

# 胶州湾冬季异养细菌与营养盐分布特征及关系研究

白洁<sup>1</sup>, 张昊飞<sup>1,4</sup>, 李焯然<sup>2</sup>, 张经<sup>3</sup>, 刘东艳<sup>2</sup>, 高冬梅<sup>1</sup>, 易齐涛<sup>1</sup>

(1. 中国海洋大学 海洋生态环境实验室, 山东 青岛 266003; 2. 中国海洋大学 海洋生命学院, 山东 青岛 266003; 3. 中国海洋大学 化学化工学院, 山东 青岛 266003; 4. 国家海洋局东海环境监测中心, 上海 200137)

**摘要:** 2003年12月、2004年1月和2月下旬进行了3个航次的现场调查, 对胶州湾冬季异养浮游细菌和无机营养盐分布特征、相互关系及影响因素进行了探讨。胶州湾冬季异养浮游细菌数量的月变化与水温的变化趋势基本一致, 分布特征为近岸高, 离岸逐渐减少, 最大值出现在湾东北部, 为  $7.55 \times 10^9$  个  $\text{dm}^3$ , 最小值位于湾中央, 为  $1.89 \times 10^9$  个  $\text{dm}^3$ 。水体  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  和  $\text{NH}_4^+$  等营养盐的分布同样具有近岸较高, 离岸逐渐减少的特点, 异养细菌数量分布与氨盐浓度呈高度显著性正相关, 相关系数为 0.73 ( $P < 0.01$ ), 与硝酸盐和磷酸盐浓度呈显著性正相关关系, 相关系数分别为 0.50 和 0.48 ( $P \leq 0.05$ )。水温是影响胶州湾细菌季节变化的主要因素之一, 冬季营养盐水平分布可能与异养浮游细菌矿化有机质产生营养盐有关。

**关键词:** 异养浮游细菌; 硝酸盐; 铵盐; 磷酸盐; 胶州湾

中图分类号: Q148 Q179.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2004)12-0031-04

胶州湾是位于黄海东部的半封闭型海湾, 外与黄海相连, 内有大沽河、李村河、娄山河、海泊河等河流入海, 是山东省重要的海港和海水养殖基地。近年来, 由于胶州湾沿岸经济的快速发展, 大量工业废水、城市污水和养殖废水的排放, 使胶州湾水域污染物有逐年增加的趋势。异养细菌既可将有机物矿化为可被浮游植物利用的营养盐, 又可吸收水体中的溶解有机物成为自身菌体被浮游动物摄食, 从而实现对有机质的降解与吸收利用, 因此, 海洋异养浮游细菌在海洋生态系统中发挥着极为重要的作用。过去人们在研究微生物与营养盐的生态作用及相互关系时, 最为关注的是细菌对有机质的降解作用和营养盐浓度对浮游植物生长的影响, 很少研究细菌对营养盐的吸收作用以及营养盐浓度变化对细菌产生的影响。近20年来, 海洋异养浮游细菌对无机营养盐的吸收作用在生源要素生物地球化学循环中的重要性已逐渐受到重视, 国外已在许多海湾、河口、上升流海区及高营养盐低叶绿素海区进行了无机营养盐与异养浮游细菌关系的大量研究, 表明无机营养盐可能对异养浮游细菌的生长产生重要影响<sup>[1]</sup>。在国内, 无机营养盐与海洋异养浮游细菌的关系研究还较少。作者通过现场调查的方法, 对胶州湾冬季异养浮游细菌和无机营养盐分布特征及相互关系进行了探讨, 以期对海湾生源要素生物地球化学循环研究及海湾富营养化机理与防治研究

提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 站位布设、采样时间及测定因子

在胶州湾共设17个站位, 站位布设见图1。分别于2003年12月、2004年1月和2月下旬进行了3个航次的现场调查。检测项目为海水异养浮游细菌数量,  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ,  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  和  $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$  等营养盐浓度, 同时测定水温、盐度和水体溶解氧浓度等环境因子。

### 1.2 样品采集和处理

用Niskon 采水器采集表层水样, 用于细菌计数的水样采集后立即注入已灭菌、并装有 无颗粒甲醛的螺口试管, 带回实验室检测。

用于营养盐测定的样品采集后用事先经酸浸泡

收稿日期: 2004-10-12; 修回日期: 2004-10-18

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(40036010); 河口海岸动力沉积和动力地貌综合国家重点实验室开放基金(200208)

作者简介: 白洁(1962-), 女, 陕西神木人, 副教授, 在职博士, 主要从事海洋微生物生态学研究, E-mail: baijie@mail.ouc.edu.cn

