

春季东海产卵场及其邻近海域的 束毛藻与网采浮游植物群落

丁昌玲¹ 孙军^{1*} 汪岷²

(中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

(²中国海洋大学 海洋生命学院, 青岛 266003)

摘要 对2007年5月东海产卵场及其邻近海域32个采样站位的蓝藻及其网样浮游植物群落进行了初步研究,共发现浮游植物3门33属90种(不包括未定名物种),物种以硅藻为主,甲藻在群落中也较显著,由于气象和水文因素的影响,蓝藻在个别站位成为优势群体。优势种为中肋骨条藻 *Skeletonema costatum*、琼氏圆筛藻 *Coscinodiscus jonesianus*、辐射圆筛藻 *Coscinodiscus radiatus*、三角角藻 *Ceratium tripos*、铁氏束毛藻 *Trichodesmium thiebautii*、夜光藻 *Noctiluca scientillans* 和布氏双尾藻 *Ditylum brightwellii*。细胞丰度以硅藻为优势,其平面分布主要由硅藻和甲藻所刻画,浮游植物高值区在调查区西北部海域,硅藻高值区与浮游植物的高值区相一致,甲藻高值区主要在调查区中部偏北海域和东部外海海域。浮游植物的 Margalef 物种丰富度在调查区东部和南部较高,Shannon-Wiener 多样性指数和均匀度指数在调查区中部和东部较高。

关键词 浮游植物 铁氏束毛藻 群落结构 东海 产卵场

中图分类号 Q 178.1;S932.7 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2009)04-0050-07

The *Trichodesmium* and Netz-phytoplankton community of the spawning ground in the East China Sea and its adjacent waters in spring

DING Chang-ling¹ SUN Jun^{1*} WANG Min²

(Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071)

(² College of Marine Life Sciences, Ocean University of China, Qingdao 266003)

ABSTRACT Phytoplankton community structure were studied based on the data of netz-phytoplankton by a 32 station grid survey, which was carried out in the spawning ground of the East China Sea and its adjacent waters from 4th to 18th May 2000. Three phyla including 33 genera and 90 species (not including unidentified taxa) were found in the survey area. The major phytoplankton group was Bacillariophyta, but the Dinophyta and Cyanophyta are also significant at some stations. The dominant species were *Skeletonema costatum*, *Coscinodiscus jonesianus*, *Coscinodiscus radiatus*, *Ceratium tripos*, *Trichodesmium thiebautii*, *Noctiluca scientil-*

国家重点基础研究发展规划项目(2006CB400605)、国家自然科学基金项目(40676089)和国家高新技术研究发展计划专题项目(2006AA09Z179)共同资助

* 通讯作者。E-mail: phytoplankton@163.com, Tel: (0532)82898647

收稿日期:2008-09-19;接受日期:2008-11-20

作者简介:丁昌玲(1983-),女,硕士研究生,主要从事海洋浮游植物生态学研究。E-mail: phytoplankton@163.com, Tel: 15964201173

lans and *Ditylum brightwellii*. The horizontal patterns of phytoplankton cell abundance were mainly dominated by diatoms and dinoflagellates. Abundance of diatom and total phytoplankton was high in the northwestern part of the surveyed area, and abundance of dinoflagellates was high in the central and northern part of the surveyed area. The species richness was high in the eastern and southern spawning ground, and the Shannon-Wiener index and the evenness of phytoplankton were relatively high in the central and eastern spawning ground.

