

# 东海异养细菌生产力的时空分布\*

肖 天 王 荣

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

**提要** 1997 年 2—3 月和 1998 年 7 月, 在东海海区乘“科学一号”考察船进行两个航次的调查, 利用异养细菌特异示踪物[甲基- $^3\text{H}$ ]胸腺嘧啶核苷( $^3\text{H}$ -Tdr)并入 DNA 的速率测定东海( $27^{\circ}$ — $32^{\circ}\text{N}$ ,  $122^{\circ}$ — $130^{\circ}\text{E}$ )异养细菌生产力(BP)。结果表明, 1997 年 2—3 月(冬季)异养细菌生产力较低[ $0.46$ — $2.62\mu\text{gC}/(\text{L}\cdot\text{h})$ ], 1998 年 7 月(夏季)异养细菌生产力较高[ $3.50$ — $15.70\mu\text{gC}/(\text{L}\cdot\text{h})$ ]。冬季和夏季在长江口和 410 站附近都有一个异养细菌生产力的高值区。通过两个连续站的昼夜观测发现冬季异养细菌生产力变化是底层>中层>表层, 夏季是中层>底层>表层。异养细菌生产力与初级生产力(PP)之比, 即  $\text{BP}/\text{PP}$ , 冬季的均值为  $0.17$  ( $0.04$ — $0.30$ ), 夏季的均值为  $0.32$  ( $0.21$ — $0.43$ )。  $\text{BP}/\text{PP}$  冬季的高值区在长江口附近, 夏季的高值区在 111 站附近, 这与长江冲淡水有密切相关。

**关键词** 异养细菌 生产力 东海

**学科分类号** Q938.1

海洋是地球上三大的有机碳库之一, 海洋中绝大多数有机碳是可溶解的和可分解的 (Sugimura *et al*, 1988)。海洋中有机物的最初来源是初级生产力, 而进入溶解状态的有机物质主要靠海洋细菌(以异养细菌为主)来利用转化。在贫营养海区, 高达 86.5% 的初级生产力被细菌所消耗利用并再循环 (Hagstrom *et al*, 1988)。所幸的是细菌在利用溶解有机碳 (DOC) 的过程中实际上又提供了上一营养级可利用的颗粒有机碳 (POC), 这个过程被称之为“异养细菌生产力” (Fuhrman *et al*, 1980)。外海海域细菌生物量通常比浮游植物生物量高 2—3 倍, 平均占颗粒有机碳 (POC) 的 40% (Cho *et al*, 1990)。异养细菌在海洋生物生产和生源要素循环中起着无可替代的作用, 因此各种海区异养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。随着同位素示踪法、荧光显微镜计数法等一些新的研究方法的建立和流式细胞技术的应用, 国外对异养细菌生产力和生物量的研究广泛深入展开。我国这方面的研究工作较少, 尤其在东海还是空白。本文对东海异养细菌生产力的分布特点和变化规律进行报道, 以期对东海海洋通量关键过程研究提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究时间、站位及方法

1997 年 2 月 12 日—3 月 7 日和 1998 年 7 月 4—21 日在  $27^{\circ}$ — $32^{\circ}\text{N}$ 、 $122^{\circ}$ — $130^{\circ}\text{E}$  的

\* 国家自然科学基金重点资助项目, 49636210 号; 国家重点基础研究专项经费资助项目, G19990437 号。肖天, 男, 出生于 1957 年 11 月, 博士, 副研究员, E-mail: txiao@ms.qdio.ac.cn

收稿日期: 1999-06-09, 收修改稿日期: 1999-11-12

东海海区乘“科学一号”考察船进行了两个航次的调查。研究共设 3 个断面、49 个大面站和 2 个连续站(图 1)。其中异养细菌生产力的现场实验站是 103、105、107、111、113、115、117、201、203、205、207、403、404、405、408、409、410、412 和 418 站,以及连续站 111 和 410 站(1997 年 2—3 月航次此连续站设在 409 和 410 站之间为 409' 站)。大面站按 0.5、20m 和底层取水样,连续站按 0.5、20、30、50 和 75m 分 5 层取水样。通过固定 12 个 5L Nisk in 瓶的 Rosette 采水器采取水样。

