

东海束毛藻 *Trichodesmium* 分布特征

张昊飞^{1,2}, 秦玉涛^{1,2}, 邓邦平^{1,2}, 程祥圣^{1,2}, 蒋晓山^{1,2}

(1. 国家海洋局东海环境监测中心, 上海 201206; 2. 海洋赤潮灾害立体监测技术与应用国家海洋局重点实验室, 上海 201206)

摘要: 根据2006年8月和2007年1月两个航次的调查,在15条断面91个调查站点共获取浮游植物样品182个,基于形态分类的方法对浮游植物样品进行了鉴定分析,发现东海蓝藻赤潮藻类束毛藻由薛氏束毛藻(*Trichodesmium thiebautii*)、汉氏束毛藻(*T. erythraeum*)和东海束毛藻(*T. hildebrandii*)组成,其中薛氏束毛藻占优势,其次是汉氏束毛藻和东海束毛藻。夏冬季节,束毛藻分布趋势一致,呈现近海和黑潮流经海域高、其它海域低的特点,温度和营养物质是束毛藻分布的主要控制因子。

关键词: 海洋生物学;束毛藻;分布特征;东海

DOI: 10.3969/J. ISSN. 2095-4972. 2019. 02. 012

中图分类号: P735

文献标识码: A

文章编号: 2095-4972(2019)02-0246-06

作为海洋生物固氮、海洋初级生产力的主要贡献者和蓝藻赤潮的主要种类,束毛藻(*Trichodesmium*)一直备受关注^[1]。束毛藻因其特殊的生理生态特点,广泛分布于热带和亚热带海域的表层水面。由于它具有生物固氮能力,因此又是海洋生态系统“新”氮源的主要供给^[2]。另外,束毛藻是重要的赤潮种,在世界许多海域,如坦桑尼亚沿岸海域^[3]、澳大利亚 Heron 岛附近的大堡礁^[4]、印度阿拉伯西南海岸^[5]、中国南海海域等都发现有大型赤潮发生。在中国近海发生束毛藻赤潮的种类通常是东海束毛藻(*T. hildebrandii*)和汉氏束毛藻(*T. erythraeum*),目前有6次以上纪录^[6]。近年来在大亚湾发生了一次东海束毛藻赤潮^[7]。近期国外有研究显示,其赤潮期间对痕量金属的生物地球化学循环过程有着特殊的调控机制^[5]。本研究根据采自东海陆架区15条断面夏冬两季950个样品,从东海束毛藻夏冬季节分布特征、及其在生物地球化学过程中所起作用等方面作初步探讨。

1 材料与方法

1.1 样品采集与处理

2006年8月和2007年1月,在东海海域共设置

15条断面,91个站位(图1),按《海洋监测规范》^[8]开展调查作业,使用小型浮游生物网(网口直径50 cm,网长280 cm,网目0.077 mm)由底至表垂直拖曳采集,所获标本经5%甲醛溶液现场固定,带回室内进行分类鉴定和统计。叶绿素、营养盐(总氮、总磷)和重金属(锌、镉、铅、铜、钴)的分析按照《海洋监测规范》^[8]进行。

1.2 束毛藻生物量的计算方法

束毛藻生物量计算方法按照每条藻丝体50 ng 叶绿素 *a* 的换算常数来换算^[9-10]。

2 结果与讨论

2.1 夏季束毛藻丰度分布

夏季中国东海出现的束毛藻主要有薛氏束毛藻(*Trichodesmium thiebautii*)、东海束毛藻(*T. erythraeum*)和汉氏束毛藻(*T. hildebrandii*)等。其中薛氏束毛藻占绝对优势,其次是汉氏束毛藻(图2、表1)。夏季束毛藻丰度最大值出现在N3站位,薛氏束毛藻和汉氏束毛藻丰度最大值均出现在N3站位。夏季束毛藻丰度分布总体呈现近岸海域高于东部外部海域的特点。此外,东海束毛藻主要分布在浙江北部海域,而这片海域赤潮发生几率一直较高。

收稿日期:2018-07-10

基金项目:国家重点研发计划课题资助项目(2017YFC1404305);上海市科学技术委员会长三角联合攻关资助项目(062358101)

