

春季东海产卵场及其邻近海域的浮游植物群落

谭书杰^{1,2}, 官相忠¹, 孙 军², 倪晓波³, 宋书群², 何 青²

(1. 中国海洋大学 海洋生命学院, 山东 青岛 266003; 2. 中国科学院海洋研究所 海洋生态与环境科学重点实验室, 山东 青岛 266071; 3. 卫星海洋环境动力学国家重点实验室 国家海洋局第二海洋研究所, 浙江 杭州 310012)

摘要:根据 2007 年 5 月在东海产卵场及其邻近海域(26°50′~34°07′N, 120°50′~123°59′E)进行的多学科综合调查,研究了该海域浮游植物群落的结构特征。经 Utermöhl 方法分析,共发现浮游植物 4 门 55 属 144 种,其主要类群为硅藻和甲藻,优势物种为柔弱伪菱形藻(*Pseudo-nitzschia delicatissima*)、具齿原甲藻(*Prorocentrum dentatum*=东海原甲藻 *Prorocentrum donghaiense*)和中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)。浮游植物的细胞丰度介于 $0.1 \times 10^3 \sim 158.6 \times 10^3$ 个/L,平均值为 78.9×10^3 个/L;细胞丰度在表层较高,随水深增加而降低;表层的高值主要分布在长江口至南麂列岛的咸淡水交汇处以及象山外海域。调查区浮游植物群落的多样性总体水平较低,Shannon-Wiener 指数和 Pielou 指数均与细胞丰度呈镶嵌分布,细胞丰度较高的区域多样性水平较低。

关键词:浮游植物;群落结构;东海产卵场

中图分类号:Q948.1

文献标识码:A

文章编号:1000-3096(2009)08-0005-06

海洋浮游植物是海洋生态系统中最重要初级生产者,作为海洋食物网的基础环节,在海洋生态系统的物质循环和能量转化过程中起着重要作用。研究其群落结构是研究海洋生态环境问题的基础^[1],对解决海洋生态环境和海洋生物资源问题具有重要意义。

东海产卵场具有较高的渔业生产价值,是多种重要的经济鱼、虾、蟹类的繁殖生长场所。浮游植物是海洋初级生产力的基础,浮游动物通过捕食影响或控制初级生产力,同时其种群动态变化又可能影响许多鱼类和其他动物资源群体的生物量,因此浮游植物群落结构的变化和产卵场渔业资源的持续产量有着密切的联系。20 世纪 80 年代以来,已有许多关于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的研究^[2~4]。作者通过对 2007 年 5 月东海浙闽沿岸产卵场及邻近海域浮游植物分布的调查,采用 Utermöhl 方法^[5]分析该海域浮游植物群落物种组成、细胞丰度和群落分布特征,以期为研究浮游植物群落结构对东海产卵场生态系统的影响提供基础资料,并对了解东海赤潮成因及防治其对水产养殖带来的危害提供一定的借鉴意义。

1 材料与方法

1.1 浮游植物样品的采集、处理和分析方法

2007 年 5 月 4 日至 2007 年 5 月 18 日于东海产卵场及其邻近海域(26°50′~34°07′N, 120°50′~123°59′E),共 32 个站位(图 1)按照《海洋调查规范》^[6]进行了多学科综合调查。在每个观测站上,根据水深于各标准层(0、10、20、30、40、50 m 及海底以上 2 m)采集水样,取 250 mL 水样置于聚丙烯样品瓶中,并立即用最终浓度为 1% 的甲醛固定。温度、盐度等环境参数由 SeaBird 917plus CTD 现场测得。实验室内浮游植物样品的分析采用 Utermöhl 方法,取 25 mL 亚样品于 Hydro-Bios 的 Utermöhl 计数框内,静置沉降 24 h 后,用倒置显微镜在 $\times 200$ 或 $\times 400$ 倍下进行物种鉴定与细胞计数,细胞丰度的统计和误差处理参考孙军等^[5]。