## 1.2 异养细菌生产力(BP)的测定

用 TTI 法(Fuhrman *et al.*, 1980; Cho *et al.*, 1988)测定 BP。取 10ml 水样加入 5nmol 比活度为  $1.11 \times 10^{15}$  Bq/mol 的  $^3\text{H}$ -Tdr,现场温度下培养 30min,加入 10ml 10% 的冰镇三氯乙酸(TCA)终止实验并在冰浴中萃取 10—30min。水样多时先用 0.2% 福尔马林固定,然后再萃取。用孔径为  $0.2\mu\text{m}$  Nuclepore 在低真空度 ( $< 0.03\text{mPa}$ ) 下抽滤,滤毕用 3ml 5% TCA 涮洗 3 遍。膜样于闪烁瓶只加入 10ml Bio-Solv-3-Fluorally<sup>TM</sup>

闪烁液,在 Beckman LS-9800 液闪计数器上进行放射性测定。按 Parsons 等(1984)的公式计算单位时间并入细菌 DNA 的 Tdr 摩尔数,以  $1.4 \times 10^{18}$  个/mol Tdr 为转换因子,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( $20\text{fgC}/\text{cell}$ )(Lee *et al.*, 1987; Cho *et al.*, 1990)转换成以 C 表示的细菌生产力。

## 2 结果

### 2.1 异养细菌生产力(BP)的水平分布

测定表明,东海海区的异养细菌生产力变化,冬季在  $0.46\text{--}2.62\mu\text{gC}/(\text{L}\cdot\text{h})$ ,夏季在  $3.50\text{--}15.70\mu\text{gC}/(\text{L}\cdot\text{h})$  之间。其水平分布见表 1。由表 1 可知,冬季异养细菌生产力在

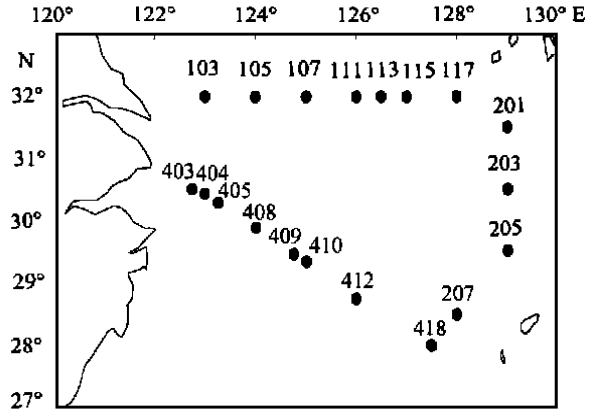


图 1 东海采样站位图

Fig. 1 Location of the sampling stations in the East China Sea

闪烁液,在 Beckman LS-9800 液闪计数器上进行放射性测定。按 Parsons 等(1984)的公式计算单位时间并入细菌 DNA 的 Tdr 摩尔数,以  $1.4 \times 10^{18}$  个/mol Tdr 为转换因子,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( $20\text{fgC}/\text{cell}$ )(Lee *et al.*, 1987; Cho *et al.*, 1990)转换成以 C 表示的细菌生产力。

表 1 东海异养细菌生产力 [ $\mu\text{gC}/(\text{L}\cdot\text{h})$ ] 水平分布变化

Tab. 1 Horizontal variations of heterotrophic bacterial production [ $\mu\text{gC}/(\text{L}\cdot\text{h})$ ] in the East China Sea

时间	层位	32° 断面站位							PN 断面站位						2 断面及深水站站位				
		103	105	107	111	113	115	117	403	404	405	408	410	412	201	203	205	207	418 <sup>1)</sup>
1997 年	表层	1.73	1.74	1.31	1.19	1.23	-	1.16	-	1.04	-	1.53	2.34	1.99	0.46	0.60	0.47	0.54	0.71
	冬季 底层	2.38	1.99	1.12	0.77	1.73	-	1.44	-	0.92	-	1.03	2.27	1.65	0.53	0.71	0.53	0.58	1.13
1998 年	表层	-	11.8	11.7	8.88	-	9.13	11.8	8.68	-	7.92	10.6	13.1	12.7	-	8.49	8.21	8.69	9.90
	夏季 底层	-	11.9	11.5	9.20	-	9.96	12.5	5.84	-	8.34	7.62	10.8	11.2	-	12.7	12.4	13.4	14.1

1) 418 站为 PN 断面站位,因其水深在 1000m 以上,故与 2 断面站位一起分析

32°断面有由沿岸向外递减趋势,而在 PN 断面的变化与 32°断面相反。在 2 断面则是由南向北递增。夏季异养细菌生产力在 PN 断面的变化仍有由沿岸向外递增趋势与冬季的

