

2009 年冬季南海北部网采浮游植物群落结构

马 威¹, 孙 军², 田 伟¹

(1. 中国海洋大学 海洋生命学院, 山东 青岛 266003; 2. 天津科技大学 海洋科学与工程学院, 天津 300457)

摘要: 根据 2010 年 1 月 6~30 日对南海北部的调查取样, 作者对该海域网采浮游植物的分布和群落结构特征等进行了分析。共鉴定浮游植物 4 门 52 属 155 种(包括变形及变种), 主要以温带近岸和广布性种为主, 其中硅藻有 38 属 94 种, 占总种数的 60.6%; 甲藻有 12 属 58 种, 占总种数的 37.4%; 浮游植物平均细胞丰度为 36.46×10^4 个/ m^3 , 硅藻平均细胞丰度为 13.77×10^4 个/ m^3 , 甲藻平均细胞丰度为 1.39×10^4 个/ m^3 , 铁氏束毛藻(*Trichodesmium thiebautii*)平均细胞丰度为 21.30×10^4 个/ m^3 。粤东近岸区域是浮游植物高密度区, 珠江口及其西南沿岸其次, 而浮游植物稀疏区主要在调查区的中部海域, 呈现出沿远岸区域逐渐降低的平面分布格局。除铁氏束毛藻为绝对优势种外, 主要优势种有: 菱形海线藻(*Thalassionema nitzschioides*)、短刺角毛藻(*Chaetoceros messanensis*)、圆筛藻(*Coscinodiscus* spp.)、粗根管藻(*Rhizosolenia robusta*)及角毛藻(*Chaetoceros* spp.)等。浮游植物群落香农-威纳物种多样性指数(H')平均值为 4.50, Peilou 均匀度指数(J)平均值为 0.81。浮游植物多样性程度较高, 与细胞丰度平面分布基本呈相嵌分布, 仅在近岸出现低值。

关键词: 浮游植物; 群落结构; 南海北部; 冬季

中图分类号: Q948.1 **文献标识码:** A

文章编号: 1000-3096(2011)09-0008-06

南海北部海域生态环境复杂, 既有珠江冲淡水的输入和夏季沿岸上升流带来丰富营养盐, 又有水体层化和跃层的影响, 使陆架区真光层营养盐得不到补充而具有寡营养盐的特点; 既有寡营养陆坡和开阔海, 又有光、温度、盐度、营养盐等的垂直分布的差异^[1]。这些环境特征决定了南海北部浮游植物时空分布的复杂性。南海北部真光层各种营养盐通常都低于浮游植物生长的阈值, 且各营养盐之间的比例显示, 南海北部主要为氮磷共同限制^[2]。

20 世纪 70 年代, 一些学者曾对南海北部海域进行了海洋生物生态和渔业资源调查^[3-4], 并积累了一定数据资料。朱根海等^[5]对南海部分海域表层水采浮游植物进行了研究, 并分析了浮游植物的物种组成和细胞丰度分布与环境因子的关系。乐凤凤等^[6]和孙军等^[7]分别对 2004 年南海北部海域夏季和冬季的浮游植物群落结构进行了报道, 同时对浮游植物与环境因子等影响因素的相关性进行了分析。郭玉洁^[8]也对南海中部浮游植物的水平和垂直分布进行了分析。近年来由于全球气候变化及人类活动的影响, 该海域的生态环境和生物资源已发生了较大的变化, 十分迫切需要对该海域全面和系统地开展海洋生物生态调查, 并进一步深化对海洋生态环境要素的时空分布、变化规律、形成机制、制约因素等的认识。

作者根据 2009 年冬季调查南海北部所获网采样品, 对此区域网采浮游植物(>76 μ m, netz-phytoplankton)进行了初步分析, 旨在为南海北部生态系统结构与功能的深入研究提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 调查海域

调查区在南海北部(18°~22°30'N, 109°30'~120°30'E)海域。2010 年 1 月 6~30 日用“东方红 2”号进行了水文、气象、化学和生物的综合调查, 设置拖网站位如图 1。