作者简介:张昊飞(1979—),男,硕士,高级工程师;E-mail:zhanghf@ecs.mnr.gov.cn

通讯作者:邓邦平(1983—),男,硕士,高级工程师;E-mail:dengbp@ecs.mnr.gov.cn

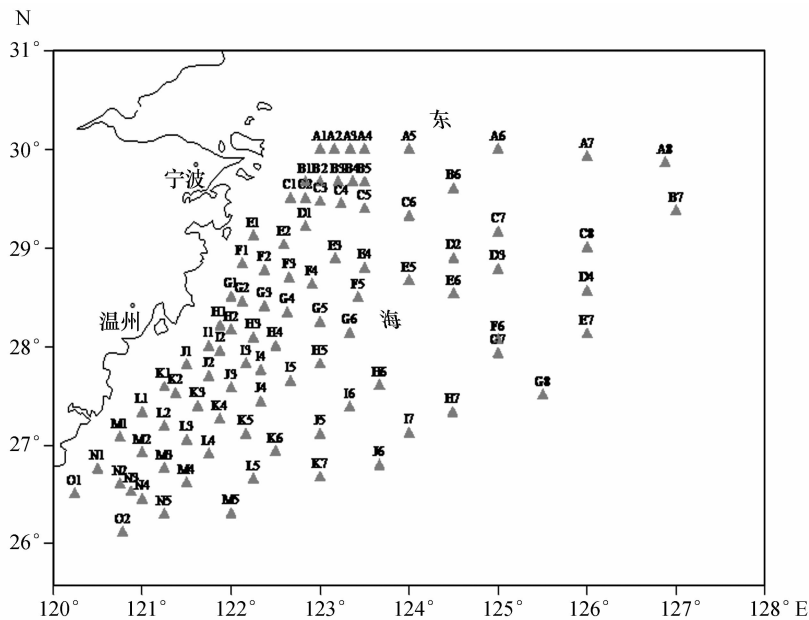


图 1 调查站位分布

Fig. 1 Distribution of investigated stations

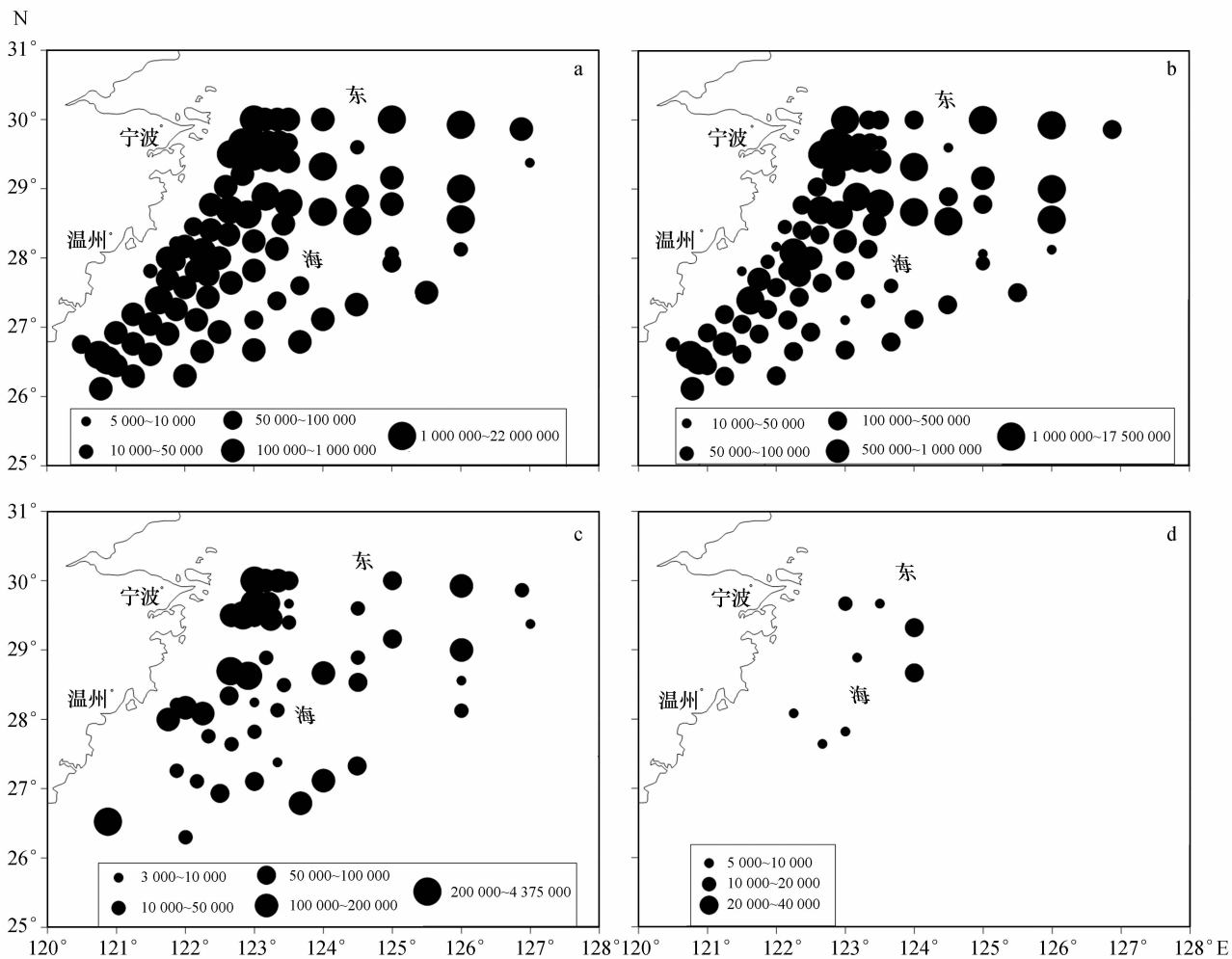


图 2 东海夏季束毛藻分布

Fig. 2 Distribution of *Trichodesmium* of the East China Sea in summer

a, b, c, d 分别代表束毛藻(总)、薛氏束毛藻、汉氏束毛藻和红海束毛藻分布;图中数值单位为个/m³

表 1 东海夏季束毛藻的丰度统计

Tab.1 Density distribution of *Trichodesmium* of the East China Sea in summer

种名	丰度/(cells · m ⁻³)	占总丰度的比例/%	站位出现率/%
薛氏束毛藻	1 079 862(10 018 ~ 17 496 000)	64.2(0.2 ~ 99.5)	89.1