变化相似。在垂直分布方面, 冬季和夏季的异养细菌生产力的垂直变化在 2 断面是底层大于表层, PN 断面则是表层大于底层, 32 断面大多数站位是底层大于表层。通过连续站的观测, 见图 2、图 3。冬季 111 站异养细菌生产力的变化是底层 > 中层 > 表层, 409 站的变化是中层 > 底层 > 表层, 夏季 111 站和 410 站异养细菌生产力的变化都是中层 > 底层 > 表层。

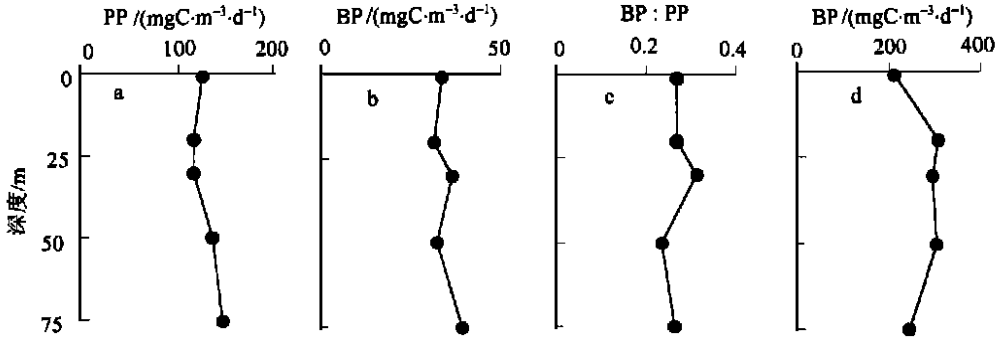


图 2 BP、PP 以及 BP/PP 在东海 111 连续站的垂直变化

Fig. 2 Vertical variations of BP, PP and BP/PP at anchor station 111 in the East China Sea  
a. PP (1997 年 2 月); b. BP (1997 年 2 月); c. BP/PP (1997 年 2 月); d. BP (1998 年 7 月)

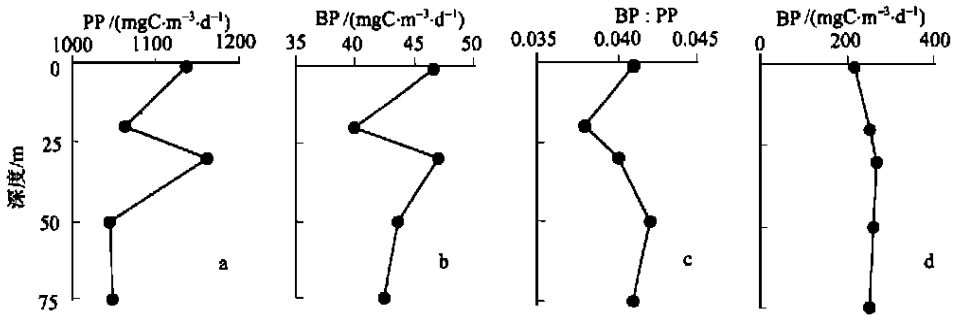


图 3 BP、PP 以及 BP/PP 在东海 409' (1997 年 2 月) 和 410 (1998 年 7 月) 连续站的垂直变化

Fig. 3 Vertical variations of BP, PP and BP/PP at anchor station 409' (1997.02) and 410 (1998.07)  
in the East China Sea

a. PP (409'); b. BP (409'); c. BP/PP (409'); d. BP (410)

## 2.2 异养细菌生产力与初级生产力的比值 (BP/PP)

测定表明, 东海海区, 冬季 BP/PP 范围为 0.04—0.30, 平均为 0.17; 夏季 BP/PP 范围为 0.20—0.43, 平均为 0.32, 如图 4 所示。冬季在长江口附近 BP/PP 有一个高值区是 0.30, 夏季在 111 站附近有一个高值区是 0.43, 而在 410 站附近 BP/PP 有一个低值区, 冬季是 0.04, 夏季是 0.21。从连续站 111 站和 409' 站观测发现, 底层的 BP/PP 明显高于表层 (图 2、图 3)。