1.2 调查分析方法

浮游植物采样按照《海洋调查规范》^[9]进行, 采样工具为小型浮游生物网(网口直径为 37 cm, 网口面积为 0.1 m^2 , 网身长 270 cm, 网目为 76 μ m), 采样方式为在每个调查站位自底层至表层垂直拖网 1 次

收稿日期: 2010-10-07; 修回日期: 2011-03-17

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(2009CB421202); 中科院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-QN205); 国家自然科学基金项目(40776093)

作者简介: 马威(1986-), 男, 湖北孝感人, 硕士研究生, 主要从事海洋浮游植物研究; 孙军, 通信作者, 电话: 13953290643, E-mail: phytoplankton@163.com

(水深超过 200 m 时, 自 200 m 水深垂直拖网)。样品用甲醛溶液固定和保存(终质量分数为 5%)。实验室内浮游植物样品经浓缩, 取 0.25 mL 亚样品静置后在本实验室的 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。浮游植物中文及拉丁文种名更改参考孙军等^[10]。

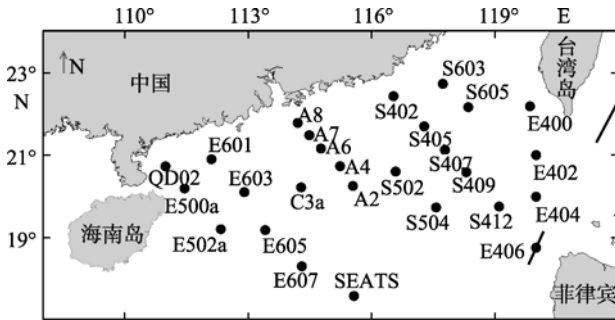


图 1 冬季南海北部网采调查站位

Fig. 1 Sampling stations in northern South China Sea

物种多样性指数的计算采用香农-威纳(H' , Shannon-Wiener index)^[11], 其计算公式为:

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

物种均匀度指数(J)采用 Pielou^[12]的计算公式:

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

优势度(Y)^[13]计算公式为:

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

式中, S 为采集样品中的物种总数; P_i 为第 i 种的个体数与样品中的总个体数的比值(n_i/N), n_i 为第 i 种的细胞丰度, N 为采集样品中的所有物种总个体数; f_i 为该种在各样品中出现的频率。

2 结果与分析

2.1 浮游植物物种组成

本航次共发现浮游植物 4 门 52 属 155 种(包括变形及变种), 其中硅藻有 38 属 94 种, 占总种数的 60.6%; 甲藻有 12 属 58 种, 占总种数的 37.4%; 金藻门 2 属 2 种及蓝藻门 1 种。硅藻门中以角毛藻属物种最多(21 种), 占硅藻总种数的 22.3%, 其次为根管藻属(15 种), 占硅藻总种数的 16.0%; 甲藻门中以角藻属物种最多(36 种), 占甲藻总种数的 62.1%, 原甲藻属(6 种)占到甲藻总种数的 10.3%, 其他物种共占甲藻总种数的 27.6%。由于南海北部海域独特的地理位置, 高温高盐等的理化水文特征, 使调查区浮游植物群落以温带近岸种和广布性种为主, 伴有少数高盐外海性种和暖水种。

南海北部浮游植物调查网采历史资料的对比见表 1。

表 1 南海北部浮游植物调查网采历史资料的对比

Tab. 1 Comparison among historical phytoplankton data of the survey area

采样时间 (年.月)	水深 (m)	鉴定物种数 (种)	平均丰度 ($\times 10^4$ 个/ m^3)	采样位置	参考文献
2010.1	0~200	155	36.46	17°~22°30'N, 111°~120°30'E	本文
2009.7, 8	0~200	180	6.0	18°~22°30'N, 109°30'~120°30'E	[14]
2004.1, 4, 8, 10	0~200	169*	87.6	18°11'~18°18'N, 109°20'~109°30'E	[15]
1998.2, 5, 8, 10	0~200	267*	147.0	20°~21°10'N, 110°50'~112°30'E	[16]
1998.1, 8, 10 ~ 1999.1, 5	0~200	239*	98.7	20°30'~21°30'N, 112°30'~114°30'E	[17]
1998.9, 12~1999.1, 4	0~200	290*	3.2	16°~18°30'N, 109°~110°30'E	[18]
1997.11	0~75	121	0.07	5°59'~10°25'N, 110°~116°48'E	[19]
1985.6	0~200	152	40.0	3°47'~4°02'N, 111°58'~112°25'E	[20]
1984.12	0~200	177	2.8	12°~19°30'N, 111°~118°E	[21]
1979.6, 7	0~200	287	2000.0	17°~23°N, 112°~120°E	[22]