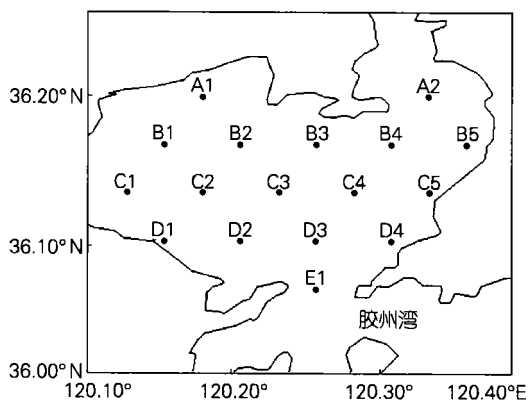


图 1 2003~ 2004 年冬季胶州湾海区采样站位图

Fig. 1 Sampling stations in Jiaozhou Bay

过的 Whatman GF/ F 玻璃纤维滤膜过滤, 滤液低温保存带回实验室, 如不能立即测定, 冷冻保存, 2 周内完成测定。

每个样品均采平行样。

### 1.3 其它环境因子的测定

水温、盐度和水体溶解氧浓度等环境因子采用 YSI600 型水质检测仪在现场监测。

### 1.4 样品分析

#### 1.4.1 异养浮游细菌数量的测定

采用荧光显微镜计数法进行<sup>[2]</sup>。样品用 DAPI 染色, 用事先经伊拉克黑染色的孔径为 0.2 μm 的核孔滤膜 (Millipore) 过滤, 用 Leica DMLA 型全自动落射荧光显微镜计数, 每个样品计数不少于 20 个视野。

表 2 胶州湾冬季水体异养浮游细菌和营养盐浓度

Tab. 2 Bacterioplankton and inorganic nutrients in winter

采样时间 (年-月)	细菌数量 ( $\times 10^9$ 个/ $\text{dm}^3$ )	$c(\text{PO}_4^{3-} - \text{P})$ ( $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ )	$c(\text{NO}_3^- - \text{N})$ ( $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ )	$c(\text{NH}_4^+ - \text{N})$ ( $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ )
2003- 12	0.93~ 6.44 (3.27)	1.79~ 5.77 (2.51)	2.14~ 12.98 (3.33)	5.84~ 48.38 (26.40)
2004- 01	1.97~ 7.15 (3.66)	1.25~ 8.07 (1.45)	1.25~ 8.43 (2.83)	1.40~ 32.35 (12.43)
2004- 02	2.00~ 9.19 (5.33)	0.18~ 5.61 (0.59)	0.37~ 7.09 (1.73)	1.81~ 28.84 (5.49)

注: c 表示营养盐浓度; 括号内数据为平均值。

菌平均数量以 2 月最高, 12 月和 1 月偏低, 与这 3 个月中水温的变化趋势基本一致; 而磷酸盐、硝酸盐和氨盐等营养盐浓度以 12 月最高, 1 月居中, 2 月最低。表明水温可能是胶州湾冬季水体异养浮游细菌月变化或季节变化的主要影响因素, 而冬季营养盐的时间

### 1.4.2 营养盐浓度的测定

营养盐浓度测定采用 BRAN- LUEBBE 营养盐自动分析系统进行, 测定方法参照《海洋调查规范》, 硝酸盐采用 Cu- Cd 还原法、氨盐采用靛酚蓝法、磷酸盐用磷钼蓝法<sup>[3]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 胶州湾冬季水环境因子监测结果

2003 年 12 月、2004 年 1 月和 2 月 3 个航次各站位的表层水温、溶解氧、盐度等水环境因子检测结果见表 1。

表 1 胶州湾冬季水环境因子监测结果

Tab. 1 Environmental parameters in Jiaozhou Bay in winter

时间 (年-月)	表层水温 ( $^{\circ}\text{C}$ )	溶解氧 ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ )	盐度
2003- 12	3.53	10.96	32.1
2004- 01	3.50	11.48	31.06
2004- 02	5.39	10.67	31.59

