

长江口及其附近海域细菌和三磷酸腺苷的分布特征*

史君贤 陈忠元 宁修仁 C.Courties[†] M.N.Hermin^{††}

(国家海洋局第二海洋研究所, 杭州 310012)

([†]法国科研中心罗斯考夫海洋生物站, Roscoff 29211)

(^{††}法国科研中心马赛海洋微生物实验室, Marseille 13266)

提要 于 1986 年 1 月和 7 月在长江口及其附近海域进行了细菌的落射荧光直接计数和三磷酸腺苷(ATP)浓度的测定, 同时取分样进行了微生物呼吸作用耗氧速率和叶绿素浓度的测定。结果表明, 细菌数量和 ATP 浓度夏季较冬季高, 总的分布趋势是, 高值区出现在内河段和长江口, 向外海逐渐降低; 细菌数同悬浮体浓度、硝酸盐浓度和耗氧速率呈正相关, 与盐度呈负相关。冬季, 在整个海域细菌是 ATP 的主要贡献者和溶解氧的主要消耗者; 夏季, 沿冲淡水方向 ATP 出现两个峰值, 第一峰值出现在长江口的最大浊度带, 由细菌所贡献; 第二个出现在盐度 25—30 的区域, 由浮游植物所贡献。呼吸作用耗氧速率也呈现了与 ATP 相似的分布特征。

关键词 细菌 ATP(三磷酸腺苷) 微生物 呼吸作用速率 河口生态

关于细菌丰度和活性在河口生态系的研究较少, 特别是对世界大河的河口, 将冲淡水区和邻接海洋作为一个整体来研究就更为少。已有的报道主要是对中、小型河口所作的工作^[2,3,10,11], 但这些研究均未涉及细菌的丰度同现场代谢和总的活微生物生物量的关系。

近年来, 关于细菌和 ATP 在长江口的分布及其与环境之间关系的研究^[4], 表明了长江口微生物生态概况; 然而这些工作大部分是对沉积物的研究, 而且细菌计数方法单一。本研究是长江口及毗邻海域动力学综合研究的一部分, 系长江口和稀释带整个盐度范围内微生物生物量、代谢活性及其与物理化学因子的相关性的系统研究。

一、材料和方法

1. 采样

调查区范围在 121—124°E, 30°30′—32°00′N, 水深自 10m 深的长江内河至长江口外 40—50m 的近岸水域。

于 1986 年 1 月 8—19 日, 7 月 1—16 日作者进行了冬夏两个航次的调查。在内河段使用了“向阳红 01”和“海监”调查船, 在长江口外海均用“向阳红 09”号船。在冬季, 沿长江口水流从低盐度(0, R₁ 站)到高盐度(34, 12 站)布设了 21 个大面站; 在夏季, 布设了 23