汉氏束毛藻	231 995(3 971 ~ 4 374 000)	14.5(0.4 ~ 72.1)	53.3
红海束毛藻	15 547(5 971 ~ 38 118)	2.5(0.3 ~ 10.4)	8.7

2.2 冬季束毛藻分布

冬季中国东海出现的束毛藻主要有薛氏束毛藻、红海束毛藻和汉氏束毛藻等(表2)。其中薛氏束毛藻占绝对优势,其次是汉氏束毛藻,红海束毛藻

只在个别站位(E4、G4)出现。冬季束毛藻丰度最大值出现在 A7 站位,薛氏束毛藻和汉氏束毛藻丰度最大值分别出现在 A7 和 A1 站位。冬季束毛藻分布特点和夏季类似(图3)。

表 2 东海冬季束毛藻的丰度统计

Tab.2 Density distribution of *Trichodesmium* of the East China Sea in winter

种名	丰度/(cells · m ⁻³)	占总丰度的比例/%	站位出现率/%
薛氏束毛藻	28 759(729 ~ 279 576)	41.4(0.3 ~ 96.4)	60.2
汉氏束毛藻	13 429(1 068 ~ 71 536)	28.9(0.10 ~ 98.05)	52.3
红海束毛藻	3 000(2 771 ~ 3 229)	7.7(6.1 ~ 9.3)	2.3