注: *表示各航次总种数

2.2 浮游植物细胞丰度平面分布特征

本航次浮游植物细胞丰度介于 $2.76 \times 10^4 \sim 253.4 \times 10^4$ 个/ m^3 之间, 平均值为 36.46×10^4 个/ m^3 。平面分布如图 2a, 浮游植物分布的高值区主要位于粤东近岸, 并沿远岸逐渐降低。此外, 在珠江口也有较高分布。而在调查区的中部寡营养区及吕宋海峡西部浮游植物的分布相对较低。有些研究结果相差很大, 可能是由于采样位置不同, 季节变化及分析系统误差等因素造成的。

硅藻细胞丰度介于 0.75×10^4 个/ $m^3 \sim 115.99 \times 10^4$ 个/ m^3 之间, 平均值为 13.77×10^4 个/ m^3 。硅藻平面分布如图 2b, 其分布密集区主要位于粤东近岸部分海域, 分布趋势与浮游植物的分布趋势相似。调查期间, 硅藻在整个浮游植物群落中的比重较大, 对整个浮游植物的分布趋势起到了一定的支配作用。甲藻细胞丰度最高值达 8.17×10^4 个/ m^3 , 平均值为 1.39×10^4 个/ m^3 。甲藻细胞丰度高值区主要分布在广东沿岸(图 2c)。低值区主要出现在调查区中部海域。甲藻的细胞丰度分布基本上不影响浮游植物丰度的平面分布格局。硅藻和甲藻所占的比重是衡量浮游植物重要

的结构指数, 一般来说, 高的甲藻比重预示着甲藻可以大量生长进而导致赤潮的爆发^[23]。本次调查中硅藻与甲藻比率的平面分布如图 2d, 高值区主要在粤东海域及海南岛东部部分海域。整个调查区浮游植物群落主要是由硅藻刻画。

2.3 优势种组成及其平面分布

由于铁氏束毛藻(*Trichodesmium thiebautii*)细胞丰度较大, 最高值达 237.85×10^4 个/ m^3 , 平均细胞丰度为 21.30×10^4 个/ m^3 (表 2), 且在多个站位出现, 是本次调查的绝对优势种, 所以在对浮游植物群落相关多样性计算中未将其计算在内。除铁氏束毛藻外, 主要优势种均为硅藻类, 有: 菱形海线藻(*Thalassionema nitzschioides*)、短刺角毛藻(*Chaetoceros messanensis*)、粗根管藻(*Rhizosolenia robusta*)、笔尖形根管藻(*Rhizosolenia styliformis*)、洛氏角毛藻(*Chaetoceros lorenzianus*)、锤状中鼓藻(*Bellerochea malleus*)和并基角毛藻(*Chaetoceros decipiens*)等。主要优势种及其优势度见表 3, 其中菱形海线藻出现频度最高, 为 0.963。