* 本课题由国家海洋局和法国科研中心提供经费, 课题号 84105。

水文组提供温、盐数据, 李炎提供悬浮体数据, 唐仁友提供营养盐数据, 谨此一并致谢。

接受日期: 1989 年 11 月 29 日。

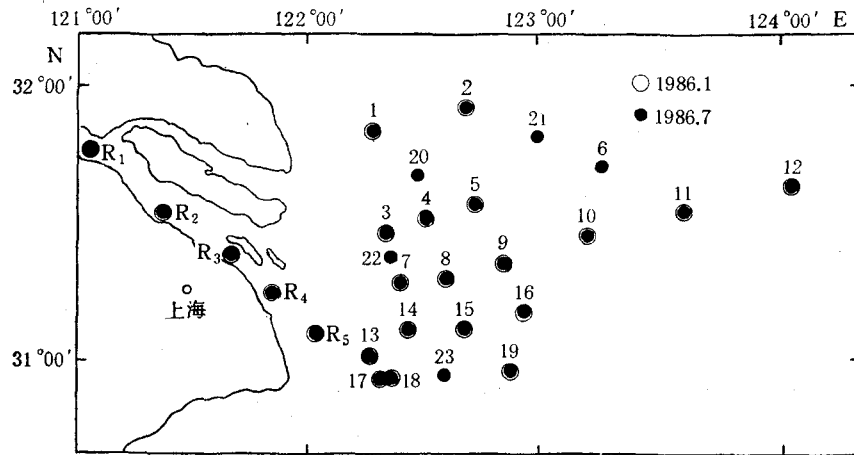


图1 取样站位

Fig.1 Sampling stations in the Changjiang Estuary

个大面站(图1)。

在冬季,于内河段按表层、中层和底层,于长江口外海水域按水深为0,5,10,20,30,40m和底层采集细菌和叶绿素;ATP的样品,只采长江口外海水域的站位,7—12站采样层次与细菌的采样层次相同,1—6和8—23站仅采5m层,在所有测区站位中,耗氧速率仅测5m层。在夏季,细菌、ATP、叶绿素、和耗氧速率的采样层次相同,即内河段均采表、中和底层,长江口外均采表层、温跃层下方和底层。

2. 方法

(1) 环境参数 海水样品用 Rosett 采集,采水与 CTD 观测系同步进行。同时测定温度、盐度和悬浮物质浓度。

营养盐用分光光度法^[2]在船上测定;叶绿素 *a* 用荧光法^[7]测定,以极谱氧传感仪^[9]测定水样中小于 200 μm 的微生物呼吸耗氧速率。

(2) 细菌数量 基本上按照文献[4]所改进的落射荧光直接计数。

(3) ATP 浓度 ATP 测定程序基本按文献[6]的方法。荧光素酶和制作标准曲线所用的 ATP 钠盐,均为美国 Sigma 公司生产,用 LKB 生物发光计进行测定。

二、结 果

1. 环境概况

1986年1月,长江冲淡水的范围在 31°30'N, 123°00'E, 方向为东南,势力较弱。台湾暖流的前锋到达 31°30'N(图2a),冬季由于水体垂直混合强烈,致使表底分布趋势相差甚微;最大浊度带在长江口至 122°25'E 附近,即盐度大约在 5—27 范围,总悬浮体(TSM)浓度大于 200mg/L(图2b,c)。

1986年7月,长江冲淡水范围向东达 123°30'E(以 30 的等盐度线为标志),较往年为弱。台湾暖流势力较强(图3a),向冲淡水的底部楔入,加之夏季气温高,海面太阳辐射强烈,使表层水温升高,海水出现明显的层化现象,跃层加强;最大浊度带出现的区域与冬季相似;但盐度范围大约在 10—15;表层 TSM > 80mg/L 以上(图3b,c)。

