

胶州湾聚球菌(*Synechococcus* spp.) 蓝细菌的分布及其对初级生产力的贡献*

赵三军 肖 天 李洪波 徐剑虹

(中国科学院海洋研究所海洋生态与环境科学重点实验室 青岛 266071;

中国科学院研究生院 北京 100039)

*(中国科学院海洋研究所海洋生态与环境科学重点实验室 青岛 266071)

提要 自2002—2004年应用表面荧光显微镜计数法对胶州湾聚球菌(*Synechococcus* spp.) 蓝细菌的季节变化、月变化及其对浮游植物总初级生产力的贡献进行调查研究。结果显示, 胶州湾 *Synechococcus* spp. 丰度处于 0.16×10^4 — 21×10^4 cells/ml 之间, 最大与最小值之间相差约两个数量级, 其中夏天 *Synechococcus* spp. 丰度最高, 春、秋季相当, 冬季最低。夏季 *Synechococcus* spp. 丰度平均值约是冬季的3—4倍。*Synechococcus* spp. 的季节变化呈现一定周期性。*Synechococcus* spp. 月最高值(21×10^4 cells/ml) 出现在8月的B2站表层, 最低值(0.15×10^4 cells/ml) 出现在12月A1站表层。对18个月的胶州湾 *Synechococcus* spp. 水平分布进行分析, 结果显示, 河口和近岸区域 *Synechococcus* spp. 丰度相对较高。以D8站为典型站位对 *Synechococcus* spp. 垂直分布进行的分析发现, 不同季节 *Synechococcus* spp. 最大值出现的水深不同。胶州湾 *Synechococcus* spp. 在总浮游植物生物量中所占的比例在0.2%—77%之间, 平均为4.7%。此外, 对2003—2004年温度与 *Synechococcus* spp. 丰度的相关性分析中发现, 两者呈正线性相关(相关系数达0.6)。

关键词 胶州湾, 蓝细菌聚球菌属(*Synechococcus* spp.), 分布, 初级生物量

中图分类号 Q938.1

蓝细菌聚球菌属(*Synechococcus* spp.) 是广泛分布于海洋中能进行放氧光合作用的超微型浮游植物, 它们在海洋中丰度极高, 能量转换迅速, 对总初级生产力的贡献达20%以上(Li *et al.*, 1983), 是海洋生态系统中重要的初级生产者之一。海洋 *Synechococcus* spp. 在渤海、黄海、东海的分布状况已有若干研究(宁修仁等, 1991; 肖天等, 2002, 2003), 以前的研究大多集中于个别月份的调查, 关于 *Synechococcus* spp. 的季节变化状况以及对浮游植物总初级生产力的贡献方面的数据比较少, 本文作者以胶州湾生态调查为依托, 对胶州湾 *Synechococcus* spp. 的月变化及其浮游植物总初级生产力的贡献率进行研究, 为进一步了解 *Synechococcus* spp. 生态动力学及生物地球化学循环中

的作用提供科学依据。

1 调查时间、采样与样品处理

调查时间为2002年2月—2004年12月, 其中2002年2月至2003年5月为季度采样调查, 2003年5月开始加大了调查频率, 进行逐月采样调查。调查航次为“科胶二号”考察船“典型海湾生态系统动力学研究及其生态恢复”大面站调查。以13个月调查站位为研究站位进行分析(赵三军等, 2005), 覆盖大沽河、娄山河、李村河、海泊河河口、胶州湾湾口、浮山湾及大公岛等海域。

用船载 Rosette 采水器采集水样, 取表层海水50ml 置入无菌样品瓶中用戊二醛固定(终浓度为1.0%), 固定后样品于4℃保存至分析完毕。

* 国家自然科学基金资助项目, 40376048号; 中国科学院知识创新项目, KZCX3-SW-214号。赵三军, 博士, 助理研究员, E-mail: sanjunzhao@yahoo.com.cn

2 海洋蓝细菌的计数方法

取固定后的水样 10—50ml, 用直径为 25mm、孔径为 0.2 μ m 的黑色核孔滤膜(black nucleopore filter) 进行抽滤(< 267Pa)。将滤膜取下置于载玻上, 滴一滴无菌水, 盖上盖玻片, 加专用油(immersion oil, Germany), 用 Olympus BH-2 型显微镜 (BH2-RFL filter set, BP490 excitation filter, EY455 supplementary exciter filter)、10 $\times$ 目镜、40 $\times$ 物镜计数, *Synechococcus* spp. 显桔黄色。每张滤膜一般计数两行, 每行计数 200—300 个细胞(Waterbury *et al.*, 1979)。根据视野面积、滤膜过滤面积和水样体积计算每毫升海水中蓝细菌细胞数量(cells/ ml)。