收稿日期:2008-12-14;修回日期:2009-02-10

基金项目: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);国家高技术研究发展计划专题项目(2006AA09Z179)

作者简介:谭书杰(1981-),男,山东青岛人,硕士研究生,研究方向为海洋浮游植物生态学;孙军,通信作者,电话:0532-82898647, E-mail: phytoplankton@163.com

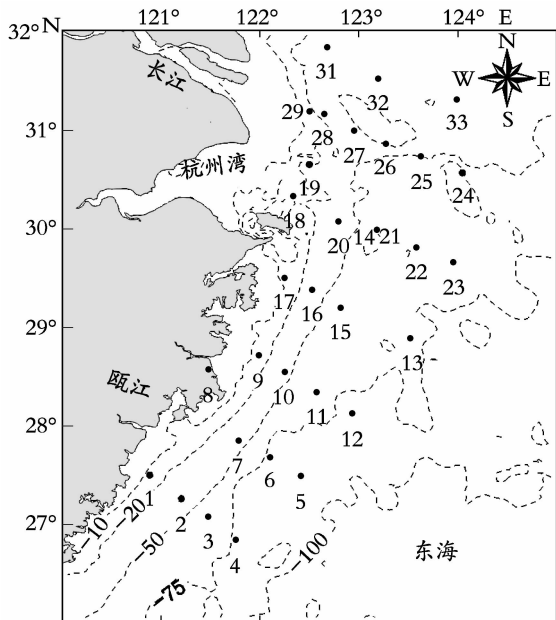


图1 东海产卵场及其邻近海域调查站位

Fig.1 Sampling stations in the spawning ground of the East China Sea and its adjacent waters

1.2 浮游植物群落结构参数的计算方法

优势度(Y)的计算公式如下:

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

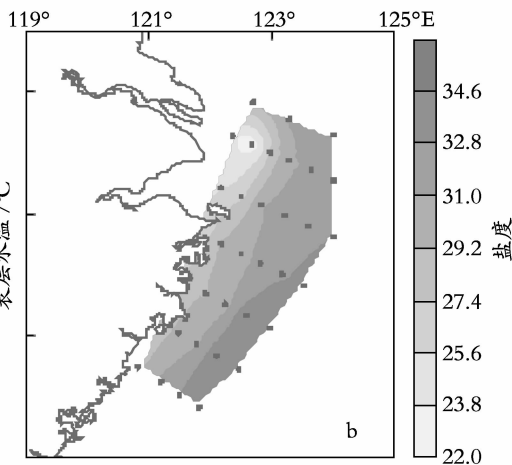
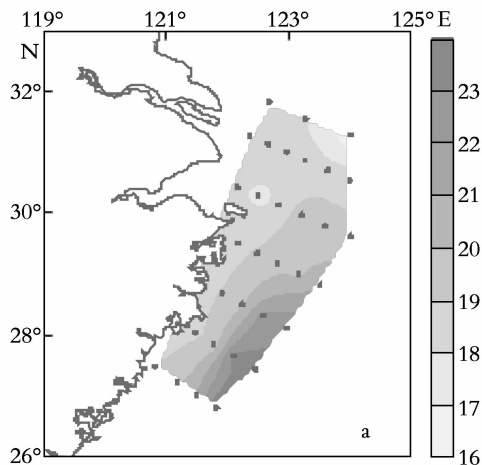


图2 东海产卵场及其邻近海域表层温度(a)、盐度(b)的平面分布

Fig.2 Distributions of surface temperature(a) and salinity(b) in the spawning ground of the East China Sea and its adjacent waters

2.2 浮游植物的物种组成

分析所获 134 个浮游植物样品,共发现浮游植物 4 门 55 属 144 种(不包括未定名物种);其中硅藻 35 属 62 种(不包括未定名物种),占物种总数的 43.1%;甲藻 16 属 78 种,占物种总数的 54.2%;金藻 3 属 3 种,蓝藻 1 属 1 种,以及未定类的三裂醉藻(*Ebria tripartite*)。甲藻和硅藻是调查水域主要的浮游植物类群,物种的生态类型以广温、广布型为主,其次