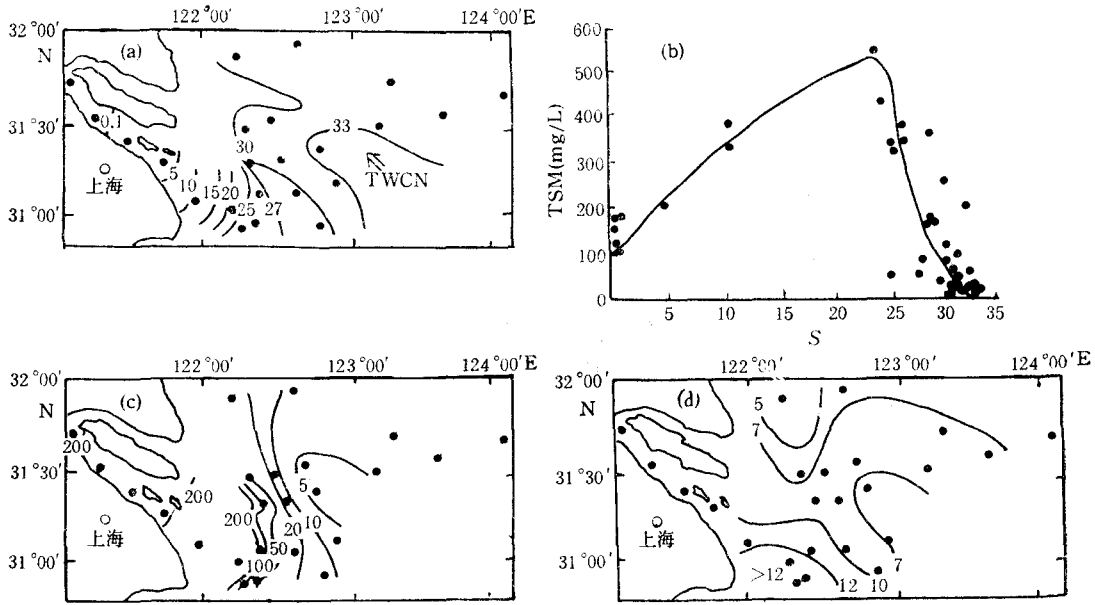


图2 1986年1月表层水文和化学要素的分布

Fig.2 Hydrological and chemical factors in surface in the Changjiang River Estuary (1986.1)
a.盐度; b.TSM 随盐度的变化; c.总 TSM(mg/L) d.NO₃-N(μmol/L)。图3同。

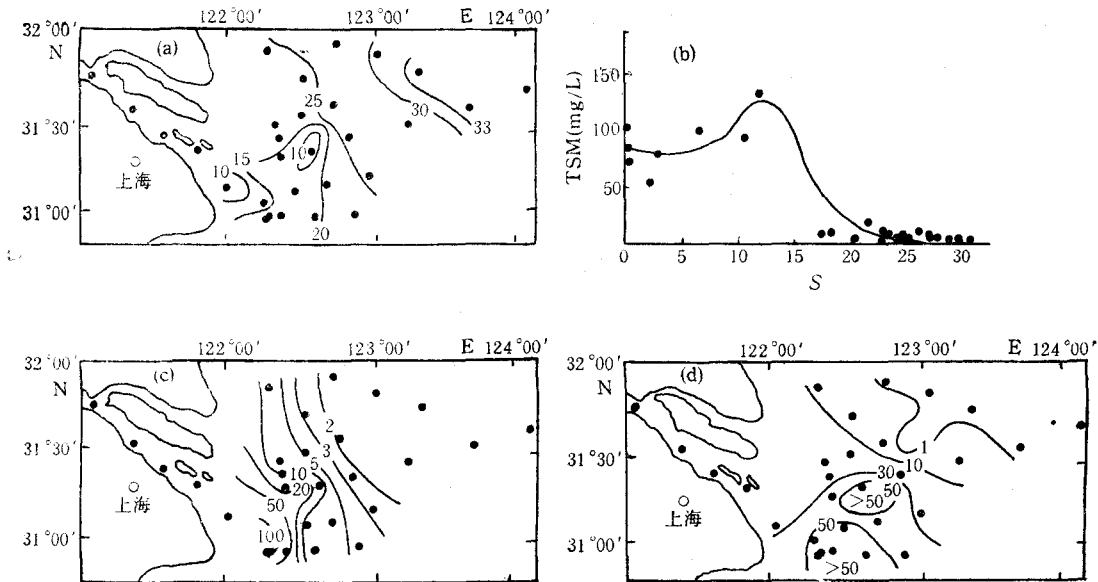


图3 1986年7月表层水文与化学要素的分布(1986年7月)

Fig.3 Hydrological and chemical factors in surface in the Changjiang River Estuary (1986.7)

表层硝酸盐浓度分布趋势, 冬夏大体一致, 均以调查海区的西南部最高, 向东北逐渐降低; 内河段出现次高值(图 2d, 图 3d)。

冬季叶绿素 *a* 的浓度非常低, 平均值低于 0.30 μg/L, 在调查海区的分布是均匀的。夏

季叶绿素 a 的值比冬季高得多(平均 $2.03\mu\text{g/L}$), 呈块状分布; 最大值 $> 6\mu\text{g/L}$ 。在冲淡水稀释区, TSM 低于 5mg/L , 真光层的深度大于 10m , 刚好是浮游植物群落大的区域。

冬季氧消耗率的高值在长江口 [$3.4\mu\text{l}/(\text{L}\cdot\text{h})$], 向东北方向其值迅速降低 [$0.50\mu\text{l}/(\text{L}\cdot\text{h})$]。夏季的氧消耗率高于冬季, 最大值 [$> 10\mu\text{l}/(\text{L}\cdot\text{h})$] 在长江口和冲淡水的南部 (16 站); 而在调查区的中部相对的低 [$4.0\mu\text{l}/(\text{L}\cdot\text{h})$]; 自岸边向北和东逐渐增加。