3 结果

3.1 胶州湾蓝细菌的季变化

自 2002 年 2 月—2004 年 11 月的季度调查显示,

胶州湾 *Synechococcus* spp. 的丰度在 1.6×10^3 — 2.1×10^5 cells/ ml 之间, 最大值与最小值之间相差约 130 倍。胶州湾 *Synechococcus* spp. 丰度在每年的夏季达到最高值, 冬季达到最低值(图 1)。

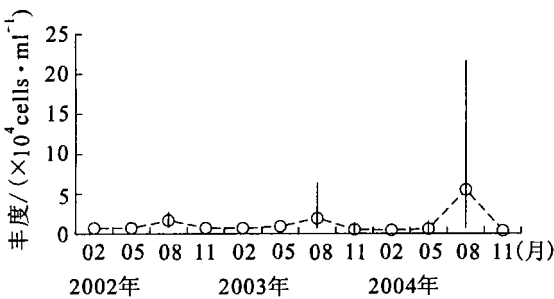


图1 胶州湾蓝细菌季节变化(单位: cells/ml)

Fig. 1 Seasonal variation of *Synechococcus* spp. abundance in Jiaozhou Bay (unit: cells/ ml)

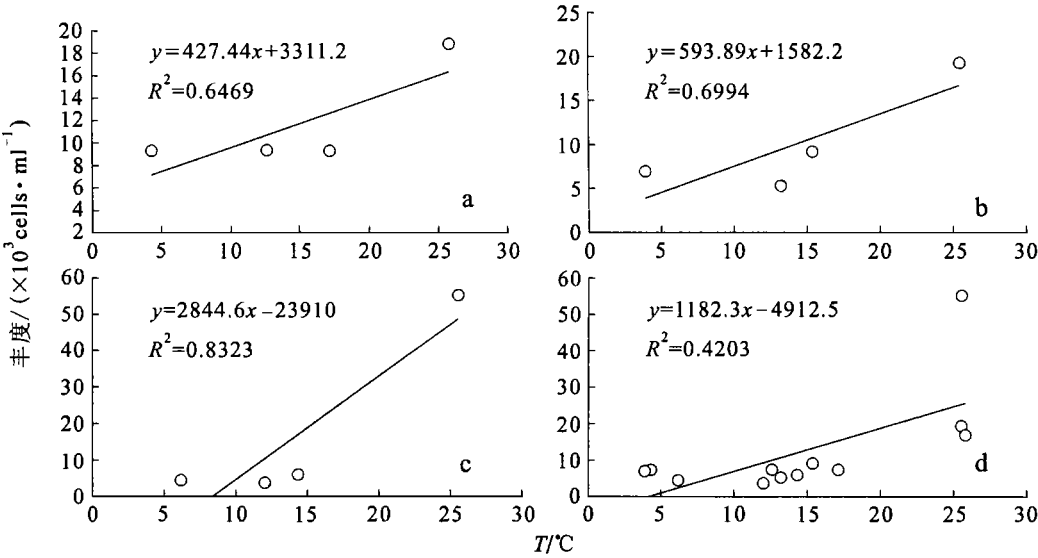


图2 胶州湾 *Synechococcus* spp. 丰度与温度的相关分析(a. 2002; b. 2003; c. 2004; d. 各年平均)

Fig. 2 Correlation between *Synechococcus* spp. abundance and temperature (a. 2002, b. 2003, c. 2004; d. average)