其中, n_i 为第*i*种的细胞丰度, N 为浮游植物的总细胞丰度, f_i 为第*i*种在各样品中出现的频率。

群落多样性的描述采用 Shannon-Wiener 指数(H'),其计算公式^[7, 8]为:

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

其中, $P_i = n_i/N$ 为样品中第*i*种所占的细胞丰度比率, S 为总种数。

群落均匀度的描述采用 Pielou 指数(J),其计算公式^[7, 9]为:

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

2 结果与讨论

2.1 海区环境因子特征

调查区表层温度、盐度的平面分布如图 2。春季调查区表层水温是 16.2~23.8°C,平均为 19.6°C,其地理分布特征主要取决于太阳辐射,总体呈南高北低分布的特征,与气温的分布基本一致^[10],近岸水域温度较低,随离岸距离的增加,温度逐渐上升,受黑潮暖流的影响,在调查区东南部的漩门湾外海域形成高值区。调查区表层盐度为 22.0~34.5,平均 30.7,其分布特征是东部的黑潮水海域最高,中部的陆架变性水海域次之,而西部近岸水海域最低。

为暖水型,少数为大洋型。

调查水域浮游植物的优势物种包括柔弱伪菱形藻(*Pseudo-nitzschia delicatissima*)、具齿原甲藻(*Prorocentrum dentatum* = 东海原甲藻 *Prorocentrum donghaiense*)和中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)(表 1),3 种藻细胞丰度的比例之和高达 82.7%,出现频数也较高,且都是东海常见的赤潮原因物种。调查期间 S3-4 站附近海域发生柔弱伪菱形藻赤潮,该藻的细胞丰度高达 $1\ 134.0 \times 10^3$ 个/L。

表 1 东海产卵场及其邻近海域小型浮游植物优势物种

Tab.1 Microphytoplankton dominant species in the spawning ground of the East China Sea and its adjacent waters

中文名	拉丁文名	门	丰度比例(%)	频数 f_i	优势度 Y
柔弱伪菱形藻*	<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i>	硅藻门	41.6	0.47	0.197 01
具齿原甲藻	<i>Prorocentrum dentatum</i>	甲藻门	23.8	0.65	0.154 69
中肋骨条藻	<i>Skeletonema costatum</i>	硅藻门	17.2	0.19	0.032 84
圆海链藻	<i>Thalassiosira rotula</i>	硅藻门	1.6	0.56	0.008 79
角海藻	<i>Thalassiosira decipiens</i>	硅藻门	12.3	0.05	0.006 54
具槽帕拉藻*	<i>Paralia sulcata</i>	硅藻门	1.0	0.38	0.003 72
闪光原甲藻	<i>Prorocentrum micans</i>	甲藻门	0.3	0.29	0.000 82
旋钩藻	<i>Gyrodinium spirale</i>	甲藻门	0.1	0.47	0.000 50
太平洋海链藻	<i>Thalassiosira pacifica</i>	硅藻门	0.2	0.22	0.000 43
纤细原甲藻	<i>Prorocentrum gracile</i>	甲藻门	0.2	0.19	0.000 36

注: * 种名更改参见孙军等^[11]

2.3 浮游植物的细胞丰度特征

调查海域浮游植物的细胞丰度介于 $0.1 \times 10^3 \sim 1\ 158.6 \times 10^3$ 个/L, 平均值为 78.9×10^3 个/L。硅藻在细胞丰度上占有绝对优势, 占浮游植物细胞丰度的 76.5%, 细胞丰度介于 $0.04 \times 10^3 \sim 1\ 150.0 \times 10^3$ 个/L, 平均值为 61.9×10^3 个/L; 其次是甲藻,