2. 细菌

冬季, 细菌总数 (TBN) 在 $3.60(12\text{站})$ — $5.98\text{log Cell/ml}(R_4\text{站})$; 高于 5 的值出现在内河、长江口和本调查海区的西南部; 近岸低于 4log Cell/ml (图 4a)。

夏季, TBN 比冬季高一个数量级, 在 $4.33(12\text{站})$ — $7.31\text{log Cell/ml}(13\text{站})$; 高值区 ($> 6\text{log Cell/ml}$) 同样出现在内河和长江口区, 其数量由长江口向东和东北方向渐减 (图

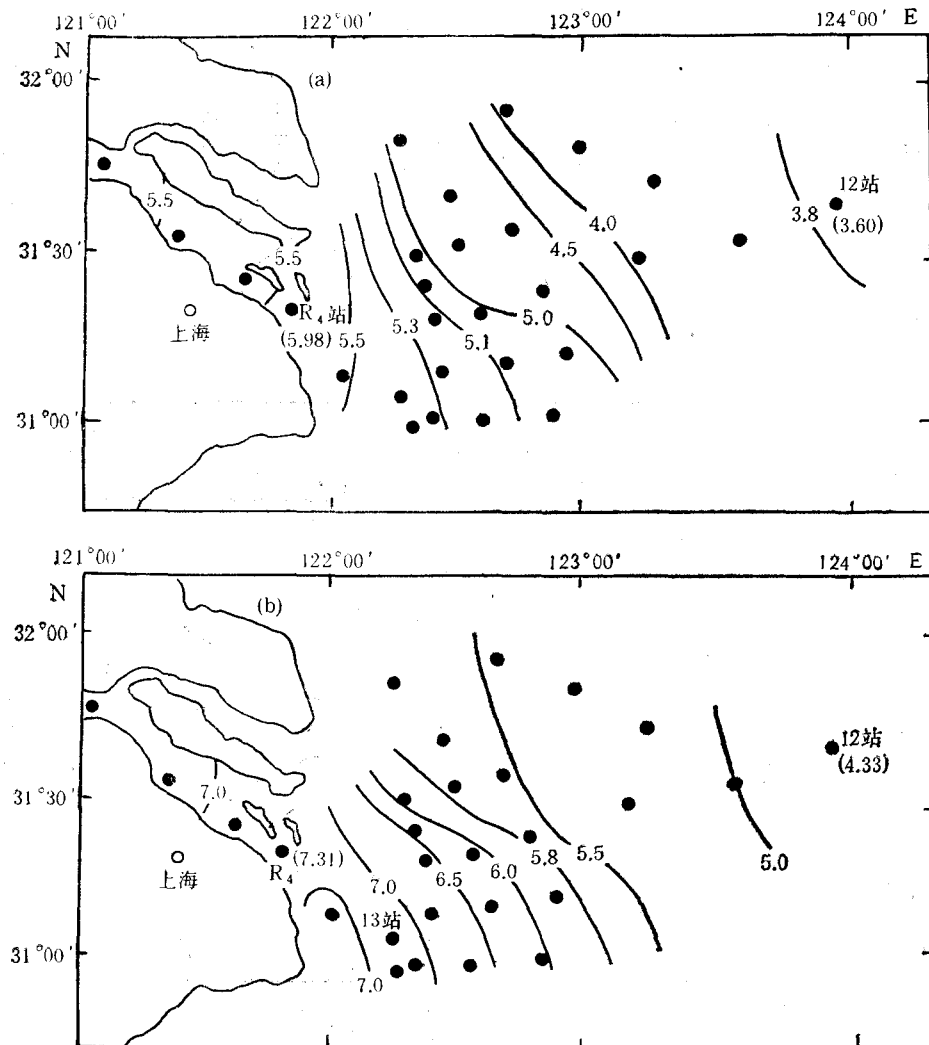


图 4 总细菌数的平面分布 (log Cell/ml)

Fig.4 Horizontal distributions of TBN in the Changjiang Estuary (log Cell/ml)
a.1986.1; b.1986.7.