KEY WORDS Phytoplankton *Trichodesmium thiebautii* Community structure
East China Sea Spawning ground

海洋浮游植物是海洋中重要的初级生产者,对海洋渔业生产量和全球的气候变化产生重要影响。同时浮游植物和海洋环境之间有密切的关系,海洋浮游植物群落的物种组成、分布和变化反应了海洋环境的特征和变化(王宪等 1992; 孙军等 1999; 王俊 2003; 陈碧鹃等 2003; 柳丽华等 2007)。

东海是中国重要的陆架海区,具有很高的渔业生产力价值,孕育着许多重要的经济资源种类。我国学者从 20 世纪 50 年代就开始了对该海区浮游植物生物量和初级生产力的研究,特别是 20 世纪 80 年代以来,已基本了解了该海域浮游植物总生物量和初级生产力的分布特征及其控制因子(矫晓阳等 1993; 宁修仁等 1995)。本研究基于 2007 年春季“973-II 我国近海生态系统食物产出的关键过程及其可持续机理”项目中所获浮游植物资料,对东海浙闽沿岸产卵场浮游植物群落进行了分析,为更好地了解东海产卵场浮游植物群落的变化及其对生态系统的影响提供基础资料,并对了解东海赤潮成因及其防治具有重要意义。

1 材料与方 法

于 2007 年 5 月 4 日至 2007 年 5 月 18 日在东海浙闽近岸进行综合调查,按照《海洋调查规范》(国家技术监督局 1992),采用小型浮游生物网(网口直径为 37cm,网口面积 0.1m,网身长 270cm,网目 76 μ m)采取实验样品,样品用 2% 甲醛固定和保存。实验室内浮游植物样品经浓缩,取 0.25ml 亚样品在本实验室的 Palmer-Maloney 型计数框中,于 Nikon YS100 研究显微镜下进行浮游植物物种鉴定和细胞计数,样品分析方法见参考文献(孙军 2005)。

1.1 采样和站位

本次调查区域包括从长江口至瓯江口以南,水深 50~75 m 以西的区域,共 32 个采样站位(如图 1)。考察船为“北斗号”科学考察船。

1.2 多样性指数

物种多样性指数的计算采用香农-威纳指数 Shannon-Wiener (H')(Shannon 1949),其计算公式为:

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \log_2 P_i$$

物种丰富度 Margalef 指数 (d_{Me})(Margalef 1958),其计算公式为:

$$d_{Me} = \frac{(S-1)}{\ln N}$$

物种均匀度指数 (J) 采用 Pielou(Pielou 1969) 的计

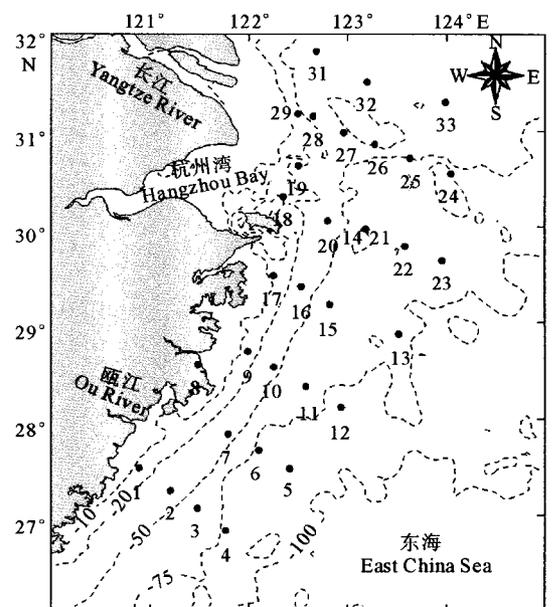


图 1 浮游植物调查站位

Fig. 1 Sampling stations for phytoplankton

算公式:

$$J = \frac{H'}{\log_2 S}$$

优势度(Y)计算公式为:

$$Y = \frac{n_i}{N} \cdot f_i$$

式中, N 为采集样品中所有物种的总个体数, S 为样品中的物种总数, P 为第 i 种的个体数与样品中的总个数的比值; 式中, n_i 为第 i 种的总个体数; f_i 为该种在各样品中出现的频率, 具体内容参见孙 军等(2005)。