占浮游植物细胞丰度的 23.4%, 细胞丰度介于 $0.04 \times 10^3 \sim 806.78 \times 10^3$ 个/L, 平均值为 21.6×10^3 个/L。与历史资料相比, 本研究发现的物种数较多, 这可能与调查覆盖区域较大有关, 细胞丰度要远高于 2001 年同期的网采资料, 但较之同期 Utermöhl 方法所获资料要低(表 2)。

表 2 东海产卵场及其邻近海域浮游植物细胞丰度与历史资料的比较

Tab.2 Comparison of phytoplankton cell abundance with historical data in the spawning ground of the East China Sea and its adjacent waters

采样时间 (年-月)	分析方法	水层 (m)	物种数 (种)	平均丰度 ($\times 10^3$ 个/L)	采样区域	参考文献
2007-05	Utermöhl 方法	0~100	144	78.9	26°50'~34°00'N 120°50'~124°00'E	本文
2006-06	Utermöhl 方法	0~100	130	147	26°00'~34°00'N 121°00'~126°00'E	[12]
2002-04	网采和水样浓缩	0~100	110	2~75	30°50'~31°50'N 121°50'~123°00'E	[13]
2001-05	网采	0~100	63	2	30°00'~33°00'N 121°00'~123°00'E	[14]
1998-03~1998-05	网采	0~100	-	20.1	23°30'~33°00'N 118°30'~128°00'E	[15]

2.3.1 表层细胞丰度的平面分布

表层浮游植物在调查区中部形成一个自南至北带状的高细胞丰度分布区, 这与盐度范围为 30.1~30.8 的咸淡水交汇区域(图 2b)的分布基本一致, 推测盐度可能是决定浮游植物表层分布的关键环境因子, 而细胞丰度在近岸和外海均较低(图 3a), 这主要是因为近岸的悬浮体浓度较高, 遮光效应较强, 使光合作用减弱, 不适宜浮游植物的生长。表层浮游植物几乎全由硅藻和甲藻组成, 二者的细胞丰度之和占表层细胞丰度的 99.9%, 基本刻画了浮游植物总细胞丰度的平面分布。硅藻在细胞丰度上占绝对优势, 占表层细胞丰度的 86.5%, 其在调查区中部的长江口至台州湾的咸淡水交汇区形成 4 个密集区, 细胞丰度最大值出现在调查区东南部。甲藻的细胞丰

度低于硅藻, 仅占表层细胞丰度的 13.4%, 且分布不均, 只在调查区东北部的和西南部形成两个高值区(图 3c)。柔弱伪菱形藻细胞丰度介于 $0.04 \times 10^3 \sim 1\ 134.0 \times 10^3$ 个/L, 平均值为 172.3×10^3 个/L, 最大值出现在象山外海域的 S3-4 站, 且在舟山群岛和台州列岛附近海域也有高值分布, 表现出对温度、盐度和营养盐较强的适应性(图 3e)。具齿原甲藻细胞丰度介于 $0.04 \times 10^3 \sim 341.3 \times 10^3$ 个/L, 平均值为 24.2×10^3 个/L, 高值出现在漩门湾水域的 S5-2 站位, 此外在长江口外的偏东北方向也有一个密集区(图 3f)。中肋骨条藻细胞丰度介于 $0 \sim 314.0 \times 10^3$ 个/L, 平均值为 17.4×10^3 个/L, 最大值出现在 S3-4 站, 其分布区仅局限在长江口及其邻近水域(图 3d)。这三种优势种的细胞丰度之和占表层细胞丰度的 78.5%, 基本决定了调