4b)。

3. ATP

与 TBN 一样,海水中 ATP 浓度的季节变化是非常明显的。冬季,ATP 浓度范围在 20—80ng/L, 高值区位于长江口;向东及东北逐渐降低(图 5a)。夏季,ATP 浓度高于冬季,在表层大部分站位在 100ng/L 以上;最大值为 702.20ng/L(17 站),(图 5b);在冲淡水稀释区和外海,ATP 浓度在 200ng/L 以上。

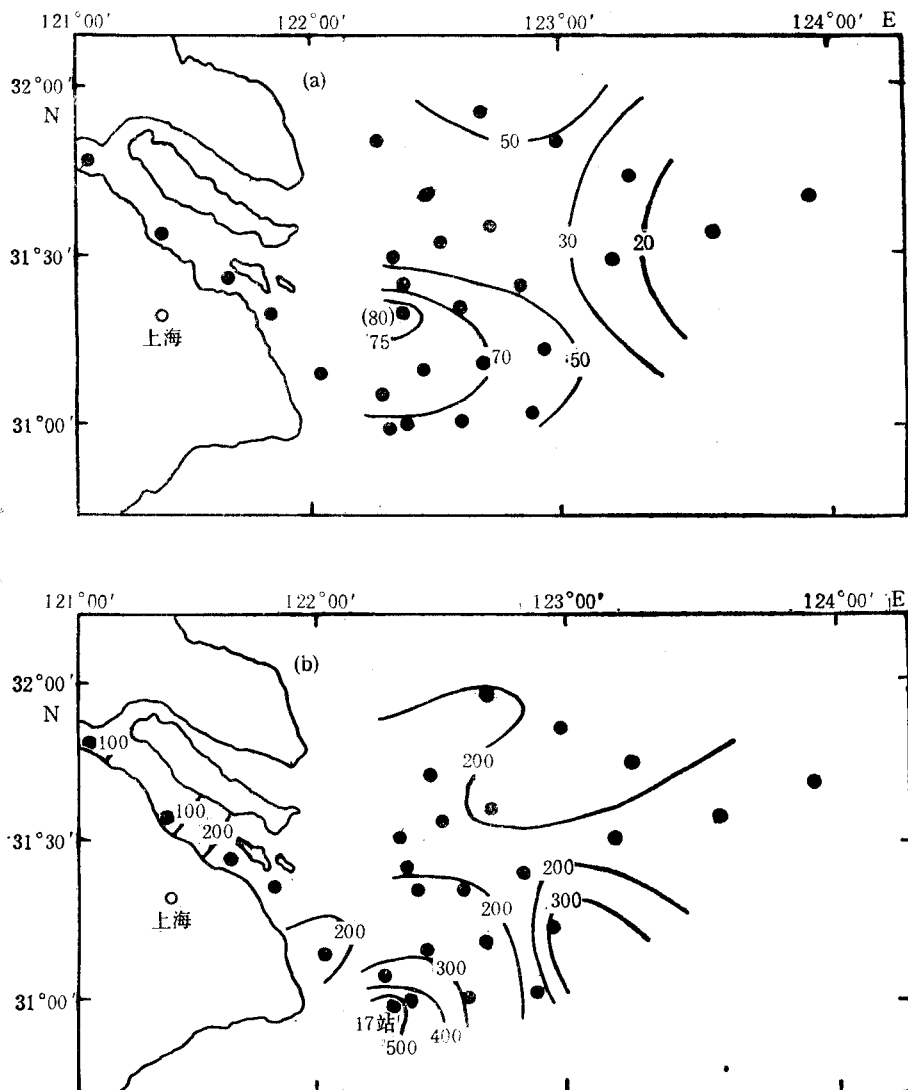


图5 ATP浓度的平面分布(ng/L)

Fig.5 Horizontal distributions of ATP concentration in the Changjiang Estuary (ng/L)
a.1986.1,5m层; b.1986.7,表层。

三、讨论与结语

1. 细菌和环境因子的关系

河口是物理和化学特性不断发生变化的动力系统,它影响了细菌的活性及其数量分布。反之,细菌对有机质有降解和矿化的作用,因而对河口环境会产生影响。在长江口及冲淡水稀释带很明显地看到细菌数量同盐度、总悬浮体及硝酸盐之间存在密切关系。