## 3 讨论与结论

### 3.1 东海异养细菌生产力分布变化的特点

东海是初级生产力较高的海区 (焦念志等, 1998), 但异养细菌生产力的研究此前一直

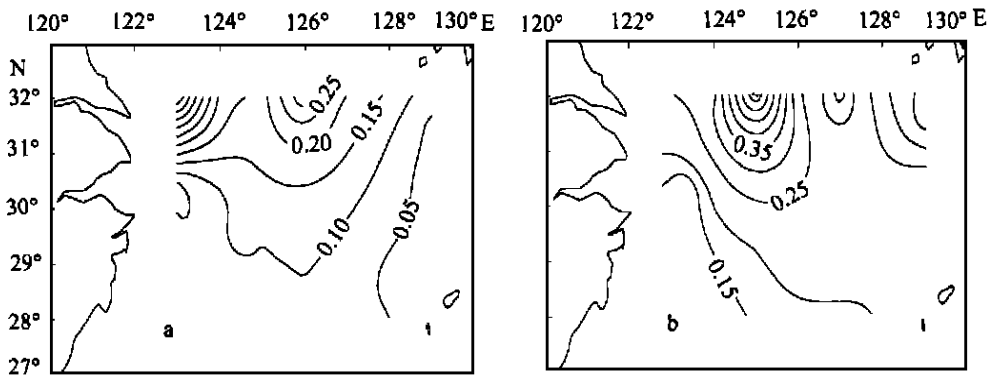


图 4 东海表层 BP/PP 的水平变化

Fig. 4 Horizontal variations of BP/PP on the surface in the East China Sea

a. 1997 年冬季; b. 1997 年夏季

是空白。本文研究发现,冬季和夏季异养细菌生产力在长江口附近和 PN 断面的 410 站附近都有一个高值区。长江冲淡水是携带有大量的有机物可能是影响长江口附近异养细菌生产力高的主要原因,而 410 站附近的初级生产力都比较高[冬季为  $1217.9 \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ; 夏季  $1418.8 \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ]<sup>1)</sup>,也是影响其海区异养细菌生产力高的重要原因。东海的异养细菌生产力与我国的其它海区,如胶州湾[冬季为  $0.075-0.11 \mu\text{gC}/(\text{L} \cdot \text{h})$ ; 夏季为  $2.69-15.40 \mu\text{gC}/(\text{L} \cdot \text{h})$ ](焦念志等, 1995)、渤海[春季为  $2.077-7.411 \mu\text{gC}/(\text{L} \cdot \text{h})$ ; 秋季为  $2.70-7.88 \mu\text{gC}/(\text{L} \cdot \text{h})$ ]<sup>2)</sup>相比是较高的,但与北海相当(Baretta- Bekker *et al.*, 1995),从垂直分布看(图 2、图 3 均值)连续站的初级生产力与异养细菌生产力变化较相似。

### 3.2 东海 BP/PP 的变化特点

东海 BP/PP 比值的高值区冬季出现在  $32^\circ$  断面的长江口附近,夏季出现在 111 站附近。这说明冬季长江口附近海区异养细菌所利用的有机物绝非全部来自海区的初级生产力,有相当比例的有机物是外源性的,特别是长江冲淡水对其影响。而夏季 111 站附近出现的高值也与此有关。

东海 BP/PP 比值(变化范围为  $0.04-0.43$ ,两季平均为  $0.33$ )与胶州湾(变化范围  $0.02-0.58$ ,四季平均为  $0.27$ )相比较。与近几年来国外的研究数据(表 2)比较,属中等水平,但与北海(Baretta- Bekker *et al.*, 1995)相比较。

表 2 近几年国外海洋中有关初级生产力与异养细菌生产力 [ $\text{mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ] 的比较<sup>1)</sup>

Tab. 2 Summary of primary and heterotrophic bacterial production [ $\text{mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ] in oceans

地区	初级生产力(PP)	异养细菌生产力(BP)	BP/PP	文献
British Columbia,				
Antarctica, California		$30.5(0-71)^2)$		Fuhrman 等(1980)
North Pacific Gyre	456	78	0.17	Cho 等(1988)

1) 初级生产力的数据由中国科学院海洋研究所吴玉霖研究员提供

2) 肖 天,王 荣,2000. 异养细菌生产力在渤海生态系统中的作用. 海洋科学(待刊)

