

胶州湾夏季异养浮游细菌的时空变化规律及影响因素

白洁¹, 李岷然², 张昊飞^{1,3}, 张经⁴, 魏皓⁵, 刘东艳², 高冬梅¹

(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. 国家海洋局 东海环境监测中心 上海 200137 4. 中国海洋大学 化学化工学院 山东 青岛 266003; 5. 中国海洋大学 物理海洋研究所 山东 青岛 266003)

摘要: 2001 年夏季对胶州湾异养浮游细菌在一个潮周期内的变化规律及影响因素进行了研究。结果表明, 胶州湾异养浮游细菌数量的垂直分布特征是表层大于底层, 表层平均 8.99×10^9 个/L, 底层平均 5.23×10^9 个/L。胶州湾水体异养浮游细菌日变化幅度在表层水体较为明显, 底层相对较小, 但其变化规律均为最高值在小潮期而最低值出现在大潮期。浮游动物摄食、浮游植物光合作用产生的溶解有机物及水温和日光中的紫外辐射是影响胶州湾异养浮游细菌昼夜变化的主要因素, 水交换是影响其日变化的主要因素。

关键词: 异养浮游细菌; 变化规律; 影响因素; 胶州湾

中图分类号: Q93 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3096(2005)11-0058-05

海洋异养浮游细菌能够有效利用溶解性有机碳 (Dissolved Organic Carbon, DOC) 并将其组入颗粒生物量, 是海洋生态系统中生物量的重要组成部分^[1], 同时, 它们还可以将颗粒性有机碳 (Particulate Organic Carbon, POC) 直接转化为 DOC 或有机碎屑, 从而促进海水中营养盐的循环^[2], 而且在与浮游植物对关键性无机营养盐的竞争中具有明显优势^[3], 可见, 海洋异养浮游细菌在海洋生态系统中 DOC 和 POC 的水平及垂直生物输运过程以及在营养盐的生物地球化学循环过程中发挥着至关重要的作用^[4]。影响海洋异养浮游细菌生物量的因素很多, 主要有温度、DOC、微量元素及营养盐等的限制和浮游动物的摄食、病毒的溶解等^[5], Sanders 等人认为异养浮游细菌的生物量和生产量在贫营养海区是受营养来源的限制, 而在富营养海区则以浮游动物摄食限制为主^[6], 即使在同一海区, 细菌生物量变化的影响因素在不同的季节也不尽相同^[7], 由于浮游动物对细菌摄食能力和细菌对 DOC 吸收能力的改变, 异养浮游细菌生物量在一昼夜的时间内可相差数倍^[8], 因此, 了解异养浮游细菌在短时间尺度上的变化规律及影响因素, 对正确理解

其在海洋生态系统结构和功能中的重要性具有特殊意义, 但我们对此却知之甚少^[9]。2001 年 8 月 13 日~8 月 24 日, 我们对胶州湾异养浮游细菌在一个潮周期内的变化规律及影响因素进行了研究。

1. 材料和方法

1.1 站位布设和采样时间

在 2001 年 8 月 13 日~8 月 24 日的一个潮周期内, 在胶州湾 M1 站进行 12 d 的连续观测, 每 3 h 采样一次, 每天 8 次, 每次均采平行样, 采样站位详见图 1。

收稿日期: 2005-07-31; 修回日期: 2005-08-29
基金项目: 国家重点基金资助项目(40036010); 青年基金资助项目(40306019); 山东省环保重点基金资助项目(2004040-1)
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; 李岷然, 通讯作者, 电话: 0532-82032758, E-mail: likr@ouc.edu.cn

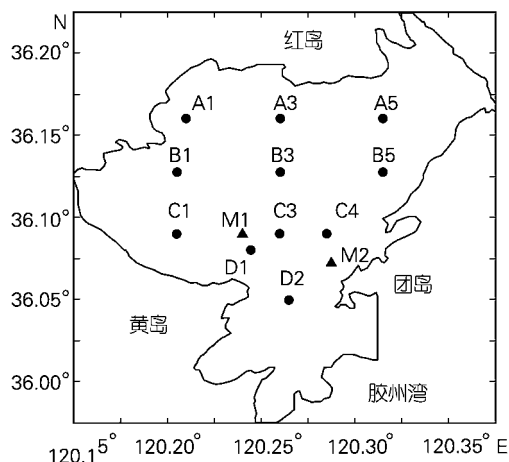


图 1 2001 年采样站位

Fig. 1 Sampling stations in Jiaozhou Bay in 2001

1.2 样品采集和处理

用 Niskon 采水器分别采集距表层 0.5 m 处和距底层 1 m 处的表、底层水样, 每次均采平行样, 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。