### 2.2 胶州湾冬季水体异养浮游细菌和营养盐浓度

#### 2.2.1 胶州湾冬季不同月份水体异养浮游细菌和营养盐浓度分布

胶州湾 2003~ 2004 年冬季不同月份水体异养浮游细菌和营养盐浓度见表 2。

由表 1 和表 2 可以看出, 在 2003~ 2004 年冬季的 12 月、1 月和 2 月 3 个月中, 胶州湾水体异养浮游细

尺度变化与浮游细菌的变化无明显相关性。

#### 2.2.2 胶州湾冬季水体异养浮游细菌和营养盐浓度水平分布

2003~ 2004 年冬季胶州湾水体异养浮游细菌和营养盐浓度水平分布特征见图 2。由图 2 可以看出,

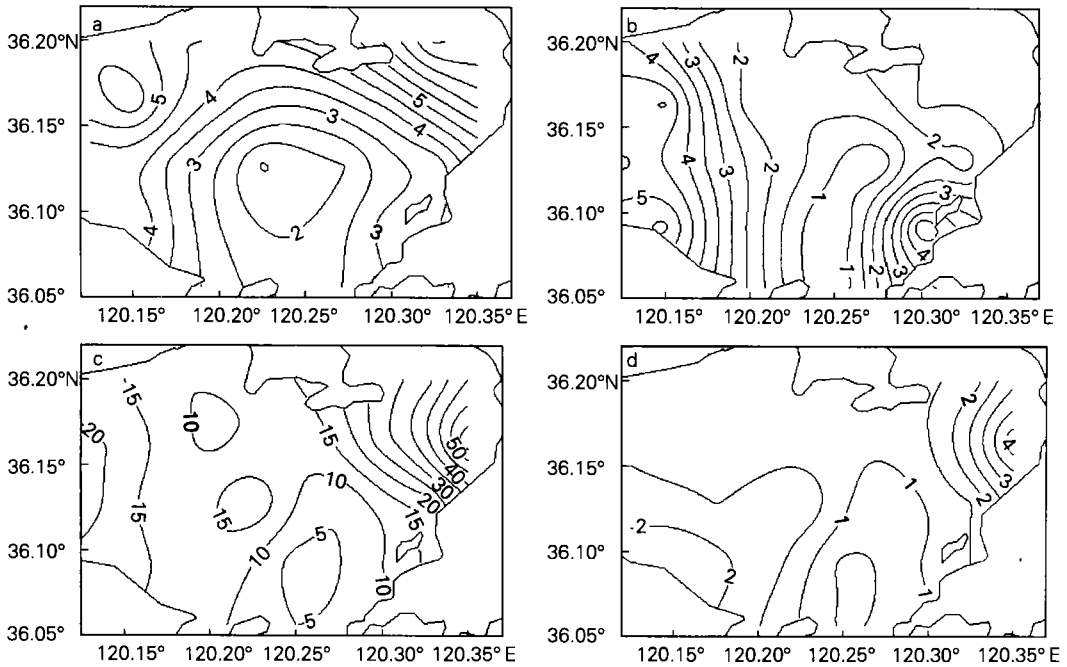


图 2 胶州湾冬季细菌数量和无机营养盐浓度分布

Fig. 2 Distribution of bacterioplankton and inorganic nutrients in Jiaozhou Bay in Winter

a. 细菌数量( $\times 10^9$  个/ $\text{dm}^3$ ); b.  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  浓度( $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ ); c.  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  浓度( $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ );  
d.  $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$  浓度( $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ )

2003~2004年冬季胶州湾水体异养浮游细菌分布特征为近岸高, 离岸逐渐减少, 最大值出现在位于东北部的A2站, 为 $7.55 \times 10^9$  个/ $\text{dm}^3$ , 最小值在位于湾中央的C3站, 为 $1.89 \times 10^9$  个/ $\text{dm}^3$ 。水体 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ,  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  和  $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$  等营养盐的分布同样具有近岸较高, 离岸逐渐减少的特点, 其中硝酸盐的分布在位于近岸的B1, C1, D1和D4站形成高值区, 分别为5.06, 4.42, 5.62和4.94  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ , 最低值出现在接近湾中央的D3站, 为1.53  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ ; 铵盐和磷酸盐的最高值在位于东北部的B5站, 分别为28.84  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ 和4.4  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ , 最低值在接近湾中央的D3站, 分别为0.70  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ 和0.37  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ 。

### 2.3 胶州湾冬季水体异养浮游细菌与营养盐分布的相互关系

胶州湾冬季异养细菌数量与氨盐浓度呈高度显著性正相关, 相关系数为0.73 ( $P < 0.01$ ), 与硝酸盐和磷酸盐浓度呈显著性正相关关系, 相关系数分别为0.50和0.48 ( $P \leq 0.05$ )。

## 3 讨论

### 3.1 胶州湾冬季异养浮游细菌分布的影响因素

影响海洋异养浮游细菌生物量的主要生态因子有原生动物的摄食及噬菌体的感染等生物因素和其它非生物性环境因素, 主要环境因素有水温、有机物的性质和浓度、无机营养盐和一些微量元素的浓度<sup>[4]</sup>。胶州湾是一个典型的半封闭型浅海湾, 四季环境条件变化较大, 对异养浮游细菌生物量影响因素也有所不同。通过调查可以看出, 在冬季的不同月份, 胶州湾水体的异养浮游细菌数量具有较大差异, 其变化趋势与水温的变化基本一致, 可见冬季的水温仍可对胶州湾以噬中温菌为主的异养浮游细菌的新陈代谢能力产生一定影响, 可能仍是胶州湾水域冬季异养浮游细菌月变化的主要影响因素之一, 而海水营养盐浓度对其冬季月变化无明显影响。胶州湾冬季异养浮游细菌的水平分布特征为近岸较高、离岸逐渐减少, 且在受人为影响较大的湾东部和西部形成明显的高值区, 但其水平分布与水温变化无明显关系, 表明在温