无论冬季还是夏季,从内河淡水到盐度 34 的外海水域,盐度的水平分布梯度增加非常明显(图 2a,图 3a);而 TBN 的水平分布却呈递减的趋势(图 4a,b);TBN 和盐度之间呈负相关。其相关系数,在冬季为 $-0.87(n=36)$;在夏季为 $-0.77(n=35)$ (图略)。这与 Bell 等在 British Columbia 的结果^[2]相似。

水体中的细菌通常是集聚在悬浮体的表面,特别是细的颗粒上面,因为细颗粒具有大的比表面^[3],同时细颗粒更容易贮存有机质供细菌利用^[4],本研究证实了这一点。本调查表明, TBN 和 TSM 之间存在极好的正相关[冬季 $r=0.73(n=31)$;夏季, $r=0.75(n=59)$],(图略),这与文献[8]在 Oosterschelde 所获得的结果 ($r=0.75-0.93$)是非常接近的。

从盐度、TSM 和 TBN 的水平分布(图 2a,c;图 4a)中可以看出,在冬季 TBN $\log \text{Cell/ml}$ 5.3 的等值线与盐度 27 的等值线相吻合,恰好位于最大浊度带的外缘;在夏季表层 TBN $\log \text{Cell/ml}$ 6.5 的等值线大体上与盐度 20 及 TBM 20mg/L 的相吻合。在 13 站表层, TBN 出现最大值,为 $7.46 \log \text{Cell/ml}$,位于长江口最大浊度带(图 3c);在 R₃ 和 R₄ 两站表层, TBN \log 数超过 7。这同该三站位于吴淞口附近,与黄浦江污染物的排放有关[°]

此外,在该区发现 TBN 与硝酸盐的浓度密切相关,冬季 r 为 $0.67(n=20)$ 夏季 r 为 $0.84(n=62)$ (图略)。硝酸盐浓度沿着盐度梯度的分布趋势与 TBN 一致,这同细菌的代谢作用、对含氮有机质分解和矿化作用有关。与文献[1]的研究结果相一致。

2. 活的微生物生物量和代谢活性

ATP 和耗氧速率的测定可为活的微生物生物量同代谢活性的相关提供更多的资料。

在冬季,ATP 和叶绿素 *a* 之间没有相关关系,这是由于低的浮游植物生物量和低的生产力所致;而 ATP 和 TBN 之间、TBN 和耗氧速率之间却密切相关。在内河和长江口,与 TBN($>5 \log \text{Cell/ml}$,图 4a)的高值相对应的 ATP,其浓度也高($>70 \text{ng/L}$,图 5a);同样其耗氧速率也高 $[(1-4) \mu\text{l}/(\text{L} \cdot \text{h})]$ 它们的水平分布趋势一致,即自长江口向东逐渐递减。它们之间的一致性证明了在冬季 ATP 的贡献者和溶解氧的消耗者均是细菌。

夏季,在长江口,ATP、细菌和氧消耗率均出现高值,它们之间仍密切相关(图 5b、图 4b)。在冲淡水稀释区,由于悬浮物质的减少,真光带增加,导致了浮游植物的大量繁殖;为此浮游植物是 ATP 的主要贡献者和溶解氧的主要消耗者。

夏季 ATP 随盐度的分布明显呈双峰型式,第一个峰出现在 0—16 的盐度范围,位于长江口附近;第二个高峰在 25—29 的盐度范围,位于中部的冲淡水稀释区;显然对第一个 ATP 高峰的贡献主要是细菌,对第二个高峰的贡献者主要是浮游植物。这与细菌数和叶绿素 *a* 出现高峰的盐度范围相一致。