在采集水样的同时, 对水温、水深、盐度、pH 值和溶解氧等采用 CTD 水质监测仪进行现场监测。

1.3 样品异养浮游细菌的测定

异养浮游细菌的测定采用 DAPI 荧光染色计数法进行^[10], 在 Leica DMLA 型全自动荧光显微镜下, 放大 1 000 倍观测, 计算细菌数量, 每个样品计数不少于 20 个视野。

2 结果与分析

2.1 夏季异养浮游细菌的昼夜变化规律

根据 12 d 的连续观测结果, 通过计算每个采样时间表、底层水体异养浮游细菌数量在 12 个采样时间的平均值, 显示胶州湾异养浮游细菌的昼夜变化规律, 见图 2。从图中可以看出, 胶州湾异养浮游细菌数量的垂直分布特征是表层大于底层, 表层平均 8.99×10^9 个/L, 底层平均 5.23×10^9 个/L。表层水体细菌数量昼夜变化较大, 每天有两个高峰值和两个低谷值, 高峰值分别出现在夜间 1:00 和上午 10:00 左右, 分别为 9.7×10^9 和 9.63×10^9 个/L, 低谷值分别在下午 13:00 和凌晨 4:00 左右, 分别为 7.4×10^9 和 8.0×10^9

个/L; 底层水体细菌数量昼夜变化幅度不大, 特别是夜间较为稳定, 最高值出现在凌晨 1:00 左右, 为 5.37×10^9 个/L, 最低值在上午 10:00, 为 4.14×10^9 个/L。

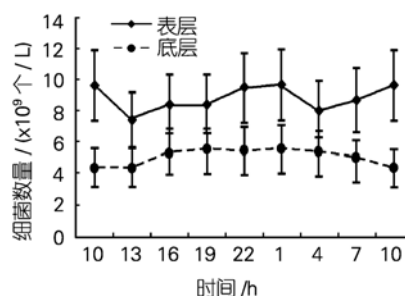


图 2 胶州湾夏季异养浮游细菌量的昼夜变化

Fig.2 Day-night variation of bacterioplankton in Jiaozhou Bay in summer

2.2 异养浮游细菌昼夜变化与环境因子的关系

2.2.1 与水温、盐度和溶解氧的关系

对胶州湾表、底层水体异养浮游细菌数量连续 12 d 的昼夜变化与水温、盐度和溶解氧等环境因子进行相关性分析, 相关系数见表 1。从表中结果可以看出, 胶州湾夏季表层海水中异养浮游细菌的昼夜变化与水温呈高度显著正相关关系, 底层水体细菌的昼夜变化除与水温呈高度显著正相关关系外, 还与溶解氧数量呈显著性负相关关系。

表 1 2001 年夏季细菌数量昼夜变化与环境因子的关系

Tab.1 Relationship between day-night variation of bacterioplankton and environmental factors

水体	<i>r</i>			样本数
	温度	盐度	溶解氧	
表层	0.545**	-0.924**	0.213	112
底层	0.370**	-0.926**	-0.271*	112

注: **为呈高度显著性相关关系 ($P < 0.01$); *为呈显著性相关关系 ($P < 0.05$)

2.2.2 胶州湾异养浮游细菌日变化与潮汐的关系

在连续 12 d 的观测中, 将每天 8 次观测结果的平均值作为当天的细菌数量, 绘制出胶州湾水体异养浮游细菌数量在一个潮周期内的日变化趋势图, 结果见图 3。

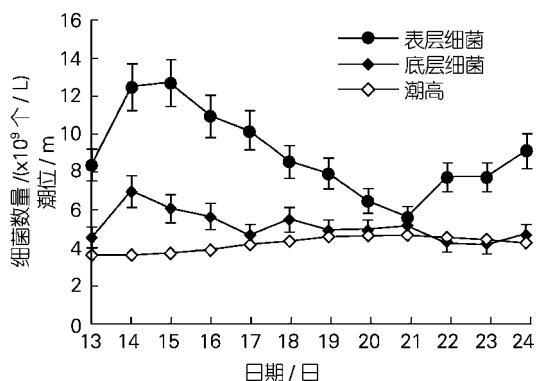


图3 2001年8月胶州湾潮汐及异养浮游细菌量的变化
Fig.3 Daily variations of the bacterioplankton and tide in Jiaozhou Bay