续表

地区	初级生产力(PP)	异养细菌生产力(BP)	BP □ PP	文献
Gulf Stream rings	499(466—691)	126(54—214)	0.27(0.09—0.46)	Ducklow 等(1992)
Indian	1029(499—2668)	298(117—574)	0.40(0.08—1.04)	Ducklow (1993)
West North Atlantic	758(55—1160)	217(3—709)	0.23(0.08—0.61)	Li 等(1993)
East North Atlantic	1085(649—1384)	341(221—412)	0.34(0.19—0.51)	Ducklow 等(1993)
Subarctic Pacific	631(141—1338)	56(23—133)	0.11(0.04—0.42)	Kirchman 等(1993)
The equatorial Pacific	59.7(48.9—69.6)	11.2(10.4—12)	0.18(0.17—0.21)	Kirchman 等(1995)
Southeastern Mediterranean Sea		25.8(8.2—43.4)		Roberts 等(1996)
Central Arctic	296(19—1458)	30.5(16—65)	0.69(0.04—2.43)	Rich(1997)
The Strait of Magellan		90.2(32.6—228.2) <sup>3)</sup>		Talbot 等(1997)
Northeast Atlantic	1100(408—1998)	138(85—268)	0.20(0.08—0.31)	Fasham 等(1999)

注: 1) 括号内数据为各栏的变化范围; 2) 单位为  $\mu\text{gC}(\text{L}\cdot\text{d})$ ; 3) 单位为  $[\text{ngC}/(\text{L}\cdot\text{h})]$

#### 4 今后研究应注意的问题

4.1 在东海通过两个连续站观测, 发现异养细菌生产力变化可能有节律, 冬季生产力在中午高, 夏季生产力在凌晨高。假如异养细菌生产力有节律, 那么, 在单位转换中(如小时变天数时)就应该特别注意, 不能简单地乘以 24, 而应先计算一个转化系数。

4.2 BP □ PP 的比值范围, 一般认为在 0.1—0.8, 而通常估计细菌的生长效率约为 50%, 相当于初级生产力产生的溶解有机碳(PDOC)的 20%—100% 以上的被异养细菌利用(Kirchman *et al.*, 1995)。但最近的研究认为, 细菌的生长效率(bacterial growth efficiency, BGE)是细菌生产力(bacterial production, BP)和细菌呼吸(bacterial respiration, BR)的结果, 即  $BGE = BP / (BR + BP)$ , 并认为细菌呼吸消耗相当大。因而得到的细菌生长效率为 10%—25%。也就是说, 同样的细菌生产力可能要消耗更多溶解有机物(DOM)(Del Giorgio *et al.*, 1997), 其结果是来自初级生产力的溶解有机物不能满足细菌生产的需要, 而大量外源 DOM 的进入是维持细菌生产力高的重要原因。东海异养细菌生产力的分布也能说明这一点。细菌的呼吸应与细菌生产力结合是下一步的研究工作。

#### 参 考 文 献

- 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
- 焦念志, 王 荣, 李超伦, 1998. 东海春季初级生产力与新生产力的研究. 海洋与湖沼, 29(2): 135—140
- Baretta-Bekker J G, Baretta J W, Rasmussen E K, 1995. The microbial food web in the european regional seas ecosystem model. Netherlands Journal of Sea Research, 33(3/4): 363—379
- Cho B C, Azam F, 1988. Major role of bacteria in biogeochemical fluxes in the ocean's interior. Nature, 332(6163): 441—443
- Cho B C, Azam F, 1990. Biogeochemical significance of bacterial biomass in the ocean's euphotic zone. Mar Ecol Prog Ser, 63: 253—259
- Del Giorgio P A, Cole J J, Cimbleris A, 1997. Respiration rates in bacterial exceed phytoplankton production in unpredictable aquatic systems. Nature, 385: 148—151

Ducklow H W, 1993. Bacterioplankton distribution and production in the northwestern Indian Ocean and Gulf of O-

man, September, 1986. *Deep- Sea Res*, 40: 753—771

Ducklow H W, Carlson C A, 1992. Oceanic bacterial production. *Advance in Microbial Ecology*, 12: 113—181

Ducklow H W, Kirchman, Quinby H L *et al.*, 1993. Bacterioplankton carbon cycling during the spring bloom in the western North Atlantic Ocean. *Deep- Sea Res II*, 40: 245—263