2 结果和讨论

2.1 调查区浮游植物组成

本次调查发现浮游植物 3 门 33 属 90 种(不包括未定名物种), 其中硅藻 26 属 62 种(不包括未定名物种), 甲藻 6 属 27 种, 蓝藻 1 属两种。硅藻在物种丰富度和细胞丰度上都占有优势, 但甲藻在群落中也较显著。硅藻占物种丰富度的 27.3%~100%, 平均为 64.6%, 占细胞丰度的 3.9%~100%, 平均为 70.2%; 甲藻占物种丰富度的 0~72.7%, 平均为 29.6%, 占细胞丰度的 0.5%~66.7%, 平均为 20.7%; 蓝藻占物种丰富度的 0~14.3%, 平均为 4.5%, 占细胞丰度的 0.4%~51.7%, 平均为 9.1%。调查区浮游植物的生态类型多为广温性物种, 部分为暖海性物种或大洋性物种。

调查区的优势种见表 1。由表 1 可知优势种多为硅藻, 它们是: 中肋骨条藻 *Skeletonema costatum*、琼氏圆筛藻 *Coscinodiscus jonesianus*、辐射圆筛藻 *Coscinodiscus radiatus* 和布氏双尾藻 *Ditylum brightwellii*。中肋骨条藻是广温广盐性物种, 其优势度最高; 琼氏圆筛藻和辐射圆筛藻属于假性浮游物种 *Tychopelagic species*, 其个体较大, 细胞丰度较高, 对海洋生态系统的物质循环和能量流动具有重要的影响(孙 军等 2004a, b, c)。另外, 甲藻也可以形成优势种, 如三角角藻 *Ceratium tripos* 和夜光藻 *Noctiluca scientillans*。三角角藻是暖海大洋性的外源性物种, 它的出现频率和优势度都比较高, 对浮游植物群落结构具有重要的影响。蓝藻门中铁氏束毛藻 *Trichodesmium thiebautii* 也是优势种, 其分布可能受台湾暖流和黑潮等各种水系的影响。铁氏束毛藻也属于暖海大洋性的外源性物种, 在太平洋和大西洋暖海水域常常形成优势种, 在黄海和东海通常被认为是黑潮流系的指示种(Nagasawa *et al.* 1967; Marumo *et al.* 1974a, b)。同时, 中肋骨条藻、铁氏束毛藻、夜光藻和布氏双尾藻都是重要的赤潮种, 这些赤潮种成为优势种, 表明此海域具备发生赤潮的生物因素。

表 1 东海近岸产卵场浮游植物优势种

Table 1 Dominant species of phytoplankton in fish spawning ground in East China Sea

物种 Taxa	占细胞总量的百分比 Contribution to total abundance	出现频度 Frequency	优势度 Dominance
中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i> (Greville) Cleve	34.38	97.13	0.333 9
琼氏圆筛藻 <i>Coscinodiscus jonesianus</i> (Greville) Ostensfeld	87.5	0.80	0.007 0
辐射圆筛藻 <i>Coscinodiscus radiatus</i> Ehrenberg	71.88	0.14	0.001 0
三角角藻 <i>Ceratium tripos</i> (Müller) Nitzsch	62.5	0.14	0.000 9
铁氏束毛藻 <i>Trichodesmium thiebautii</i> Gomont	59.38	0.10	0.000 6
夜光藻 <i>Noctiluca scientillans</i> Surirey	43.75	0.12	0.000 5
布氏双尾藻 <i>Ditylum brightwellii</i> (West) Grunow	18.75	0.25	0.000 5

2.2 浮游植物丰度

调查区浮游植物细胞丰度介于 $(0.39 \times 10^4) \sim (9\ 474.20 \times 10^4)$ 个/ m^3 , 平均值为 305.90×10^4 个/ m^3 , 其平