蓝细菌聚球菌属在一年内的变化趋势总体表现为冬季< 秋季< 春季< 夏季。夏季比冬季约高 3—4

倍。将温度与蓝细菌丰度进行相关分析发现, 两者有很高的正线性相关性(图 2), 2002 年、2003 年和 2004

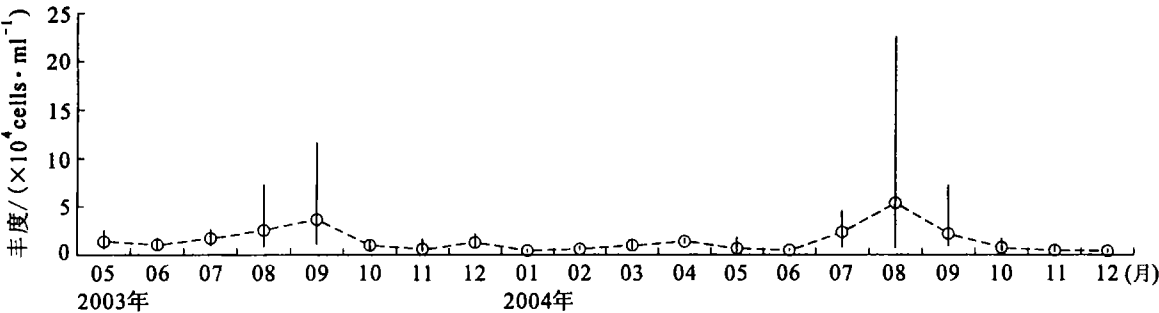


图3 胶州湾 *Synechococcus* spp. 月变化(单位: cells/ml)

Fig. 3 Monthly variation of *Synechococcus* spp. abundance in Jiaozhou Bay (unit: cells/ ml)

年分别为 0.80、0.84 和 0.91, 整体相关性可达到 0.6。从年变化来看, 胶州湾 *Synechococcus* spp. 丰度有逐年增加的趋势(图 1)。

3.2 胶州湾 *Synechococcus* spp. 的月变化

胶州湾表层各站 *Synechococcus* spp. 数量的月变化如图 3 所示, *Synechococcus* spp. 丰度数量范围在 $0.15 \times 10^4 - 21 \times 10^4$ cells/ml 之间, 最高值出现在 8 月 B2 站表层, 最低值出现在 12 月份 A1 站表层, 最高值是最低值的 130 倍左右。 *Synechococcus*

spp. 丰度总体变化趋势为 8、9 月较高(约 $2.0 \times 10^4 - 4.0 \times 10^4$ cells/ml), 1、2 月较低(约 $3.0 \times 10^3 - 4.0 \times 10^3$ cells/ml), 除 D5 站外, 8、9 月份细胞丰度显著高于其它月份, 这种状况持续到 11 月份, 之后 *Synechococcus* spp. 丰度开始下降, 直至降到次年 1、2 月的最低水平, 从 3 月开始丰度开始增加, 到 5 月份有所降低后继续升高。从水平分布来看, *Synechococcus* spp. 数量在近岸相对较高, 在湾中心和大公岛附近相对较低(图 4)。