3. 细菌在河口的峰值

表 1 列出了长江口诸站细菌数量、ATP 浓度及有关环境参数。可以看出, TSM, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, 脱镁色素的浓度, 耗氧速率等均为整个调查海区的最高值; 其中 13 和 17 站的上述要素又是该区最高的。这不仅是由河流携带的有机质所致, 还可能由于 13 和 17 站位于最大浊度带中心位置, 咸淡水在此发生剧烈混合, 使上下温盐趋于均匀并产生强烈的搅动, 底部沉积物产生再悬浮过程中同时把大量营养盐也带至水中所致。例如, 该口区 $\text{PO}_4\text{-P}$ 与 TSM 密切相关, 相关系数 r 为 0.93 ($n = 16$), 脱镁色素 $> 1 \mu\text{g/L}$, 随着悬浮物浓度的增加, 细菌数和 ATP 浓度也相应增加。

表 1 1986 年 7 月长江口各站细菌丰度、ATP 浓度及其有关参数值

Tab.1 The values of bacteria, ATP and the related environmental parameters in the Changjiang River estuary (1986.7)

| 站号 | 深度 (m) | 温度 (°C) | 盐度 | TSM (mg/L) | $\text{NO}_3\text{-N}$ ($\mu\text{mol/L}$) | $\text{PO}_4\text{-P}$ ($\mu\text{mol/L}$) | 细菌 (log Cell/ml) | ATP (ng/L) | 脱镁色素 ($\mu\text{g/L}$) | 耗氧速率 [$\mu\text{l}/(\text{L} \cdot \text{h})$] |
|----------------|--------|---------|-------|------------|--|--|------------------|------------|--------------------------|--|
| 7 | 0 | 24.60 | 13.27 | 1.17 | 45.12 | 0.46 | 6.87 | 231.06 | 0.228 | 10.18 |
| | 8 | 21.39 | 29.67 | 83.40 | 10.48 | 0.27 | 6.43 | 245.20 | 1.249 | 5.90 |
| 14 | 0 | 25.66 | 14.66 | 9.70 | 50.32 | 0.51 | 6.84 | 248.80 | 0.176 | 7.97 |
| | 16 | 22.86 | 23.11 | 111.20 | 33.44 | 0.40 | 6.42 | 126.80 | 0.226 | 5.24 |
| | 11 | 21.45 | 27.34 | 388.26 | 17.12 | 0.31 | 6.24 | 212.00 | 4.592 | 3.84 |
| 8 | 0 | — | 10.61 | 95.43 | 63.60 | 0.60 | — | — | — | — |
| | 4 | — | — | 199.84 | 50.42 | 0.54 | — | — | — | — |
| | 8 | — | 17.82 | 239.95 | 48.08 | 0.52 | — | — | — | — |
| R ₅ | 0 | 26.70 | 2.50 | 49.62 | 22.17 | 0.65 | 6.40 | 159.60 | 0.226 | 11.30 |
| | 4 | 26.48 | 2.80 | 34.44 | 36.10 | 0.64 | 7.13 | 137.60 | 0.257 | — |
| | 8 | 25.97 | 10.00 | 149.13 | 39.40 | 0.65 | 6.50 | 201.60 | 0.320 | 3.55 |
| 13 | 0 | 24.56 | 14.16 | 118.00 | 62.00 | 1.12 | 7.46 | 393.20 | 1.230 | 7.37 |
| | 8 | 24.05 | 15.89 | 321.09 | 57.20 | 0.74 | 6.40 | 279.20 | 4.762 | 13.69 |
| 17 | 0 | 24.04 | 12.42 | 128.04 | 63.76 | 1.92 | 7.14 | 505.20 | 1.260 | 8.77 |
| | 3 | 24.09 | 15.96 | 727.33 | 53.68 | 3.64 | 6.68 | 702.80 | 0.579 | 5.16 |
| | 8 | 24.04 | 16.41 | 1347.15 | 53.68 | 8.04 | 7.33 | 384.80 | 3.253 | 5.09 |

4. 结语

长江口及其附近海域水中细菌的分布趋势以内河段和长江口为高值, 由此向外海逐渐降低, 显示了冲淡水稀释的趋势; 它与盐度呈负相关; 而与悬浮体和硝酸盐之间存在密切的正相关关系。

在冬季, 细菌是 ATP 的主要贡献者和溶解氧的消耗者。在夏季, 细菌数量比冬季高 1—2 个数量级, ATP 随盐度分布呈双峰型式, 第一个高峰在 10—16 的盐度范围, 反映了细菌的高峰; 第二个高峰在 25—30 的盐度范围, 反映了浮游植物的高峰。