查区表层浮植物的分布格局,其种群的波动对整个浮游植物群落结构的变化具有重要影响。

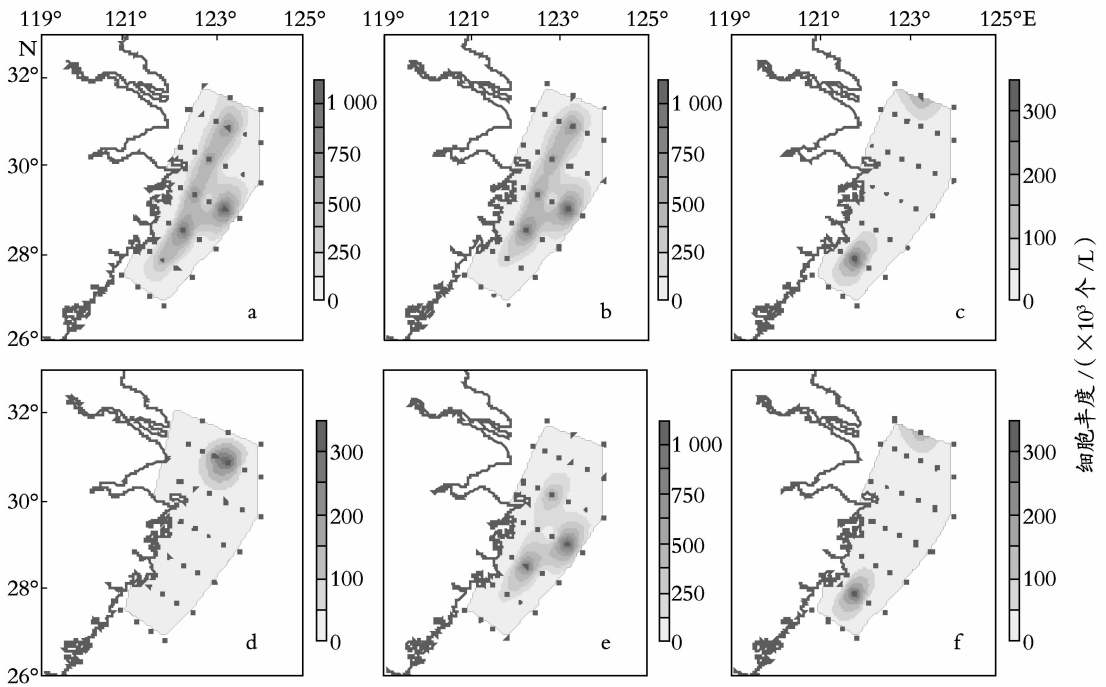


图3 东海产卵场及其邻近海域表层浮游植物细胞丰度的平面分布

Fig. 3 Horizontal distribution of cell abundance in the spawning ground of the East China Sea and its adjacent waters

a. 浮游植物; b. 硅藻; c. 甲藻; d. 中肋骨条藻; e. 柔弱伪菱形藻; f. 具齿原甲藻

a. Total phytoplankton; b. Diatom; c. Dinoflagellate; d. *Skeletonema costatum*; e. *Pseudo-nitzschia delicatissima*; f. *Prorocentrum dentatum*