面分布如图 2。浮游植物细胞丰度的高值区在调查区北部偏西的海域,其次是调查区的西南部近岸海域和调查区的东部外海海域,调查区中部偏南海域和东北部海域浮游植物细胞丰度则很低。调查区硅藻细胞丰度介于 $(0.13 \times 10^4) \sim (9\,474.03 \times 10^4)$ 个/ m^3 ,平均值为 304.35×10^4 个/ m^3 ,分布相对集中,高值区在长江口和瓯江口外海海域(图 2)。硅藻在整个调查区域的浮游植物群落中所占的比重大,细胞丰度上占绝对优势。调查区甲藻细胞丰度介于 $0.06 \sim 6.61 \times 10^4$ 个/ m^3 ,平均值为 1.43×10^4 个/ m^3 ,分布范围比较广泛,高值区在舟山群岛东部海域。甲藻在整个浮游植物群落中所占的比重较小,但其分布影响了整个浮游植物群落的结构。调查区硅藻和甲藻的平面分布基本上呈现交叉形式,浮游植物群落的变化主要由硅藻和甲藻所决定。通过对调查区历史网采样品资料(表 2)的对比发现,春季调查区网采浮游植物丰度变异范围很宽,近年来其细胞丰度主要由优势物种中肋骨条藻所决定,其高值区多分布在长江口附近。

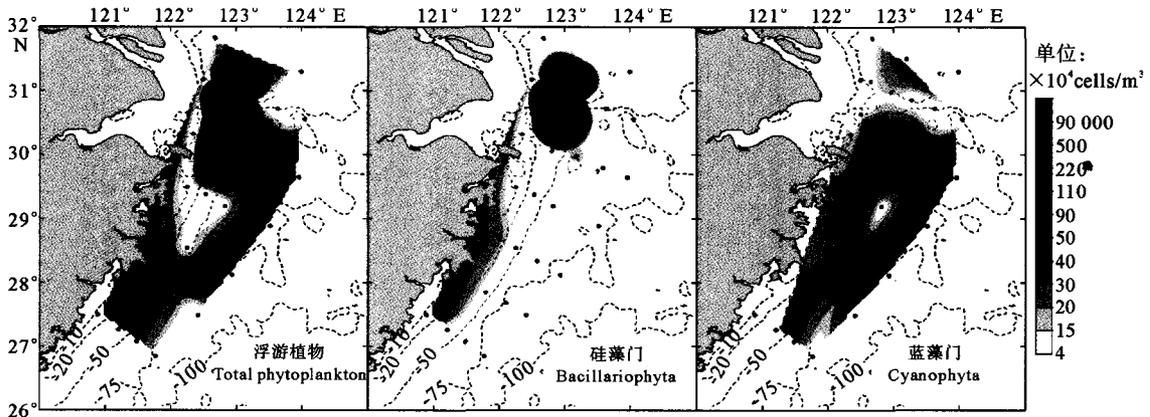


图 2 浮游植物丰度平面分布

Fig. 2 Horizontal distribution of phytoplankton cell abundance

表 2 调查区邻近海域浮游植物细胞丰度同期历史资料比较

Table 2 Comparison of historical data (net samples) of phytoplankton cell abundance in the survey area and in its adjacent waters

采样时间 Sampling date	物种数 Species richness	平均丰度 Abundance ($\times 10^4$ cells/ m^3)	优势物种 Dominate species	调查区域 Region	参考文献 Reference
2007-05	90	305.9	中肋骨条藻 <i>S. costatum</i>	120.86~124.04°E, 27.26~31.82°N	本研究
2001-05	63	153.0	中肋骨条藻 <i>S. costatum</i>	121~123.5°E, 30.5~32.5°N	吴玉霖等 2004
2000-05~2001-05 2002-05~2003-05	92	2 225.4	中肋骨条藻 <i>S. costatum</i>	121~123°E, 30~32°N	王云龙等 2005
1998-03-05		1.7	洛氏角毛藻、夜光藻 <i>Chaetoceros lorenzianus</i> , <i>Noctiluca scintillans</i>	123.5~125°E, 25.5~33°N	罗民波等 2007
1990-05	169	26.8	琼氏圆筛藻、菱形角藻 <i>Coscinodiscus jonesianus</i> , <i>Ceratium fusus</i>	121.5~122.8°E, 29.5~30.67°N	朱根海等 2000

目前海洋生态系统动力学的研究已经将海洋生态系统的键种和食物网作为重要的研究内容(孙 军等 2005),此次调查中东海产卵场 5 月份浮游植物优势种的分布比例如图 3,这为今后此海域浮游植物键种研究提供基础资料。由图 3-a 可以看出,在调查区西部沿岸水域,硅藻的优势度比较高,在调查区东部外海海域,蓝藻的优势度比较高,甲藻只在个别区域有较高的优势度。