从图中可以看出,观测期间的表、底层水体细菌数量日变化呈周期性变动趋势,表层水体细菌数量变化幅度较大,最高值出现在8月15日,为 12.69×10^9 个/L,最低值出现在8月21日,为 5.62×10^9 个/L;底层水体变化幅度较小,最高值出现在8月14日,为 6.97×10^9 个/L,最低值出现在8月23日,为 4.23×10^9 个/L。通过比对观测期间的潮周期变化,发现异养浮游细菌的变化规律与青岛海域的潮周期密切相关,在观测期间的潮周期内,最大潮在8月21日,最小潮在8月15日,表层水体异养浮游细菌数量周期性变化的最低值和最高值时间正好与此吻合,底层水体细菌数量最低值的8月14日和最高值的8月23日仍分别位于小潮期和大潮期。

对12 d的胶州湾表、底层水体异养浮游细菌数量与水温、盐度、pH值、溶解氧含量和高潮位等环境因子的每日监测结果进行相关性分析,结果表明,胶州湾表层海水中异养浮游细菌的日变化与每日最高潮位、盐度呈高度显著性负相关关系;底层海水中异养浮游细菌的日变化与每日最高潮位呈高度显著性负相关关系,与盐度成显著性负相关关系;表、底层海水异养菌数量与温度、溶解氧和pH无显著性相关关系,相关性结果见表2。

表2 2001年夏季细菌数量日变化与环境因子的关系

Tab.2 Relationship between daily variation of acterioplankton and environmental factors

水层	<i>r</i>					样本数
	潮位	盐度	温度	溶解氧	pH	
表层	-0.905**	-0.407**	0.071	0.215	0.132	112
底层	-0.596**	-0.007	0.230*	0.157	0.063	112

注: **为呈高度显著性相关关系 ($P < 0.01$); *为呈显著性相关关系 ($P < 0.05$)

3 讨论

3.1 胶州湾异养浮游细菌昼夜变化的主要影响因素及环境意义

3.1.1 浮游植物、水温和光照的影响

胶州湾夏季表层海水异养浮游细菌数量的昼夜变化与水温 and 溶解氧呈显著性正相关关系,表明水温和浮游藻类是影响细菌昼夜变化的主要因素,这一方面是由于白天水温升高直接刺激细菌的生长,同时也是由于白天表层水体浮游植物大量繁殖,浮游植物的光合作用使水体中含有更多的DOC和溶解氧,间接影响细菌的生长^[11];但表层水体细菌数量在中午时出现低谷值主要与中午光照和紫外辐射较强对细菌产生抑制作用有关。

3.1.2 浮游动物的影响

Urania Christaki 等^[12]研究发现,在5~50 m的海水中浮游动物数量具有明显的昼夜变化现象,浮游动物的数量和生物量均在午夜达到最高峰,而且比白天大3~4倍,一些特殊的消化酶类的活性也在夜间达到高峰。我们所观察到的细菌数量在午夜后至凌晨出现低谷值,推测主要与夜间浮游动物的摄食增强,导致细菌数量逐渐减少有关^[11]。

在海洋生态系统中,由于原生动物是细菌最主要的捕食者,捕食压力直接对细菌生物量的增长产生抑制作用^[13],同时,原生动物可通过捕食过程中对DOM的释放和对无机盐的再生,间接影响细菌对营养盐的吸收和再生作用^[14],而捕食压力控制细菌数量的同时也减少了细菌对营养盐和生存空间的竞争,有利于细菌的生长,随浮游动物摄食压力的增加,被捕食者的生产力和物质转化能力呈线性增加,使浮游微

生物出现明显反弹^[15],推测这也是本研究中细菌数量在凌晨开始上升的主要原因。因此,浮游动物的捕食作用虽然限制了细菌数量的增加,但同时却会在一定程度上提高细菌的生产活性,提高了细菌的物质转化效率,这对异养浮游细菌在生源要素生物地球化学循环中的作用具有重要意义^[16],但因条件所限,本次未能对浮游动物的变动情况进行研究。

综上所述,浮游动物摄食、浮游植物光合作用产生溶解有机物及水温和紫外辐射可能是影响细菌日变化的主要因素。

3.2 胶州湾异养浮游细菌日变化的主要影响因素

从本次研究结果可以看出,细菌数量与盐度呈显著性负相关关系,主要与大潮期水交换增强,外海水的稀释作用使水体中的有机物等营养物质含量降低,细菌数量减少有关;小潮期水交换产生的稀释作用减小,营养物质含量最多,细菌数量随之增加。由此可以推断,水交换是影响胶州湾水体中异养浮游细菌数量日变化的重要因素之一,特别是对表层水体中的细菌数量影响更为显著。

参考文献:

