海洋环境与海气相互作用研究, 北京, 海洋出版社, 141—179。
陈鹏等 (1982): 东海大陆架异养细菌的生态分布, 海洋科学集刊, 19, 1—9。
郑天凌, 默哈默得, 李文权等 (1997): 台湾海峡海域细菌生产力及其异养活性研究, 中国海洋学文集, 7, 153—161。
彭安国, 黄奕普, 刘广山等 (2003): 大亚湾细菌生产力研究, 海洋学报, 25(4), 83—90。
焦念志, 肖天 (1995): 胶州湾的微生物二次生产力, 科学通报, 40(9), 829—832。
Albright LJ (1983): Influence of river-ocean plumes upon bacterioplankton production of the Strait of Georgia, British Columbia, Mar. Ecol. Prog. Ser., 12, 107—113。
Barcina I, Ayo B, Unanue M et al. (1992): Comparison of rates of Flagellate bacterivory and bacterial production in a marine coastal system, Appl. Environ. Microbiol., 58(12), 3850—3856。

- Chin-Leo G and Benner R(1992) : Enhanced bacterioplankton production and respiration at intermediate salinities in the Mississippi River Plume , *Mar. Ecol. Prog. Ser.* , 87 ,87—103.
- Cho BC and Azam F(1988) : Major role of bacteria in biogeochemical fluxes in the ocean s interior , *Nature* , 332(6163) , 441—443.
- Cho BC and Azam F(1990) : Biogeochemical significance of bacterial biomass in the ocean s euphotic zone , *Mar. Ecol. Prog. Ser.* ,63 ,253—259.
- Coffin RB and Sharp JH (1987) : Microbial throphodynamics in the Delaware Estuary , *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 41 ,253—266.
- Dortch Q and Packard T (1989) : Differences in biomass structure between oligotrophic and eutrophic marine ecosystem , *Deep-Sea Research* , 36 ,223—240.
- Ducklow HW(1999) : The bacterial component of the oceanic euphotic zone , *FEMS Microbiology Ecology* , 30 ,1—10.
- Fasham MJR , Boyd PW and Savidge C(1999) : Modeling the relative contributions of autotrophs and heterotrophs to carbon flow at a Lagrangian JOGFS station in the Northeast Atlantic : the importance of DOC , *Limnol. Oceanogr.* , 44(1) , 80—94.
- Fuhrman JA and Azam F(1980) : Bacterioplankton secondary production estimates for coastal waters of British Columbia , Antarctica and California , *Appl. Environ. Microbiol.* , 39 ,1085—1095.
- Fuhrman JA and Azam F(1982) : Thymidine incorporation as a measure of heterotrophic bacterioplankton production in marine surface waters: evaluation and field results , *Marine Biology* , 66 ,109—120.
- Harada S(1995) : Variation in the transfer efficiency from photosynthetic and bacterial carbon production into zooplankton during a shift of zooplankton dominance from copepoda to doliolida , PICES fourth Annual Meeting Abstract , 23.
- Jonas RB , Tuttle JH(1990) : Bacterioplankton and organic carbon dynamics in the lower mesohaline Chesapeake Bay , *Appl. Environ. Microbiol.* , 56 ,747—757.
- Kirchman DL , Hoch MP(1988) : Bacterial production in the Delaware Bay estuary estimated from thymidine and leucine incorporation rates , *Mar. Ecol. Prog. Ser.* , 45 ,169—178.
- Kirchman DL , Soto Y , Wambek FV and Bianchi M(1989) : Bacterial production in the Rhône River plume effect of mixing on relationships among microbial assemblages , *Mar. Ecol. Prog. Ser.* , 53 ,267—275.
- Kirchman DL , Suzuki Y , Garside C and Ducklow HW(1991) : High turnover rates of dissolved organic carbon during a spring phytoplankton bloom , *Nature* , 352 ,612—614.
- Kirchman DL , K'Nees E and Hodson RE(1985) : Leucine incorporation and its potential as a measure of protein synthesis by bacteria in natural aquatic system , *Appl. Environ. Microbiol.* , 49 ,599—607.
- Leakey RJ G , Archer SD and Grey J (1996) : Microbial dynamics in coastal waters of East Antarctica : bacterial production and nanoflagellate bacterivory , *Mar. Ecol. Prog. Ser.* , 142 ,3—17.
- Lee S and Fuhrman JA(1987) : Relationships between biovolume and biomass of naturally derived marine bacterioplankton , *Appl. Environ. Microbiol.* , 53 ,1298—1303.
- Lovejoy C , Legendre L , Therriault J-C et al. (2000) : Growth and distribution of marine bacteria in relation to nanoplankton community structure , *Deep-Sea Research* , 47 ,461—487.
- Malone TC and Ducklow HC (1990) : Microbial biomass in the coastal plume of Chesapeake Bay : phytoplankton-bacterioplankton relationships , *Limnol. Oceanogr.* , 35 ,296—312.
- Maranger R , Bird DF and Juniper SK(1994) : Viral and bacterial dynamics in Arctic sea ice during the spring algal bloom near Resolute , N. W. T. , Canada , *Mar. Ecol. Prog. Ser.* , 111 ,121—127.
- Moriarty DJW , Bianchi M and Talbot V(1997) : Bacterial productivity and organic matter flux in the Southern Ocean and in the Antarctic Intermediate Water and Mode Water of the Indian Ocean , *Deep-Sea Research* , 44(5) ,1005—1015.
- Qiu Yusheng , Chen Min , Huang Yipu et al. (2003) : Distribution of dissolved organic carbon in and near the Prydz Bay , Antarctica , *Acta Oceanologica Sinica* , 22(4) ,547—556.
- Richardson TL and Deniels RM(2003) : Carbon cycling through planktonic food webs : Using inverse analysis to synthesize