参 考 文 献

- [1] 郑国兴等, 1982, 长江口及邻近陆架海区细菌与沉积物相互关系的初步探讨, 海洋学报, 4(6): 743—753。
 [2] Bell, C.R. and Albright, L.J., 1981, Attached and free-floating bacteria in the Fraser River

- Estuary, British Columbia, Canada, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **6**: 317—327.
- [3] Bent, E.J. and Goulder, R., 1981, Planktonic bacteria in the Humber Estuary; Seasonal variation in population density and heterotrophic activity, *Mar. Biol.*, **62**: 35—45.
- [4] Deley, R. J. and Hobbie, J. E., 1975, Direct counts of aquatic bacteria by a modified epifluorescent technique, *Limnol. Oceanogr.*, **20**: 875—882.
- [5] Goulder, R., 1977, Attached and free bacteria in an estuary with abundant suspended solids, *J. App. Bacteriol.*, **43**: 399—405.
- [6] Holm-Hansen, O. and Booth, C. R., 1966, The measurements of adenosine triphosphate in the Ocean and its ecological significance, *Limnol. Oceanogr.*, **11**: 510—519.
- [7] Holm-Hansen, O., et al., 1965, Fluorometric determination of chlorophyll, *J. Cons. Perm. It Explor. Mer.*, **30**: 3—15.
- [8] Laanbroek, H. J. and Verplanke, J. C., 1986, Tidal variations in bacterial biomass, productivity and oxygen uptaken rates in a shallow channel in the Oosterchelde basin, the Netherlands, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **29**: 1—5.
- [9] Martens, P., 1986, Diurnal variation in the respiration rate of natural zooplankton communities in the North Sea, *Oebalia.*, **8**: 203—219.
- [10] Prieur, D. et al., 1987, Evolution of bacteria communities in the Gironde Estuary (France) according to a salinity gradient, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **24**: 95—108.
- [11] Richard, T. W. and Richard, B. C., 1983, Planktonic bacteria in estuaries and coastal waters of northern Massachusetts: spatial and temporal distribution, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **11**: 205—216.
- [12] Stickland, J. D. H. and Parsons, T. R., 1972, A practical handbook of seawater analysis, *Bull. Fish. Res. Bd. Can.*, **167**: 1—310.
- [13] Zobell, C. E., 1946, Marine Microbiology, Chronica Botanica Co., Waltham, Mass, pp. 1—240.

THE DISTRIBUTION PATTERNS OF BACTERIA AND ATP IN THE CHANGJIANG RIVER ESTUARY AND ITS ADJACENT EAST CHINA SEA

Shi Junxian, Chen Zhongyuan, Ning Xiuren, C. Courties[†] and M. N. Hermin^{††}

(Second Institute of Oceanography, SOA, Hangzhou 310012)

([†]CNRS, Microbiologie Marine, Marseille, France, 13266)

(^{††}CNRS, Station Biologique, Roscoff, France, 29211)

ABSTRACT

Two cruises were conducted in January and July 1986 in the Changjiang Estuary and its adjacent East China Sea (30°30'—32°00'N, 121°00'—124°00'E), where the water depth was from 10 m in the river mouth to more than 50 m in the southeastern part of the studied area.

Direct epifluorescence microscopic counts of planktonic bacteria were made and ATP concentrations determined. Subsamples were taken for measuring oxygen consumption rates and chlorophyll a concentrations.

Bacteria and ATP concentrations were higher in summer than in winter. The highest abundance of bacteria occurred in the river and river mouth, and decreased gradually offshore. The bacteria number was correlated positively with suspended matter, nitrates and oxygen consumption rates, and negatively with salinity.

In winter bacteria were the main contributors of ATP and the main consumers of dissolved oxygen in the whole studied area. In summer two maxima of ATP were found along the salinity gradient, the first one coincided with turbidity peak near the river mouth and was attributed to bacteria. The second occurred in waters with salinity between 25 and 30 and was attributed to phytoplankton. Similar feature was observed for oxygen consumption.

Key words Bacteria, ATP, Microbiology, Oxygen consumption rates, Estuary ecology.