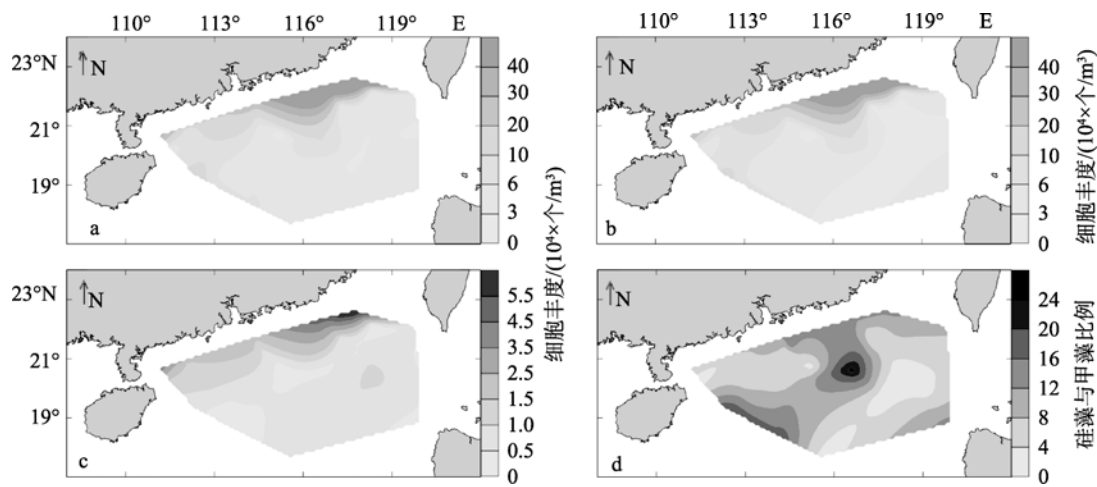


图 2 南海北部浮游植物细胞丰度及硅甲藻比率

Fig. 2 Horizontal distribution of phytoplankton cell abundance and ratios of diatoms to dinoflagellates in northern South China Sea

a. 浮游植物; b. 硅藻; c. 甲藻; d. 硅藻与甲藻比例

a. phytoplankton; b. diatoms; c. dinoflagellates; d. ratio of diatoms to dinoflagellates

甲藻门中的波状角藻(*Ceratium trichoceros*)、美丽角藻(*Ceratium pulchellum*)也普遍出现, 出现频度和优势度分别为 0.889、0.815 和 0.005、0.005, 叉角藻(*Ceratium furca*)和梭状角藻刚毛变种(*Ceratium fusus* var. *seta*)出现频度也较高, 分别为 0.630 和 0.815, 优势度分别为 0.005 和 0.004。

各优势种平面分布如图 4 a~f。铁氏束毛藻(图 3a)细胞丰度介于 $0.88 \times 10^4 \sim 237.85 \times 10^4$ 个/ m^3 , 平均细胞丰度为 21.30×10^4 个/ m^3 , 在调查区大部分站位都有出现(出现频度为 0.857), 但高值区主要集中在珠江口近岸。菱形海线藻(图 3b)细胞丰度介于 $0.11 \times 10^4 \sim 23.59 \times 10^4$ 个/ m^3 , 平均细胞丰度为 2.02×10^4

表 2 铁氏束毛藻在不同区域的分

Tab. 2 Distribution of *Trichodesmium thiebautii* in different areas in northern South China Sea

研究区域	站点	细胞丰度 ($\times 10^4$ 个/ m^3)	藻丝体丰度 ($\times 10^4$ 束/ m^3)
粤东海域	S603	11.51	0.12
	S605	1.93	0.05
	S402	12.09	0.20
	S405	4.80	0.05
海南岛以东海域	E500a	15.49	0.23
	E502a	1.89	0.06
	E607	7.34	0.15
	E605	7.64	0.12
珠江口附近水域	A8	52.45	0.64
	A7	237.85	3.98
	A6	50.02	0.70

表 3 调查区浮游植物主要优势种

Tab. 3 Dominant phytoplankton species in the survey area

物种	丰度比率(%)	出现频度	优势度
菱形海线藻 <i>Thalassionema nitzschioides</i>	12.8	0.963	0.123
短刺角毛藻 <i>Chaetoceros messanensis</i>	4.3	0.889	0.038
粗根管藻 <i>Rhizosolenia robusta</i>	2.4	0.889	0.021
笔尖形根管藻 <i>Rhizosolenia styliformis</i>	1.9	0.963	0.019
洛氏角毛藻 <i>Chaetoceros lorenzianus</i>	2.6	0.593	0.016
锤状中鼓藻 <i>Bellerophcea malleus</i>	4.4	0.333	0.015
并基角毛藻 <i>Chaetoceros decipiens</i>	3.9	0.370	0.014