调查结果显示,中肋骨条藻细胞丰度介于 $(0.10 \sim 9\,470.71) \times 10^4$ 个/ m^3 ,平均值为 864.30×10^4 个/ m^3 ,其优势比例平面分布比例如图 3-b,其分布非常集中,主要在长江口水域。有研究表明,中肋骨条藻适合在低盐度、高浊度和高硝酸盐浓度的河口水域生长,常常在长江口附近形成优势物种(栾青杉等 2007),此区域在长

江口外海海域,受到长江冲淡水 and 台湾暖流的影响,形成了重要的羽状锋及辐聚带,使得该区域具有适宜中肋骨条藻生长的环境条件,甚至使中肋骨条藻达到了接近发生赤潮的丰度。琼氏圆筛藻细胞丰度介于 $(0.02 \sim 33.84) \times 10^4$ 个/ m^3 ,平均值为 2.80×10^4 个/ m^3 ,集中分布在浙闽近岸附近(图3-b)。铁氏束毛藻藻丝体丰度介于 $(0.03 \sim 2.14) \times 10^4$ 个/ m^3 ,平均值为 0.50×10^4 个/ m^3 ,多分布在调查区东部外海区域(图3-b)。与中肋骨条藻和琼氏圆筛藻的优势度相比,铁氏束毛藻的优势度比例在整个调查区域普遍比较高。

2.3 蓝藻丰度

海洋蓝藻是浮游植物一个很重要的类群,一些海洋蓝藻如束毛藻 *Trichodesmium* 具有很强的固氮作用,是大洋中重要的固氮生物(Dugdale *et al.* 1961),在寡营养盐海域,束毛藻是新生氮的主要贡献者(Capone *et al.* 1999)。中国海区常见的海洋蓝藻主要是束毛藻,本调查区域中发现的蓝藻主要是铁氏束毛藻和红海束毛藻,其中铁氏束毛藻为占绝对优势的蓝藻物种。东海产卵场受浙闽沿岸流、长江冲淡水、黄海暖流、黄海混合水、台湾暖流和黑潮等各种水系的影响,水文条件比较复杂,由于束毛藻常分布在水深0~50 m左右的水层,所以束毛藻的分布极易受到气象和这些水文因素的影响(杨清良 1998; Chang *et al.* 2000)。本调查中通过水柱积分得到,铁氏束毛藻的细胞丰度介于 $(168.81 \sim 6\,518.74) \times 10^4$ cell/ m^2 ,平均值为 $2\,244.76 \times 10^4$ cell/ m^2 ,其平面分布如图4,主要分布在调查区

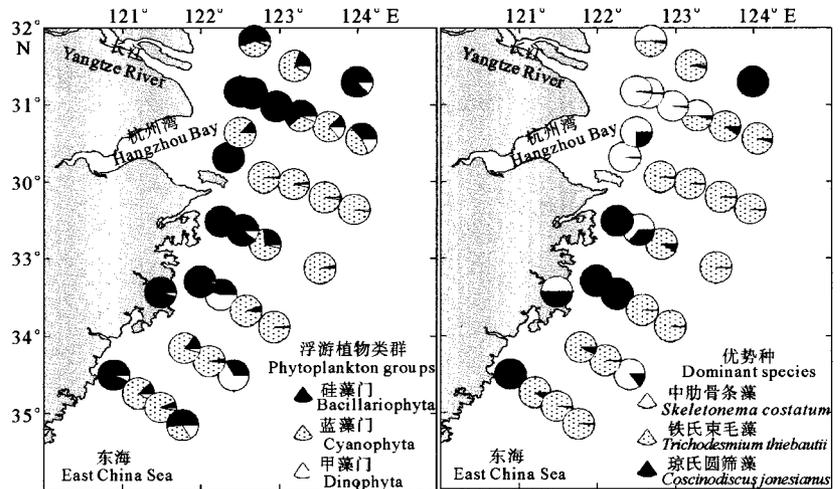


图3 浮游植物类群和优势物种的比例分布

Fig. 3 Horizontal distribution of phytoplankton groups and dominant species ratio