- [1] Cho B C, Azam F. Biogeochemical significance of bacterial biomass in the ocean's euphotic zone[J]. **Marine Ecology Progress Series**, 1990, 63: 253 – 259.
- [2] Azam F, Fenchel T, Field J G, *et al.* The ecological role of water-column microbes in the sea[J]. **Mar Ecol Prog Ser**, 1983, 10: 257 – 263.
- [3] Caron D A, Goldman J C, Dennett M R. Experimental demonstration of the roles of bacteria and bacterivorous protozoa in plankton nutrient cycles[J]. **Hydrobiologia**, 1988, 159: 27 – 40.
- [4] Legendre L, Le F L. Microbial food webs and the export of biogenic carbon in oceans[J]. **Aquatic Microbial Ecology**, 1995, 9: 69 – 77.
- [5] 白洁, 张昊飞, 李岍然, 等. 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 (3) : 594 – 602.
- [6] Sanders R W, Caron D A, Berninger U G. Relationships between bacteria and heterotrophic nanoplankton in marine and fresh waters: an inter-ecosystem comparison[J]. **Mar**

- Ecol Prog Ser**, 1992, 86: 1 – 14.
- [7] Ducklow H W, Carlson C A. Oceanic bacterial production[J]. **Adv Microb Ecol.**, 1992, 12: 113 – 181.
- [8] Burney C M, Davis P G, Johnson K M, *et al.* Diel relationships of microbial trophic groups and in situ dissolved carbohydrate dynamics in the Caribbean Sea[J]. **Mar Biol**, 1982, 67: 311 – 322.
- [9] Choi K H, Fred C D, Robert K C. Short-term temporal and spatial dynamics of bacterioplankton near Barbados in the Caribbean[J]. **Sea Aquat Microb Ecol**, 2001, 25: 43 – 53.
- [10] Porter K G, Feig Y S. The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora[J]. **Limnol Oceanogr**, 1980, 25: 943 – 948.
- [11] Barbosa A B, Galvão H M, Mendes P A, *et al.* Short-term variability of heterotrophic bacterioplankton during upwelling off the NW Iberian margin[J]. **Progress in Oceanography**, 2001, 51: 339 – 359.
- [12] Urania C, Raymond G, Pierre K. A study of the effects of migratory zooplankton on microbial populations in surface waters of the N.W. Mediterranean[J]. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, 1998, 225: 173 – 183.
- [13] Fuhrman J A. Bacterioplankton roles in cycling of organic matter: the microbial food web[A]. Falkowski P G, Woodhead A D. Primary productivity and biogeochemical cycles in the sea[C]. New York: Plenum Press, 1992. 361 – 383.
- [14] Proctor L M, Fuhrman J A. Viral mortality of marine bacteria and cyanobacteria[J]. **Nature**, 1990, 343: 60 – 62.
- [15] Landry M R, Kirchman D L. Microbial community structure and variability in the tropical Pacific[J]. **Deep-Sea Research II**, 2002, 49: 2 669 – 2 693.
- [16] Philippe D T, Maria T. M, Julie G, *et al.* Marine bacteria and biogeochemical cycling of iron in the oceans[J]. **Microb Ecol**, 1999, 29: 1 – 11.

(本文编辑: 刘珊珊)

Characters of variation and impacting factors of biomass of heterotrophic bacterioplankton in Jiaozhou Bay in summer

BAI Jie¹, LI Kui-ran², ZHANG Hao-fei^{1,3}, ZHANG Jing⁴, WEI Hao⁵, LIU Dong-yan², GAO Dong-mei¹

(1.Ocean University of China, Laboratory of Marine Environmental Science and Ecology, Qingdao 266003,China;;2.Ocean University of China, College of Marine Life Science, Qingdao 266003,China;3.East China Sea Environmental monitoring Center of State Oceanic Administration, Shanghai 200137,China ;4.Ocean University of China, College of Chemical and Chemitechnology, Qingdao 266003, China;5. Ocean University of China , Institute of Physical Oceanography Qingdao 266003, China;)

Received: Jul., 31,2005

Key words: heterotrophic bacterioplankton, characters of variation, impacting factors, Jiaozhou Bay

Abstract: Characters of variation and impacting factors of the biomass of heterotrophic bacterioplankton in Jiaozhou Bay in summer were studied in 2001. The biomass was larger and showed a day-night variation in surface waters is more obvious than in bottom waters with an average of 8.99×10^9 cell/dm³ and 5.23×10^9 cell/dm³ respectively. The largest biomass occurred in low tide period and the smallest occurred both in surface and bottom waters in high tide. The main impacting factors on the day-night variation of the biomass were grazing pressure by zooplankton, the supply of DOC from phytoplankton, the temperature of water and the sunlight irradiation. Meanwhile, the dominative effecting factor of the daily variation of the biomass was the dynamic of sea water.

(本文编辑：刘珊珊)