2.3.2 细胞丰度的垂直分布

在表层出现最大值,随水层深度的增加而降低(图

从图4可以看出,在垂直方向上,硅藻细胞丰度

4b);而甲藻则是在次表层出现最大值(图4c),次表

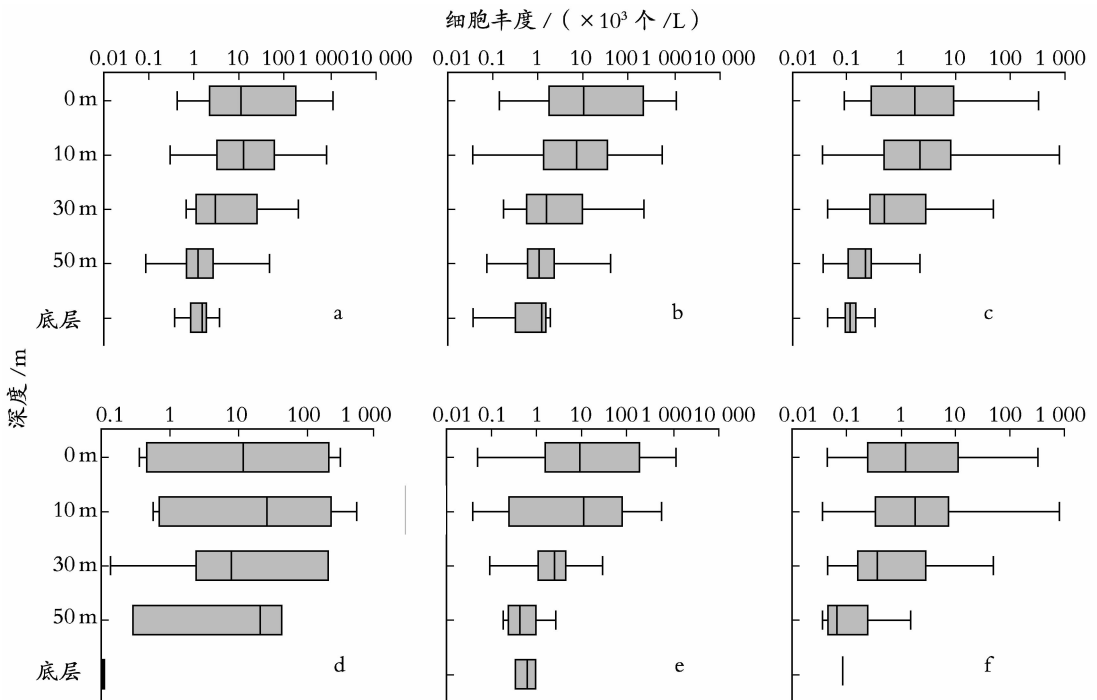


图4 东海产卵场及其邻近海域浮游植物细胞丰度的垂直分布

Fig. 4 Vertical distribution of cell abundance in the spawning ground of the East China Sea and its adjacent waters

a. 浮游植物; b. 硅藻; c. 甲藻; d. 中肋骨条藻; e. 柔弱伪菱形藻; f. 具齿原甲藻

a. Total phytoplankton; b. Diatom; c. Dinoflagellate; d. *Skeletonema costatum*; e. *Pseudo-nitzschia delicatissima*; f. *Prorocentrum dentatum*

层以下随水层深度的增加而降低;由于硅藻是浮游植物的最优势类群,因此其垂直分布决定了浮游植物细胞丰度的垂向特征(图 4a)。柔弱伪菱形藻和具齿原甲藻分别是硅藻和甲藻的最优势物种,细胞丰度比例分别为 54.3%和 94.3%,决定了其与硅藻和甲藻的基本一致的垂向分布情况。与柔弱伪菱形藻相比,具齿原甲藻在 30 m 以上水层细胞丰度的垂直变化较小,并在 10 m 层出现细胞丰度最大值。与具齿原甲藻垂直分布类似的是,中肋骨条藻的丰度最大值也出现在次表层,但其垂直分布相对不明显,表、中、底层均有较大的细胞丰度。

2.4 群落多样性

群落多样性是衡量群落稳定性的一个重要指

标,通常与两个参数密切相关,即物种丰富度和物种均匀度;作者采用 Shannon-Wiener 指数和 Pielou 指数对浮游植物的群落结构进行综合分析,前者多用于反映群落结构的复杂程度,而后者能较好地反映群落的均匀度^[7]。调查海域浮游植物群落的 Shannon-Wiener 指数介于 0.13~3.24,平均值为 1.62;Pielou 指数介于 0.05~0.98,平均值为 0.49。两种指数的平面分布基本一致,而与浮游植物的细胞丰度呈镶嵌分布;高细胞丰度的浮游植物群落的多样性较低,这与优势物种优势度高,群落均匀度较低有关。