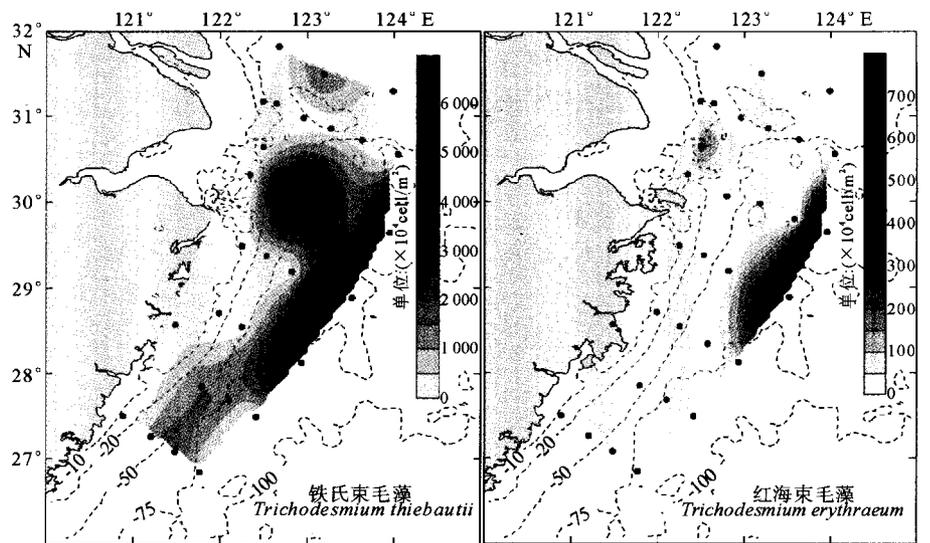


图4 蓝藻丰度的平面分布

Fig. 4 Horizontal distribution of cyanobacteria

20、21 和 22 站位附近和靠近外海的海域,高值区在调查区 21、12、13 和 23 站位附近海域;红海束毛藻的细胞丰度介于 $(86.40 \sim 807.46) \times 10^4$ cell/ m^2 ,平均值为 423.92×10^4 cell/ m^2 ,在调查区域比较少见,见于调查区域的长江口外海靠近舟山渔场附近和 13、23 站位附近的海域,高值区在调查区 13 和 23 站位附近海域(图4)。

2.4 浮游植物多样性分布

调查区浮游植物的多样性分布如图5所示,调查区的 Margalef 物种丰富度指数介于 0.24~3.13,平均值

为 1.13,在调查区东部和南部丰富度指数比较高,在调查区中西部近岸海域和中南部丰富度指数比较低。调查区浮游植物的 Shannon-Wiener 多样性指数介于 0.01~4.07,平均值为 2.46,在调查区的北部边缘、东部和南部多样性指数比较高,而在调查区西北部近岸海域和调查区的东南部多样性指数则很低。调查区浮游植物的物种均匀度指数介于 0.002~0.91,平均值为 0.69,在调查区的东部和中部海域均匀度指数较高,在调查区西北部和中南部海域均匀度指数较低。从图 5 可以看出,各多样性指数低值区与浮游植物高值区大体一致,互为镶嵌分布,这是由于高值区浮游植物群落形成优势种,这会降低多样性指数(孙 军等 2004d)。