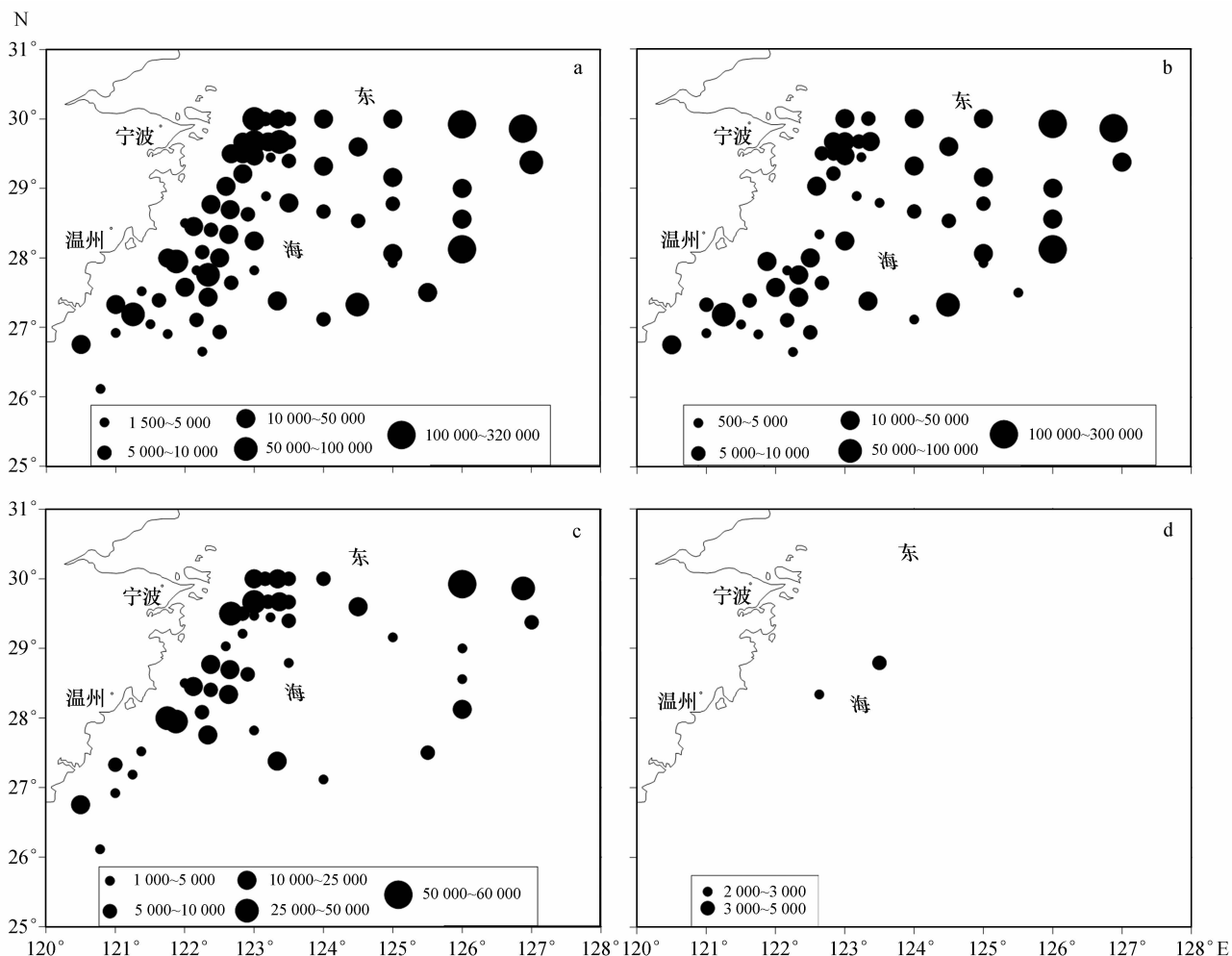


图 3 东海冬季束毛藻分布

Fig. 3 Distribution of *Trichodesmium* of the East China Sea in winter

a、b、c、d 分别代表束毛藻(总)、薛氏束毛藻、汉氏束毛藻和红海束毛藻分布;图中数值单位为个/m³

2.3 夏冬两季束毛藻对叶绿素 *a* 的贡献

统计表明:夏季调查区域叶绿素 *a* 含量变化范围在 $0.001\ 0 \sim 1.536\ 0\ \text{mg}/\text{m}^3$,均值为 $0.123\ 0\ \text{mg}/\text{m}^3$,束毛藻对调查海域叶绿素 *a* 的平均贡献达到 24.7% ,对叶绿素 *a* 最大贡献率出现在 E4 站位,达 83.4% ;冬季调查区域叶绿素 *a* 含量变化范