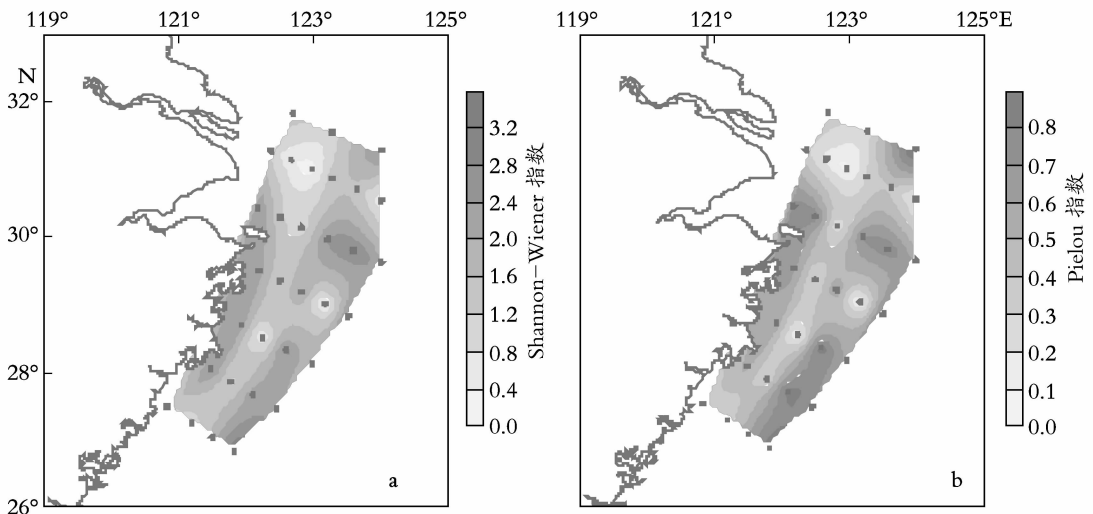


图 5 东海产卵场及其邻近海域浮游植物群落多样性指数的平面分布

Fig.5 Horizontal distributions of phytoplankton community diversity index in the spawning ground of the East China Sea and its adjacent waters

a. Shannon-Wiener 指数;b. Pielou 指数
a. Shannon-Wiener index; b. Pielou index

3 结论

2007 年 5 月东海产卵场及其邻近海域的浮游植物群落主要由硅藻和甲藻组成,甲藻的物种数量略高于硅藻,小型浮游植物的主要优势种为柔弱伪菱形藻、具齿原甲藻和中肋骨条藻,三者均为东海常见的赤潮种,本次调查在象山外海域发现柔弱伪菱形藻赤潮。调查区浮游植物细胞丰度的平均值为 78.9×10^3 个/L,硅藻在细胞丰度上占优势,决定了浮游植物细胞的分布趋势。细胞丰度在表层出现的最大值,随水层深度的增加而降低,表层细胞丰度平面分布的高值区位于调查区中部长江口至南麂列岛的咸淡水的咸淡水交汇处及东南部象山的外海域,Shannon-wiener 指数和 Pielou 指数分析发现调查海域浮游植物群落的多样性水平较低。

本研究为认识浮游植物群落对东海产卵场形成的影响提供了基础资料,对研究东海赤潮成因及防

治也有一定的意义;但要更深入地了解浮游植物群落动态,需要应用 Utermöhl 方法对浮游植物群落进行长期的分析和积累。

致谢:现场浮游植物样品的采集工作由姜艳和安佰正完成,谨致谢忱!