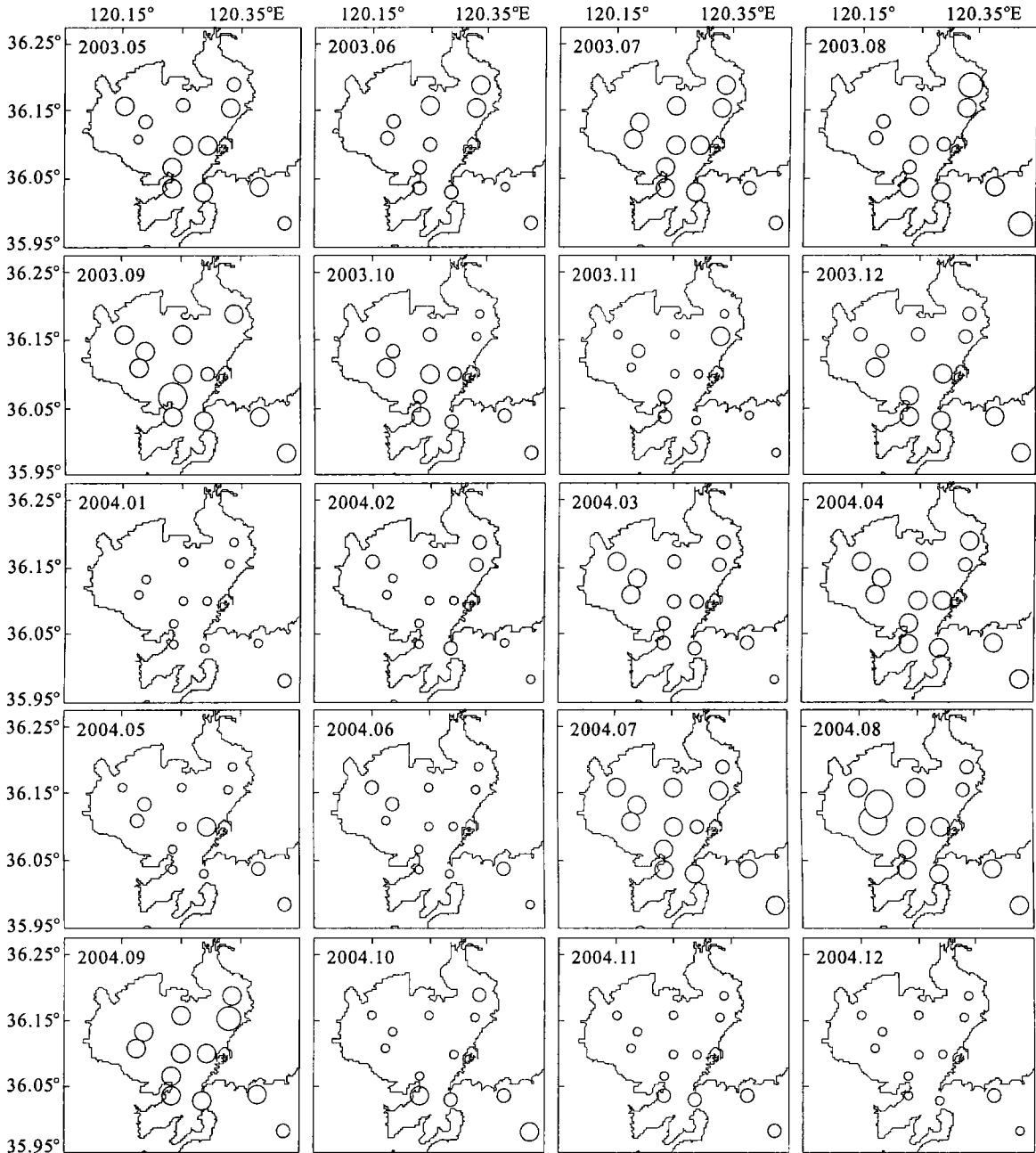


图 4 2003 年 5 月—2004 年 12 月胶州湾 *Synechococcus* spp. 分布状况

Fig. 4 Horizontal distribution of *Synechococcus* spp. abundance in Jiaozhou Bay from May 2003 to Dec. 2004

● 1000—5000; ○ 5000—10000; ○ 10000—50000; ○ 50000—100000; ○ 100000—500000

从数值变化趋势上来看, 胶州湾 *Synechococcus* spp. 丰度月变化与温度也有较好的相关性。将各站 *Synechococcus* spp. 丰度平均与温度进行相关性检验, 同样得出 *Synechococcus* spp. 丰度与温度有较好的正相关(图 5)。

3.3 胶州湾 *Synechococcus* spp. 的垂直分布

胶州湾 *Synechococcus* spp. 垂直分布变化以 D5 站为例, 该站位水深最深可达 40m, 为本调查水深最大站位。由于垂直混合的作用胶州湾 D5 站基本无温度跃层(图 6)。D5 站 *Synechococcus* spp. 的垂直分布及季节变化如图 7 所示。在 5 月和 8 月该站 *Synechococcus* spp. 最大值出现在 20m 附近, 11 月最大值出现在 10m 层, 2 月份最大值出现在

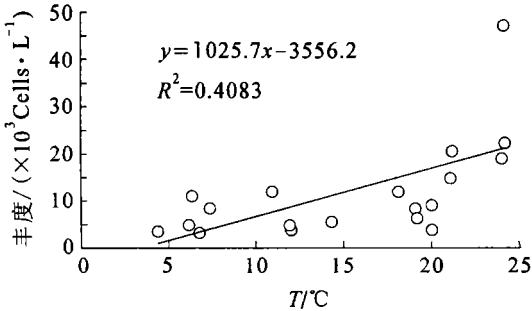


图 5 胶州湾 *Synechococcus* spp. 丰度与温度的相关分析
Fig. 5 Correlation between *Synechococcus* spp. abundance and temperature