围在 $0.0003 \sim 0.0620\ \text{mg}/\text{m}^3$,均值为 $0.0060\ \text{mg}/\text{m}^3$,束毛藻对束毛藻对调查海域叶绿素 *a* 的平均贡献达到 1.0% ,对叶绿素 *a* 最大贡献率出现在 A8 站位,达 11.5% ,夏季束毛藻对叶绿素的贡献明显高于冬季(表 3、图 4)。

表 3 东海夏冬束毛藻对叶绿素 *a* 的贡献

Tab. 3 Contribution of *Trichodesmium* of the East China Sea to chl *a* content in summer and winter

季节	chl <i>a</i> 含量/ $(\text{mg} \cdot \text{m}^{-3})$	对 chl <i>a</i> 的贡献/%
夏季	$0.123\ 0(0.001\ 0 \sim 1.536\ 0)$	$24.7(0.1 \sim 83.4)$
冬季	$0.006\ 0(0.000\ 3 \sim 0.062\ 0)$	$1.0(0.1 \sim 11.5)$

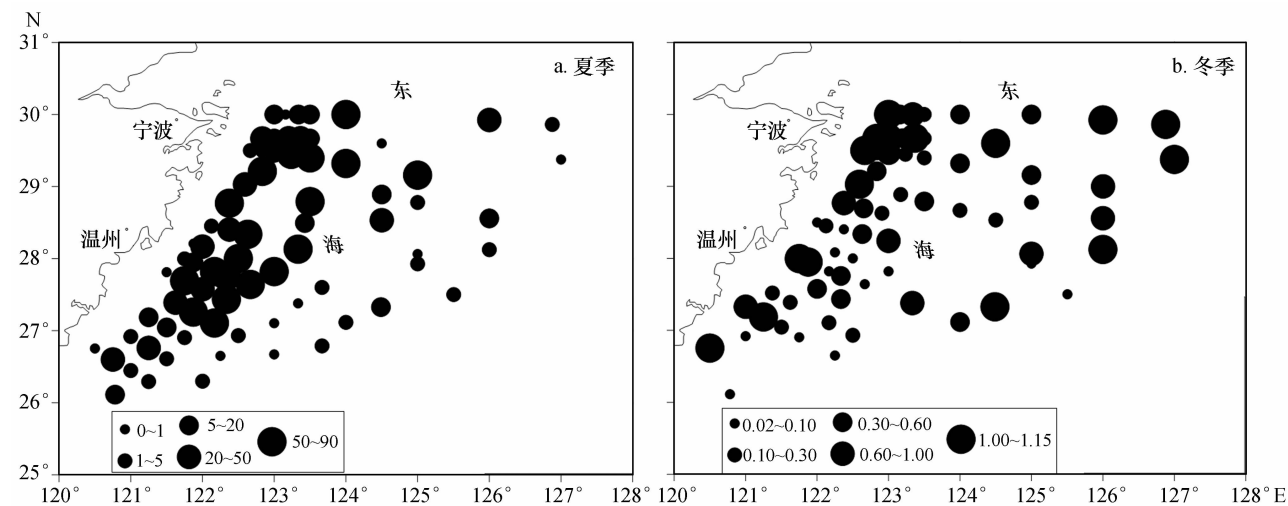


图 4 东海夏冬季节束毛藻对叶绿素 *a* 的贡献

Fig. 4 Contribution of *Trichodesmium* of the East China Sea to chl *a* in summer and winter

图中数值为贡献率/%

2.4 讨论

2.4.1 束毛藻的时空分布 夏季束毛藻丰度和生物量要明显高于冬季,可能与东海海域温度的季节变化有关,夏季束毛藻出现率较冬季高,水平分布都呈现近海和黑潮流经海域高的态势,束毛藻对叶绿素 *a* 的贡献冬季要远低于夏季,都与以往东海区束毛藻调查结果类似。