参考文献:

[1] 孙军,刘东艳,杨世民,等. 渤海中部和渤海海峡及邻近海域浮游植物群落结构的初步研究 [J]. 海洋与湖沼, 2002, **33**(5): 461-471.
[2] Ning X R, Liu Z L, Cai Y M, *et al.* Physicobiological oceanographic remote sensing of the East China Sea, satellite and in situ observation [J]. *J Geophy Res.* 1998, **103**(c10): 21 623-21 635.
[3] 刘子琳,宁修仁,蔡显明. 杭州湾舟山渔场秋季浮游植物现存量 and 初级生产力 [J]. 海洋学报, 2001, **23**(2): 93-99.
[4] 宁修仁,史群贤,刘子琳. 渤、黄东海初级生产力和潜

- 在渔业生产量的评估 [J]. 海洋学报, 1995, **17**(3): 72-84.
- [5] 孙军, 刘东艳, 钱树本. 一种海洋浮游植物定量研究方法——Utermöhl 方法的介绍及其改进 [J]. 黄渤海海洋, 2002, **20**(2): 105-112.
- [6] 国家技术监督局. 海洋调查规范: 海洋生物调查 [M]. 北京: 中国标准出版社, 1992, 17-20.
- [7] 孙军, 刘东艳. 多样性指数在海洋浮游植物研究中的应用[J]. 海洋学报, 2004, **26**(1): 62-75.
- [8] Shannon C E, Wiener W. The Mathematical Theory of Communication [M]. Urbana IL: University of Illinois Press, 1949.
- [9] Pielou E C. An Introduction to Mathematical Ecology [M]. New York: Wiley-Interscience, 1969.
- [10] 郭伟其, 沙伟, 沈红梅, 等. 东海沿岸海水表层温度的变化特征及变化趋势 [J]. 海洋学报, 2005, **27**(5): 1-8.
- [11] 孙军, 刘东艳. 中国海区常见浮游植物种名更改初步意见 [J]. 海洋与湖沼, 2002, **33**(3): 271-286.
- [12] 王丹, 孙军, 周锋, 等. 2006 年 6 月长江口低氧区及邻近水域浮游植物 [J]. 海洋与湖沼, 2008, **39**(6): 619-627.
- [13] 朱根海, 许卫忆, 朱德第, 等. 长江口赤潮高发区浮游植物与水动力环境因子的分布特征 [J]. 应用生态学报, 2003, **14**(7): 1 135-1 139.
- [14] 吴玉霖, 傅月娜, 张永山, 等. 长江口海域浮游植物分布及其与径流的关系 [J]. 海洋与湖沼, 2004, **35**(3): 246-251.
- [15] 罗民波, 陆健健, 王云龙, 等. 东海浮游植物数量分布与优势种 [J]. 生态学报, 2007, **27**(12): 5 076-5 085.

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

TAN Shu-ji^{1,2}, GONG Xiang-zhong¹, SUN Jun², NI Xiao-bo³, SONG Shu-qun², HE Qing²

(1. Marine Life Science College, Ocean University of China, Qingdao 266002, China; 2. Key Laboratory of Marine Ecology & Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 3. State Key Laboratory of Satellite Ocean Environment Dynamics, Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou 310012, China)

Received: Dec. , 14, 2008

Key words: phytoplankton; community structure; spawning ground of the East China Sea

Abstract: Water samples were collected from spawning grounds of the East China Sea and its adjacent waters in 4th-18th May, 2007, and the community structure of phytoplankton was analyzed by Utermöhl method. A total of 144 taxa which belong to 55 genera of 4 phyla were identified. The phytoplankton community was mainly composed of Bacillariophyta and Dinophyta. The dominant species were *Pseudo-nitzschia delicatissima*, *Prorocentrum dentatum* and *Skeletonema costatum*. The cell abundance of phytoplankton ranged from 0.1×10^3 cells/L to $1\ 158.6 \times 10^3$ cells/L, with an average of 78.9×10^3 cells/L. Horizontally, the cell abundance was relatively high in dilution zones between freshwater and seawater, i. e. The Changjiang Estuary, Nanji Archipelago, and adjacent waters of Xiangshan. Vertically, cell abundance was high in surface water and decreased slightly with depth from surface to bottom. The Shannon-Wiener index and Pielou index were low in the area with high cell abundance, and the biodiversity of phytoplankton community was generally low in the study area.

(本文编辑:张培新)