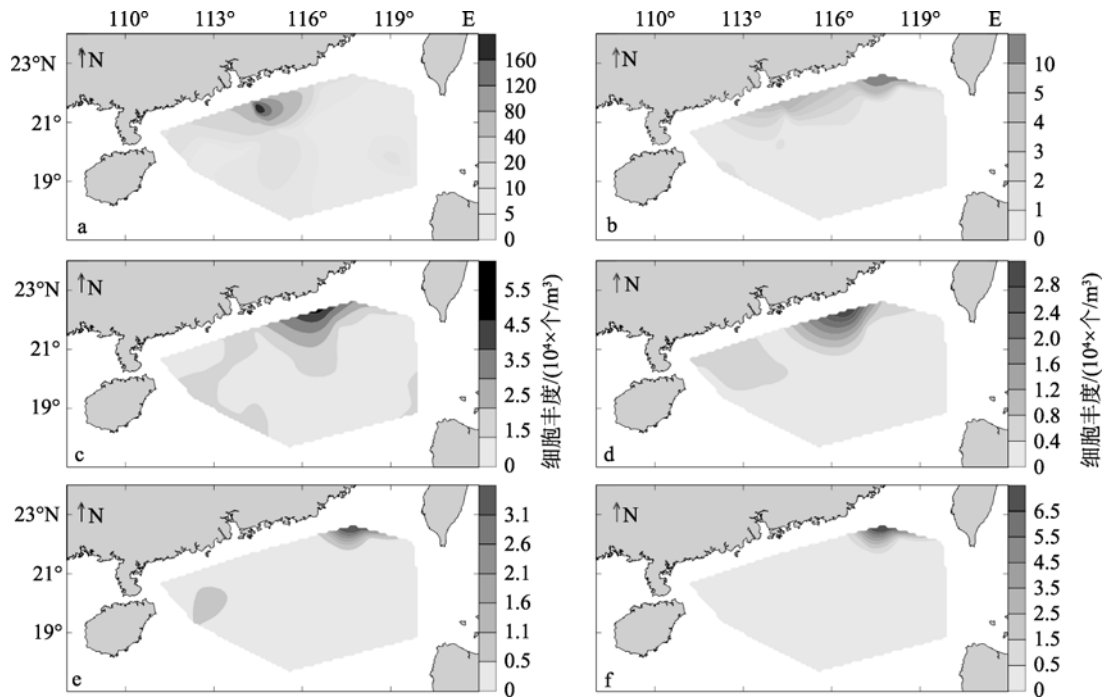


图 3 南海北部浮游植物优势种细胞丰度的平面分布

Fig. 3 Horizontal distribution of dominant species in northern South China Sea

a. 铁氏束毛藻; b. 菱形海线藻; c. 短刺角毛藻; d. 圆筛藻; e. 粗根管藻; f. 角毛藻

a. *Trichodesmium thiebautii*; b. *Thalassionema nitzschioides*; c. *Chaetoceros messanensis*; d. *Coscinodiscus* spp.; e. *Rhizosolenia robusta*; f. *Chaetoceros* spp.

个/ m^3 。几乎遍布整个调查海域(几乎所有站位均有出现),在广东近岸有较高分布,最高值出现在 S603(23.59×10^4 个/ m^3)。短刺角毛藻(图 3c)细胞丰度介于 $0.06 \times 10^4 \sim 5.37 \times 10^4$ 个/ m^3 ,平均细胞丰度为 0.74×10^4 个/ m^3 。细胞丰度分布较不均匀,高值区主要出现在粤东近岸,在该区域由近岸向外海降低趋

势明显。圆筛藻(图 3d)细胞丰度介于 $0.03 \times 10^4 \sim 3.76 \times 10^4$ 个/ m^3 ,平均细胞丰度为 0.41×10^4 个/ m^3 。圆筛藻出现于所有站位,粤东近岸海域为其高值分布区,而由珠江口向外的延伸区则呈现出明显的低值分布。粗根管藻(图 3e)和角毛藻(图 3f)的平均细胞丰度分别为 0.41×10^4 个/ m^3 和 0.87×10^4 个/ m^3 。高值区