Fasham M J R, Boyd P W, Savidge G, 1999. Modeling the relative contributions of autotrophs and heterotrophs to carbon flow at a Lagrangian JGOFS station in the Northeast Atlantic: The importance of DOC. *Limnol Oceanogr*, 44(1): 80—94

Fuhrman J A, Azam F, 1980. Bacterioplankton secondary production estimates for coastal waters of British Columbia, Antarctica, and California. *Appl Environ Microbiol*, 39(6): 1085—1095

Hagstrom A, Azam F, Anderson A *et al.*, 1988. Microbial loop in an oligotrophic pelagic marine ecosystem. *Mar Ecol Prog Ser*, 49: 171—178

Kirchman D L, Keil M S, Welschmeyer N A, 1993. Biomass and production of heterotrophic bacterioplankton in the oceanic subarctic Pacific. *Deep- Sea Res*, 40(5): 967—988

Kirchman D L, James H R, Barber R T, 1995. Biomass and biomass production of heterotrophic bacteria along 140°W in the equatorial Pacific: Effect of temperature on the microbial loop. *Deep- Sea Res*, 42(2/3): 603—619

Lee S M, Fuhrman J A, 1987. Relationship between biovolume and biomass of naturally derived marine bacterioplankton. *Appl Environ Microbiol*, 53: 1298—1303

Li W K W, Dickie P M, Harrison W G *et al.*, 1993. Biomass and production of bacteria and phytoplankton during the spring bloom in the western North Atlantic Ocean. *Deep- Sea Res II*, 40: 307—327

Parsons T R, Maita Y, Lalli C M, 1984. *A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis*. U. K.: Pergamon Press, 115—134

Rich J H, 1997. High bacterial production, uptake and concentrations of dissolved organic matter in the Central Arctic Ocean. *Deep- Sea Res*, 44(8): 1645—1663

Roberts R D, Tamar Z, Marley J W *et al.*, 1996. Bacterial abundance, biomass, and production in relation to phytoplankton biomass in the Levantine Basin of the southeastern Mediterranean Sea. *Mar Ecol Prog Ser*, 137: 273—281

Sugimura Y, Suzuki Y, 1988. A high temperature catalytic oxidation method for the determination of non-volatile dissolved organic carbon in seawater by direct injection of a liquid sample. *Mar Chem*, 24: 105—131

Talbot V, Giuliano L, Bruni V *et al.*, 1997. Bacterial abundance, production and ectoproteolytic activity in the Strait of Magellan. *Mar Ecol Prog Ser*, 154: 293—302

## DISTRIBUTION OF HETEROTROPHIC BACTERIAL PRODUCTION IN THE EAST CHINA SEA

XIAO Tian, WANG Rong

(*Institute of Oceanology, The Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071*)

**Abstract** Heterotrophic bacterial production (BP) in the East China Sea ( $27^{\circ}$ – $32^{\circ}$ N,  $122^{\circ}$ – $130^{\circ}$ E) was measured by using tritiated thymidine incorporation (TTI) method in winter, 1997 and summer, 1998. Results showed BP was higher in summer [1998,  $3.50$ – $15.70 \mu\text{gC}/(\text{L}\cdot\text{h})$ ] than that in winter [1997,  $0.46$ – $2.62 \mu\text{gC}/(\text{L}\cdot\text{h})$ ]. BP horizontal distribution was characterized by a progressive seaward decrease along 32<sup>o</sup> section and from south to north along 2 section in the winter of 1997, but BP showed a progressive seaward increase along PN section in the winter of 1997 and in the summer of 1998. Vertical profile of BP showed that it was higher on the surface than that in the bottom on PN section in the winter of 1997 and summer of 1998, but it was opposite for section 2 and for 32<sup>o</sup> section in the summer of 1998. The high values of BP occurred around the Changjiang River estuary and station 410. The results of anchor tow stations showed that vertical variation of BP were bottom > middle > surface in winter and middle > bottom > surface in summer.

The average ratio of Heterotrophic Bacterial Production/Primary Production (BP/PP) was 0.17 (0.04–0.30) in winter and 0.32 (0.21–0.43) in summer. The ratios were high around the Changjiang River estuary in winter and around station 111 in summer. Vertical distribution of BP/PP showed the ratio was higher in bottom and middle than that on surface at anchor 111 st. and 409' st. It was similar to BP at anchor 111 st and 409' st.

**Key words** Heterotrophic bacteria Productivity The East China Sea

**Subject classification number** Q938.1