与以往调查资料比较,此次束毛藻丰度要高于以往调查结果^[6],主要原因是整个东海水温上升和营养物质丰富。

2.4.2 束毛藻分布与典型环境因子的关系 束毛藻分布与典型环境因子如营养物质、痕量金属等含量有着较密切的关系。研究表明,束毛藻对痕量重金属的生物地球化学过程有特殊的调控作用,在束毛藻赤潮期间,束毛藻对锌、镉和镍有释放作用,而

对铅、铜和钴有吸收作用^[5]。此次调查表明,束毛藻丰度 (Y) 与镉浓度 (X_1) 线性关系方程为 $Y = -2 \times 10^6 X_1 + 95\ 399 (R^2 = 0.153\ 5)$,束毛藻丰度 (Y) 与铜浓度 (X_2) 线性关系方程为 $Y = -101\ 840 X_2 + 137\ 685 (R^2 = 0.224\ 4)$,线性关系表明束毛藻对重金属分布并无明显影响,可能是由于束毛藻丰度不高,还不足以明显影响到重金属的分布,但是在冬季东海外海束毛藻丰度高的站位,铜和镉的含量都较低。当 N/P 为 16 时,营养物质对束毛藻的生长有最大的促进作用^[7]。从此次调查来看,夏冬季节整个东海海域 N/P 均值约为 10(表 4)。N/P 分布趋势和束毛藻分布趋势有较好的一致性(图 5)。近海营养物质丰富,营养结构合理,这也侧面说明了夏冬两季近海束毛藻丰度要高的主要原因。

表 4 东海夏冬季节 N/P 统计

Tab.4 Ratio of N/P of the East China Sea in summer and winter

层次	夏季均值	冬季均值
表层	10.66(0.74 ~ 41.30)	9.70(1.31 ~ 25.20)
10 m 层	11.05(1.58 ~ 35.94)	10.36(5.02 ~ 26.20)
底层	7.98(2.57 ~ 40.69)	9.06(4.80 ~ 18.24)

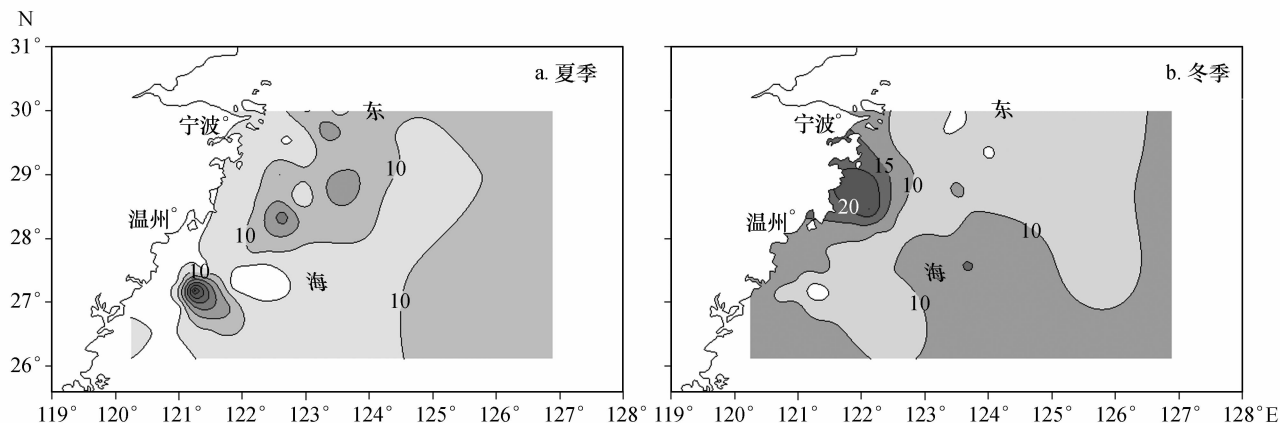


图 5 东海夏冬季节表层水体 N/P

Fig.5 Ratio of N/P in the surface water of the East China Sea in summer and winter