表层。随季节变化, *Synechococcus* spp. 最大值出现的水层具有一定波动性。

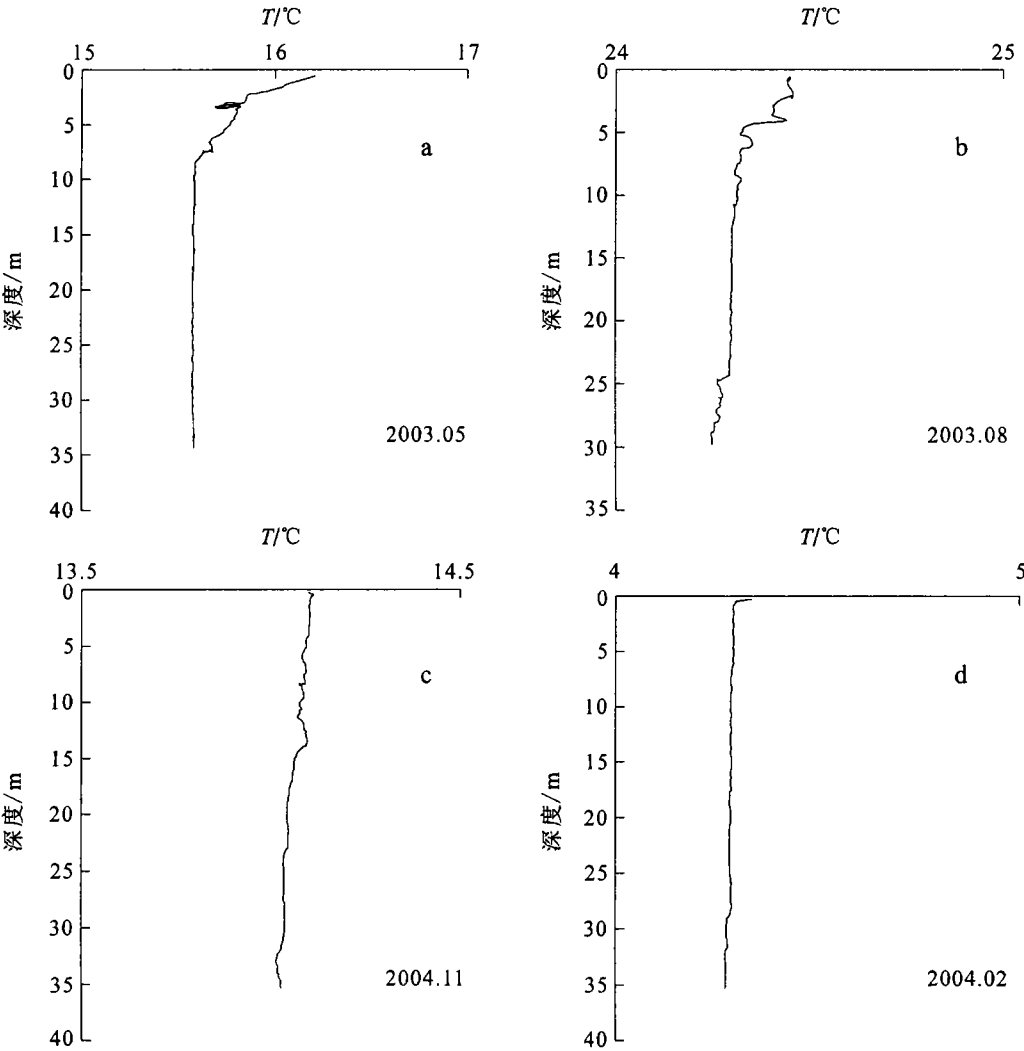


图 6 不同季节 D7 站水温垂直变化(a. 春季; b. 夏季; c. 秋季; d. 冬季)

Fig. 6 Vertical variation of temperature in Station D7 in different seasons (a. spring; b. summer; c. autumn; d. winter)

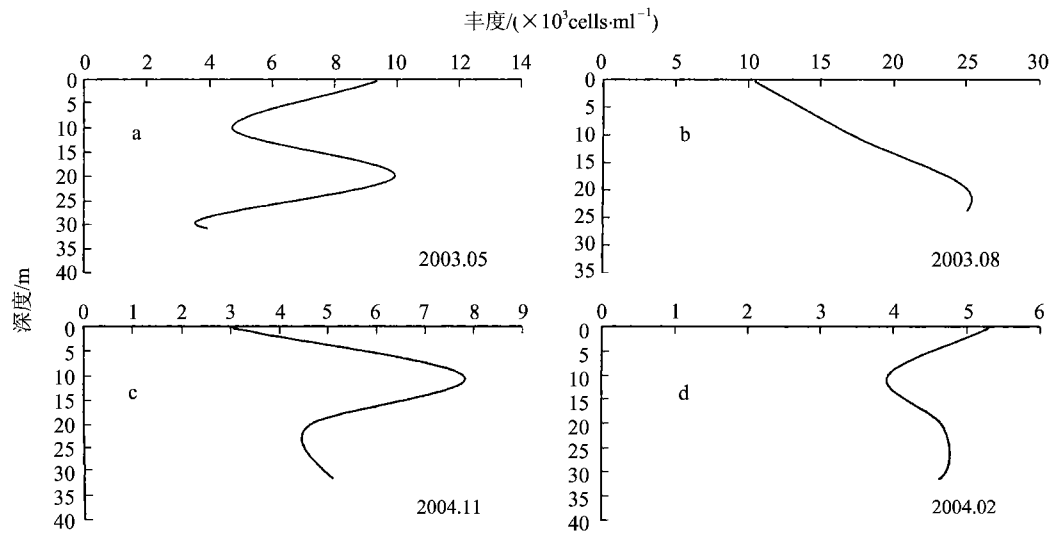


图 7 D5 站不同季节 *Synechococcus* spp. 垂直分布状况(a. 春季; b. 夏季; c. 秋季; d. 冬季)