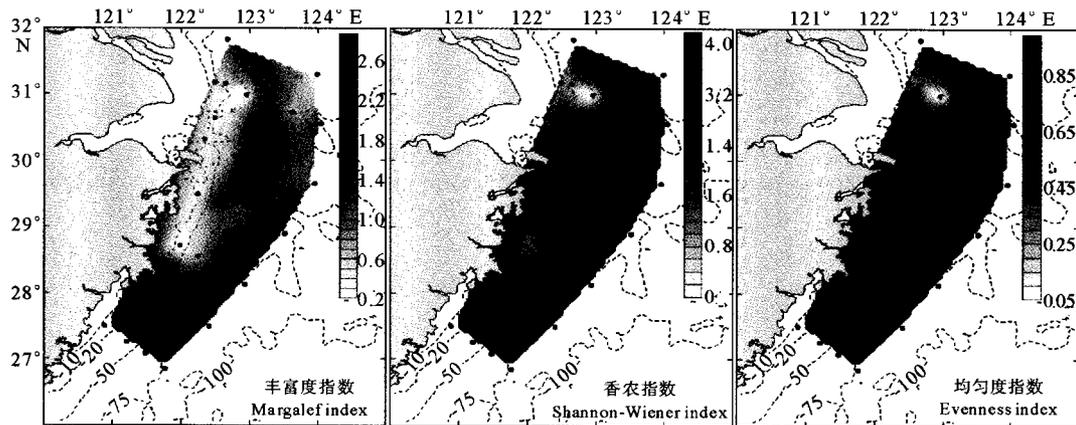


图 5 浮游植物群落多样性指数平面分布

Fig. 5 Horizontal distribution of phytoplankton community diversity indices

3 结论

通过对 2006 年 5 月份东海浙闽产卵场浮游植物群落特征的初步研究,作者发现了和以往相似的结果:网采浮游植物群落主要以硅藻为主,但是甲藻在群落中的比重也比较大,在一定程度上影响了浮游植物群落的分布模式,并在有些区域形成优势群体,浮游植物物种的生态类型主要为近海温带种,也有少数为暖水种和大洋种。同时作者也发现一些区域性和季节性的特征:调查区域的浮游植物优势种为中肋骨条藻、琼氏圆筛藻、辐射圆筛藻、三角角藻、铁氏束毛藻、夜光藻和布氏双尾藻,其中中肋骨条藻、三角角藻、夜光藻和铁氏束毛藻这些赤潮种的细胞丰度较高,这表明此海域具有发生赤潮的基础;调查区浮游植物群落物种丰富度、Shannon-Wiener 多样性指数和物种均匀度的高值区在调查区域的东南部,低值区在调查区域的西南部和西北部,整个调查区域的浮游植物的多样性水平较低。

值得注意的是固氮蓝藻在网采浮游植物群落中也占有相当的比重,而且形成了优势种群,这个和以往的调查有所区别,需要引起我们的重视。根据本次调查作者获取了东海浮游植物群落中的一些关键物种,比如仔鱼和幼鱼的饵料生物三角角藻,赤潮原因物种中肋骨条藻和夜光藻,固氮蓝藻铁氏束毛藻的基本分布信息,这对今后深入研究此区海洋生态系统的一些基本科学问题,如东海渔业资源的评估和赤潮研究具有一定的意义。

致谢:现场水样采集工作由姜 艳和安佰正完成,谨致谢忱。

参 考 文 献

- 王云龙,袁 骐,沈新强. 2005. 长江口及邻近水域春季浮游植物的生态特征. 中国水产科学, 12(3):300~306
- 王 俊. 2003. 黄海秋、冬季浮游植物的调查研究. 海洋水产研究, 24(1):16~23
- 王 亮,李文权. 1992. 闽南-台湾浅滩近岸上升流区浮游植物碳同化速率的研究. 生态学报, 12(3):219~224
- 宁修仁,史群贤,刘子琳. 1995. 渤、黄东海初级生产力和潜在渔业生产量的评估. 海洋学报, 17(3):72~84
- 孙 军,刘东艳,冯士筌. 2003. 近海生态系统动力学研究中浮游植物采样及分析策略. 海洋与湖沼, 34(2):140~148
- 孙 军,刘东艳,白 洁,高会旺,韩笑天. 2004a. 2001 年冬季渤海浮游植物群落结构特征. 中国海洋大学学报(自然科学版), 34(3):413~422
- 孙 军,刘东艳,徐 俊,陈凯虎. 2004b. 1999 年春季渤海中部及其邻近海域的网采浮游植物群落. 生态学报, 24(9):2 003~2 016