3 结论

(1) 东海束毛藻主要由薛氏束毛藻、汉氏束毛藻和红海束毛藻组成,其中薛氏束毛藻占主要优势,其次是汉氏束毛藻和红海束毛藻。

(2) 温度和营养物质是影响东海束毛藻分布的主要环境因子,营养结构对于束毛藻的生长有很重

要的作用,当 N/P 维持在 10 ~ 20 内时,束毛藻生长较好。

(3) 束毛藻在未发生赤潮的状况下对水体痕量重金属含量影响不大,但是在东海外部海域束毛藻丰度较高的站位,铜和镉的含量均较低。

参考文献:

[1] 张燕英,董俊德,王汉奎,等. 海洋蓝藻束毛藻的研究进展[J]. 海洋科学,2007,31(3):84-88.

[2] DUGDALE R C, MENZEL D W, RYTHER J H. Nitrogen fixation in Sargasso Sea[J]. Deep-Sea Research, 1961, 7:298-300.

[3] LUGOMELA C, LYIMO T J, BRYCESON I, et al. *Trichodesmium* in coastal waters of Tanzania: diversity, seasonality, nitrogen and carbon fixation[J]. Hydrobiologia,2002,477: 1-13.

[4] GLIBERT P M, O'NEIL J M. Dissolved organic nitrogen release and amino acid oxidase activity by *Trichodesmium* spp. [J]. Bull Inst Oceanogr(Monaco), 1999, 19:265-272.

[5] KRISHNAN A A, KRISHNAKUMAR P K, RAJAGOPALAN M. *Trichodesmium erythraeum* (Ehrenberg) bloom along the southwest coast of India (Arabian Sea) and its impact on trace metal concentrations in seawater[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2007, 71:641-646.

[6] 杨清良. 南黄海和东海陆架区束毛藻(*Trichodesmium*)的分布特征[J]. 海洋学报,1998,20(5):93-100.

[7] 李涛,刘胜,黄良民,等. 大亚湾红海束毛藻赤潮生消过程研究[J]. 海洋环境科学,2008,27(3):224-227.

[8] 国家海洋局. 海洋监测规范:GB 17378—2007[S]. 北京:中国标准出版社,2007.

[9] CARPENTER E J, PRICE C C. Nitrogen fixation, distribution, and production of *Oscillatoria* (*Trichodesmium*) in the north-western Atlantic Ocean and Caribbean Sea[J]. Limnology and Oceanography, 1977, 22:60-72.

[10] CARPENTER E J, SUBRAMANIAM A, CAPONE D G. Biomass and primary productivity of the cyanobacterium *Trichodesmium* spp. in the tropical N Atlantic ocean[J]. Deep-Sea Research I, 2004,51:173-203.

Distribution characteristics of *Trichodesmium* in the East China Sea

ZHANG Hao-fei^{1,2}, QIN Yu-tao^{1,2}, DENG Bang-ping^{1,2}, CHENG Xiang-sheng^{1,2}, JIANG Xiao-shan^{1,2}

(1. East China Sea Environmental Monitoring Center, SOA, Shanghai 201206, China; 2. Key Laboratory of Integrated Monitoring and Applied Technology for Marine Harmful Algal Blooms, SOA, Shanghai 201206, China)

Abstract: According to two surveys conducted in August 2006 and January 2007, a total of 182 phytoplankton samples were obtained at 91 survey sites across 15 sections. Phytoplankton samples were identified and analyzed based on morphological classification methods. It was discovered that the *Trichodesmium* in East China Sea consisted of *Trichodesmium thiebautii*, *T. erythraeum* and *T. hildebrandii*, among which *T. thiebautii* was the dominant species. In summer and winter, the distribution patterns of *Trichodesmium* spp. were quite similar and the densities were high in the offshore waters and in the Kuroshio waters compared with other areas. Temperature and nutrients were important controlling factors for the distribution.

Key words: marine biology; *Trichodesmium*; distribution characteristics; East China Sea

DOI: 10.3969/J. ISSN.2095-4972.2019.02.012

(责任编辑:肖 静)