Fig. 7 Vertical distribution of *Synechococcus* spp. abundance in different seasons (a. spring; b. summer; c. autumn; d. winter)

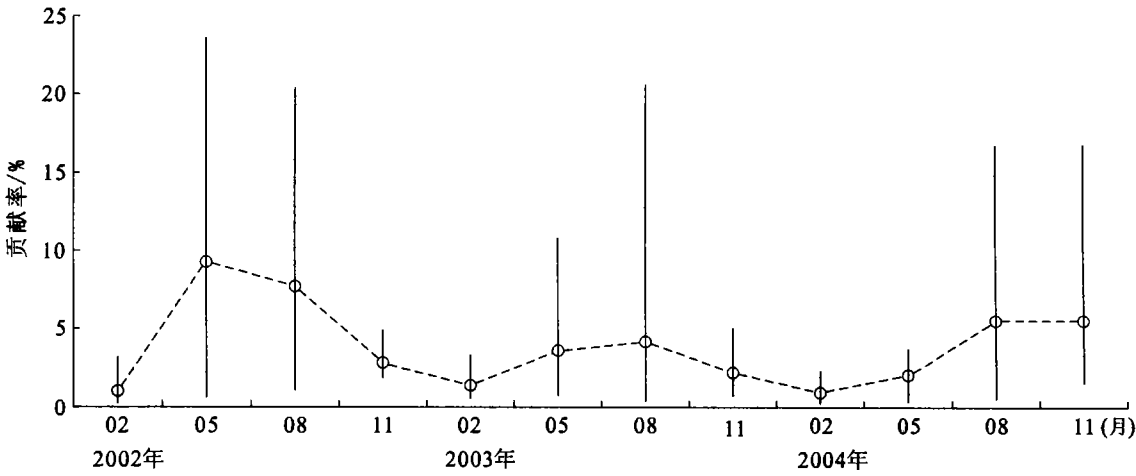


图 8 胶州湾 *Synechococcus* spp. 占浮游植物总初级生产力比例的季节变化

Fig. 8 Seasonal variation of the ratio of *Synechococcus* spp. biomass to primary production of phytoplankton in Jiaozhou Bay

4 胶州湾 *Synechococcus* spp. 对浮游植物总初级生产力的贡献

将浮游植物叶绿素浓度按 C: Chl. *a* 为 43(王荣等, 1997) 转换成浮游植物总初级生产力, 结果表明, 从 2002—2004 年的季度调查中, 胶州湾 *Synechococcus* spp. 对浮游植物初级生产力的贡献在 0.2%—23.5% 之间, 平均贡献率为 3.9%。其

中以春、夏季贡献率较高, 秋、冬季较低(图 8)。在 2003—2004 年的月调查当中发现, *Synechococcus* spp. 对浮游植物总初级生产力的贡献率在 0.2%—77.0% 之间, 平均贡献率为 4.7%。最高贡献率为 77.0%, 出现在 6 月 B2 站的表层。同时, 在 12 月份有一个次高值, 其贡献率达到 20.7%(图 9), 其平均最高值出现在 6 月, 最低值出现在 2 月。