度较低的情况下,水温不是影响胶州湾异养浮游细菌水平分布的主要原因,这种分布特征主要与近岸海域营养物质的外来输入使水体有机物浓度增高有关。有研究表明,胶州湾细菌的分布与无机营养盐的分布有一定相似性<sup>[5]</sup>,从调查、分析结果也可以看出,胶州湾冬季异养细菌水平分布与营养盐,特别是氨盐的分布显著相关,由此初步推断,在水温较低的冬季,营养盐可能是影响胶州湾异养浮游细菌水平分布的重要因素之一。

### 3.2 影响胶州湾冬季无机营养盐分布的主要因素

从调查结果可看出,冬季胶州湾东部海区营养盐浓度明显高于湾内其它区域,其次是湾西部,湾中央营养盐浓度明显低于近岸。由于胶州湾东部沿岸是青岛的主要工业区、港口和居民区,自北向南有墨水河、弯头河、娄山河、板桥坊河、李村河及海泊河等河流入海,由此带来的工业废水和生活污水中的营养盐输入是该海域营养盐浓度增高的主要原因之一,但胶州湾冬季降雨量较小,经地面径流进入湾内的营养盐通量有限。过去认为,分解、矿化有机物使营养盐再生的任务主要由附着细菌来完成,但目前发现附着细菌数量很少,生产能力也较低,它们主要通过分泌胞外酶使颗粒性有机物(Particulate Organic Carbon, POC)转化成

溶解性有机物(Dissolved Organic Carbon, DOC),而有机质的矿化主要由大量异养浮游细菌吸收、分解DOC来完成<sup>[6]</sup>。调查胶州湾冬季营养盐水平分布与异养浮游细菌分布显著相关的结果,可能也与异养浮游细菌矿化有机质再生营养盐有关。此外,由于胶州湾东北部海流速度较慢,水交换周期长,营养盐浓度较高也与之密切相关。

#### 参考文献:

- [1] Kirchman D L, Wheeler P A. Uptake of ammonium and nitrate by heterotrophic bacteria and phytoplankton in the sub-Arctic Pacific [J]. *Deep-Sea Res (I)*, 1998, 45: 347- 365.
- [2] 赵三军,肖天,岳海东. 秋季东、黄海异养细菌的分布特点[J]. *海洋与湖沼*, 2003, 34(3): 295- 305.
- [3] 国家海洋局. 海洋监测规范[M]. 北京:海洋出版社, 1991. 702- 715.
- [4] 白洁,张昊飞,李岩然,等. 海洋异养浮游细菌生物量及生产力的制约因素[J]. *中国海洋大学学报*, 2004, 34(4): 595- 602.
- [5] 焦念志,肖天. 胶州湾的微生物二次生产力[J]. *科学通报*, 1995, 40(9): 829- 832.
- [6] Pudlu A, Zoppini A, Fazi S, et al. Bacterial uptake of DOM released from P- limited phytoplankton[J]. *FEMS Microbiology Ecology*, 2003, 46(3): 257- 268.

## Distribution and relationship between bacterioplankton and inorganic nutrients in Jiaozhou Bay in winter

BAI Jie<sup>1</sup>, ZHANG Hao-fei<sup>1</sup>, LI Kui-ran<sup>2</sup>, ZHANG Jing<sup>3</sup>, LIU Dong-yan<sup>2</sup>, GAO Dong-mei<sup>1</sup>, YI Qi-tao<sup>1</sup>

(1. Laboratory of Marine Environmental Science and Ecology, Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 2. College of Marine Life Science, Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 3. College of Chemical and Chemitechnology, Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 4. Monitoring Center for East Sea of China, State Oceanic Administration, Shanghai 200137, China)

Received: Oct., 12, 2004

Key words: bacterioplankton; nitrate; ammonium; phosphate; Jiaozhou Bay

**Absreact:** Distribution impact factors of bacterioplankton and inorganic nutrients and their relationship were studied from December 2003 to February 2004 in Jiaozhou Bay. The bacterioplankton in sea waters showed a high numbers in neashore and low values in offshore areas with a high biomass zone in NE in Jiaozhou Bay, which showed a significant correlation with the distributions of ammonium ( $r = 0.73$ ,  $P < 0.01$ ), nitrate ( $r = 0.50$ ,  $P < 0.05$ ) and phosphate ( $r = 0.48$ ,  $P \leq 0.05$ ). The major influence factor on the seasonal variation of the numbers of bacterioplankton is water temperature. The role of mineralization of bacterioplankton to dissolved organic carbon could increase the concentration of the inorganic nutrients in Jiaozhou Bay in winter. (本文编辑:刘珊珊)