- 孙军, 刘东艳, 徐俊, 陈凯虎, 秦玉涛. 2004c. 1998年秋季渤海中部及其邻近海域的网采浮游植物群落. 生态学报, 24(8): 1643~1655
- 孙军, 刘东艳. 2004d. 多样性指数在海洋浮游植物研究中的应用. 海洋学报, 26(1): 62~75
- 孙军, 刘东艳. 2005. 2000年秋季渤海的网采浮游植物群落. 海洋学报(中文版), 27(3): 124~132
- 孙军, 刘东艳, 钱树本. 1999. 浮游植物生物量研究 I. 海洋学报, 21(2): 75~85
- 朱根海, 山本民次, 大谷修司, 松田治. 2000. 浙江舟山群岛邻近海域微、小型浮游植物与赤潮生物研究. 东海海洋, 18(1): 28~36
- 杨清良. 1998. 南黄海和东海陆架区束毛藻 *Trichodesmium* 的分布特征. 海洋学报, 20(5): 93~100
- 吴玉霖, 傅月娜, 张永山, 蒲新明, 周成旭. 2004. 长江口海域浮游植物分布及其与径流的关系. 海洋与湖沼, 35(3): 246~251
- 罗民波, 陆健健, 王云龙, 沈新强, 晁敏. 2007. 东海浮游植物数量分布与优势种. 生态学报, 27(12): 5076~5085
- 陈碧鹏, 李云平, 邢红艳, 陈聚法, 崔毅, 辛福言, 李秋芬. 2003. 鳌山湾浮游植物的生态特性. 海洋水产研究, 24(2): 18~24
- 国家技术监督局. 1992. 海洋调查规范: 海洋生物调查. 北京: 中国标准出版社, 17~20
- 柳丽华, 左涛, 陈瑞盛, 王俊. 2007. 2004年秋季长江口海域浮游植物的群落结构和多样性. 海洋水产研究, 28(3): 113~119
- 栾青杉, 孙军, 宋书群, 沈志良, 愈志明. 2007. 长江口夏季浮游植物群落与环境因子的典范对应分析. 植物生态学报, 31(3): 445~450
- 矫晓阳, 朱明远, 吴宝铃. 1993. 一些海洋浮游植物量子产值的研究. 生态学报, 13(1): 17~24
- Capone, D. G., and Carpenter, E. J. 1999. Nitrogen fixation by marine cyanobacteria: Historical and global perspectives. Bull. Inst. Oceanogr. Monaco, 9: 235~256
- Chang, J., Chiang, K. P., and Gong, G. C. 2000. Seasonal variation and cross-shelf distribution of the nitrogen-fixing cyanobacterium, *Trichodesmium*, in Southern East China Sea. Continental Shelf Research, 20: 479~492
- Dugdale, R. C., Menzel, D. W., and Ryther, J. H. 1961. Nitrogen fixation in Sargasso Sea. Deep-Sea Res. 7: 298~300
- Margalef, R. 1958. Information theory in ecology. Gen. Syst. 3(1): 36~71
- Marumo, R., and Aaoka, O. 1974a. Distribution of pelagic blue-green algae in the North Pacific Ocean. Oceanogr. Soc. Jap. 30: 77~85
- Marumo, R., and Asaoka, O. 1974b. *Trichodesmium* in the East China Sea. Distribution of *Trichodesmium thiebautii* Gomont during 1961~1967. Oceanogr. Soc. Jap. 30: 289~303
- Nagasawa, S., and Marumo, R. 1967. Taxonomy and distribution of *Trichodesmium* (Cyanophyceae) in the Kuroshio water. Information Bulletin on Planktology in Japan (in Japanese), 139~144
- Pielou, E. C. 1969. An introduction to mathematical ecology. New York: Wiley-Interscience, 1~286
- Shannon, C. E., and Weaver, W. 1949. The mathematical theory of communication. Urbana IL: University of Illinois Press, 1~125