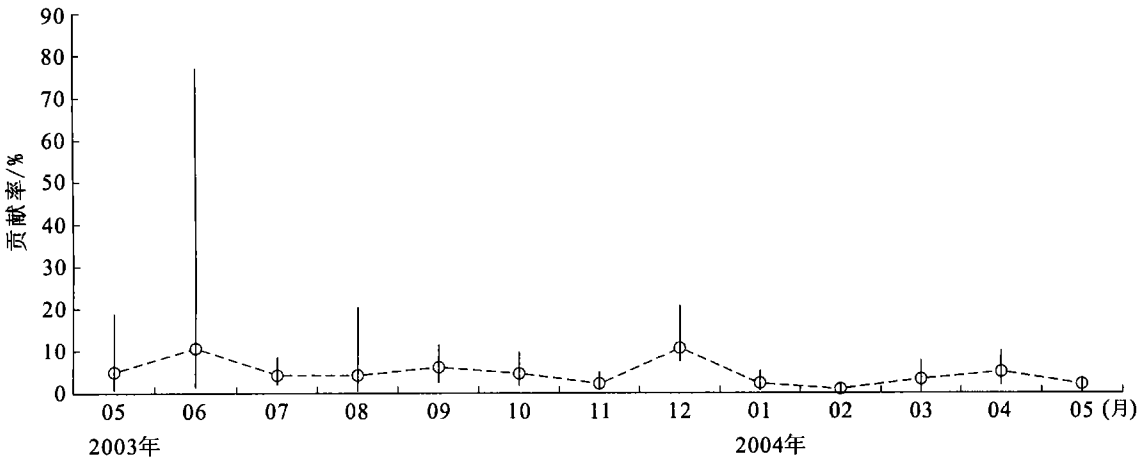


图9 胶州湾 *Synechococcus* spp. 占浮游植物总初级生产力比例的月变化

Fig. 9 Monthly variation of the ratio of *Synechococcus* spp. biomass to primary production of phytoplankton in Jiaozhou Bay

5 讨论与结论

5.1 胶州湾 *Synechococcus* spp. 丰度变化

本研究中 *Synechococcus* spp. 的丰度比已有的关于胶州湾 *Synechococcus* spp. 分布的相关结果(肖 天, 1995) 高一个数量级。该结果显示, 胶州湾 *Synechococcus* spp. 数量在最近 10 年当中有增加的趋势。同时作者的研究发现, 温度和 *Synechococcus* spp. 丰度有较好的正相关性, 并且 *Synechococcus* spp. 的变化具有一定周期性, 这表明温度是影响 *Synechococcus* spp. 生长增殖的重要因子。此外, 河口及沿岸区域 *Synechococcus* spp. 数量较高可能跟该区域营养盐浓度较高有一定关系。本研究中作者发现, 由于胶州湾水深较浅, 垂直扰动剧烈, *Synechococcus* spp. 垂直变化在季节上似乎有一个现象, 即在光照强的季节(春、夏) *Synechococcus* spp. 高值出现在较深水区(20m 层), 光照较弱的季节里 *Synechococcus* spp. 高值出现在较浅水区(秋季 10m 层, 冬季 20m 层)。该现象的出现可能暗示 *Synechococcus* spp. 对光具有一定调节作用。对该现象的阐释还需进一步调查与研究。

5.2 *Synechococcus* spp. 对浮游植物总初级生产力的贡献

研究表明在太平洋热带海区, *Synechococcus* spp. 对浮游植物总生物量的贡献达 25%—90%, 对总初级生产力的贡献达 20%—80% (Li *et al*, 1983)。而在世界大多数海区, 它对浮游植物总生物量的贡献达 20%, 对总初级生产力的贡献达 60% (Caron *et al*, 1991)。在东海海域的研究表明, *Synechococcus* spp. 对总初级生产力的贡献在冬季可

达到 10%, 夏季为 3% (肖 天等, 2003)。在 San Francisco 海湾的研究表明, *Synechococcus* spp. 对总初级生产力的贡献在夏季达到 15%, 春季只有 2% (James *et al*, 2000)。本研究中 *Synechococcus* spp. 对总初级生产力的贡献在 3.7%。由此可以看出, *Synechococcus* spp. 对胶州湾浮游植物的贡献较低。从黄海及东海的数据来看, *Synechococcus* spp. 对浮游植物初级生产力的贡献在近岸较小, 外海及远洋较高。

参 考 文 献

赵三军, 肖 天, 徐剑虹, 2005. 胶州湾异养细菌及大肠菌群 的分布及对陆源污染的指示. 海洋与湖沼, 36(6) : 541—547 [Zhao S J, Xiao T, Xu J H, 2005. Distribution of heterotrophic bacteria and coliform in Jiaozhou Bay and its indication to pollution. Oceanologia et Limnologia Sinica, 36(6) : 541—547]

宁修仁, 沃洛 D, 1991. 长江口及其毗邻东海水域蓝细菌 的分布和细胞特征及其环境调节. 海洋学报, 13(4) : 552—559 [Ning X R, Volat D, 1991. The distribution of *Synechococcus* spp. in Changjiang estuary and its effect on environment. Acta Oceanologica Sinica, 13(4) : 552—559]