- U. S. JGOFS data , *U. S. JGOFS News* , 12(2) ,5 —6.
- Smith WQ, Jr Nelson DM, DiTullio GR *et al.* (1996) : Temporal and spatial patterns in the Ross Sea: phytoplankton biomass, elemental composition, productivity, and growth rates, *J. of Geophys. Res.* , 101(C8) ,18455 —18465.
- Sorokin (1999) : Radioisotopic methods in hydrobiology, Springer-verlag Berlin, 199 —217.
- Steward GF, Smith DC and Azam F(1996) : Abundance and production of bacteria and viruses in the Bering and Chukchi Seas, *Mar. Ecol. Prog. Ser.* , 131 ,287 —300.
- Van Wambeke F, Christaki U ,Bianchi M *et al.* (2000) : Heterotrophic bacterial production in the Cretan Sea (NE Mediterranean) , *Progress in Oceanography* , 46 ,205 —216.

BACTERIAL PRODUCTIVITY IN PRYDZ BAY AND ITS ADJACENT WATERS , ANTARCTICA

Qiu Yusheng , Huang Yipu , Chen Min and Liu Guangshan

(Department of Oceanography , Xiamen University , Xiamen 361005 ,China)

Abstract

Bacterial productivity were estimated by ^3H -thymidine uptake in the Prydz Bay and its adjacent waters during the 16th Chinese National Antarctic Research Expedition (CHINARE) in the austral summer of 1999/2000. The bacterial productivity ranged from 4.5 to 191 $\text{ngC} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$, with an average of 50.4 $\text{ngC} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ in waters studied, which was relatively low and similar to those in the Ross Sea. The mean ratio of *BP* to *PP* was 0.41 in our study area. The maximum value of bacterial productivity occurred in the subsurface of water column which may be a typical feature of *BP* profiles. The distribution of *BP* in the surface water was inversely correlative to that of DOC. The relationship among *BP*, *PP* and DOC suggested that bacterial activities was influenced mostly by phytoplankton activities and hydrologic factors in the Prydz Bay and its adjacent waters.

Key words Antarctica , Prydz Bay , bacterial productivity , ^3H -thymidine.