肖 天, 王 荣, 2002. 渤海蓝细菌(*Synechococcus* spp.) 的 生态分布特点. 生态学报, 22(12) : 58—64 [Xiao T, Wang R, 2002. Distribution of *Synechococcus* spp. in the Bohai Sea. Acta Ecologica Sinica, 22(12) : 58—64]

肖 天, 岳海东, 张武昌等, 2003. 东海蓝细菌(*Synechococcus* spp.) 的分布特点及在微食物环中的作用. 海洋与 湖沼, 34(1) : 33—43 [Xiao T, Yue H D, Zhang W C *et al*, 2003. Distribution of *Synechococcus* spp. in the East China Sea and its role in microbial food web. Oceanologia

- et *Limnologia Sinica*, 34(1): 33—43]
- 肖 天, 焦念志, 王 荣, 1995. 胶州湾蓝细菌、异养细菌的数量分布特点: 胶州湾生态学研究. 北京: 科学出版社, 118—124
- 王 荣, 范春雷, 1997. 东海浮游桡足类的摄食活动及其对垂直碳通量的贡献. 海洋与湖沼, 28(6): 479—586 [Wang R, Fan C L, 1997. The activities of copepod as a predator in the East China Sea and its contribution to carbon flux. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 28(6): 479—586]
- James E, Cloern Brian E, Cole *et al.*, 2000. Spatial and temporal variability of Picocyanobacteria *Synechococcus* spp. in San Francisco Bay. *Limnol Oceanogr*, 45(3): 695—702
- Li W K W, Subba R D V, Harrison J C, 1983. Autotrophic picoplankton in the tropical ocean. *Science*, 219: 292—295
- Caron D A, Lim E L, Miceli G, 1991. Grazing and utilization of chroococcoid cyanobacteria and heterotrophic bacteria by protozoa in laboratory cultures and a coastal plankton community. *Mar Ecol Prog Ser*, 76: 205—217
- Waterbury J B, Watson S W, Gullard R R L, 1979. Wide-spread occurrence of a unicellular, marine planktonic, cyanobacterium. *Nature*, 277: 293—294

DISTRIBUTION OF *SYNECHOCOCCUS* SPP. IN JIAOZHOU BAY

ZHAO San-Jun, XIAO Tian^{*}, LI Hong-Bo^{*}, XU Jian-Hong^{*}

(Key Lab of Marine Ecology & Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071; Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100039)

^{*}(Key Lab of Marine Ecology & Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071)

Abstract A unicellular cyanobacteria of the genus *Synechococcus* spp. occupy an important position at the base of the marine food web; they are among the most abundance members of the picoplankton in open ocean, and their contribution to primary production was estimated to be at 20%.

In this study, the authors examined the variation in *Synechococcus* spp. abundance seasonally between 2002 and 2003, and monthly from 2003 to 2004. Sample was collected with 50 ml sterilized vials and fixed with glutaraldehyde (1% final concentration), filtered through a 0.2 μ m black Nuclepore filter, mounted on a glass slide and examined under epifluorescence microscope. *Synechococcus* spp. would show yellow-orange autofluorescence when excited with blue light so that we could count the number in 20 fields randomly using Olympus BH-2 epifluorescence microscopy.

The distribution of *Synechococcus* spp. in Jiaozhou Bay was investigated from May 2002 to Dec. 2004. The results show that *Synechococcus* spp. abundance in Jiaozhou Bay ranged from 0.16×10^4 to 21×10^4 cells/ml. The maximum value was observed in summer, whereas the minimum value was in winter. The highest value (21×10^4 cells/ml) was observed in the surface layer in Station B2 in August, while the lowest value (0.15×10^4 cells/ml) was in the surface layer in Station A1 in December. The average value of *Synechococcus* spp. abundance in summer was 3—4 times higher than that in winter. The variation in *Synechococcus* spp. abundance was seasonal.

The data obtained show that the abundance was obviously higher in near-shore and estuary than in any other parts of the bay. The highest value was recorded in different depths in different seasons in Station D8 that was selected as the experimental station for studying the vertical distribution of *Synechococcus* spp. in Jiaozhou Bay. The results in this study indicate that the light intensity could influence *Synechococcus* spp. distribution seen in some instances.

Synechococcus spp. contributed 3.9% of the total primary biomass produced by phytoplankton biomass (estimated percentage of concentration of chlorophyll-*a*) from 2002 to 2004. A positive correlation between the variation in temperature and *Synechococcus* spp. abundance (covalent factor 0.6) was revealed in the study.

Key words Jiaozhou Bay, *Synechococcus* spp., Distribution, Primary biomass