的分布特征相似,最高值均出现在粤东 S603 站位。

根据优势种的分布特征可以看出:一类是菱形海线藻,短刺角毛藻和圆筛藻为代表,其特点是整体分布趋势与浮游植物细胞丰度相似;而以粗根管藻和角毛藻为代表的一类,虽在整个调查区几乎都有,但其丰度密集区主要在粤东近岸的 S603 站位。形成浮游植物细胞丰度分布中的局部高值区;而铁氏束毛藻作为单独的一个类群,以平均每根藻丝体 63 个细胞出现,造成浮游植物细胞总丰度较高。

2.4 浮游植物群落物种多样性分析

群落物种多样性是衡量群落稳定性的重要尺度,单纯使用一种指数来解释浮游植物群落的多样性容易造成较大偏差^[24],本文中采用香农-威纳多样性指数(H')和 Pielou 均匀度指数(J)进行了综合分析。浮游植物的香农-威纳多样性指数值(图 4a)介于 3.165~5.220 之间,平均值 4.504。高值区位于吕宋海峡以西,最高值出现在 S407 站,该站出现浮游植物 60 种;其次在 E502a 站,有 66 种,这两个站位的特点是物种数相对较多,但优势种不显著,各物种的细胞丰度相差不大,群落结构比较复杂。均匀度指数值(图 4b)介于 0.583~0.921 之间,平均值为 0.8096,最高值出现在 S412 站位,最低值在 QD02 站位,总体均匀度分布较为均匀,表明群落结构中浮游植物丰度间差异并不十分明显。群落的稳定性水平较高。

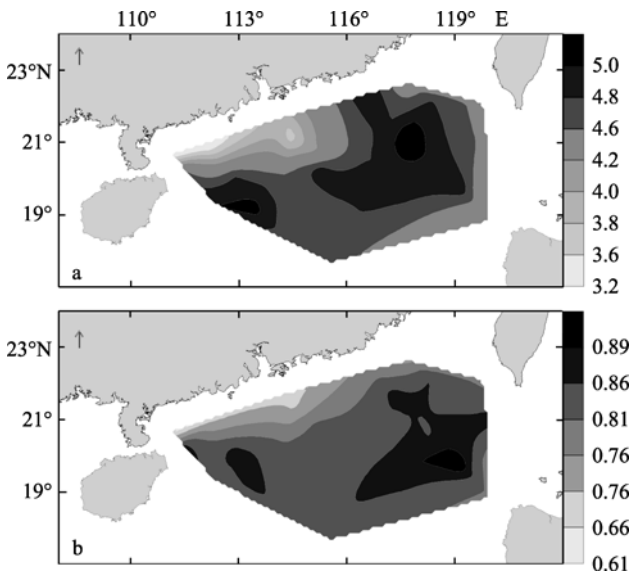


图 4 南海北部群落多样性指数和均匀度指数的平面分布
Fig. 4 Horizontal distribution of phytoplankton community diversity indices in northern South China Sea
a. 香农-威纳多样性指数; b. Pielou 均匀度指数
a. Shannon-Wiener index; b. Evenness index

以上两种综合指数表明,调查区不同海域的群落结构复杂程度和稳定性是有差异的。Spatharis 等^[25]在研究陆源输出物对爱琴海北部封闭性海湾浮游植物群集的影响时认为,中等强度的营养盐输入是有益于沿海生态系统的功能发挥,表现为不同群体和物种的发展从而刺激了多样性发展。但大量营养盐输入会导致个别物种的细胞丰度猛增而多样性下降,从而影响自然群体的物种演替。

3 结论

本次调查共鉴定浮游植物 155 种,隶属于 4 门 52 属。以硅藻物种最多(为 94 种),其次为甲藻(58 种)。浮游植物丰度分布不均匀,平均细胞丰度为 36.46×10^4 个/ m^3 ,呈现近岸区域高于远岸区域的格局。主要优势种属于硅藻门类,铁氏束毛藻细胞丰度明显高于其他物种,且出现于所有站位,成为绝对优势种。

南海北部浮游植物群落结构研究还远远不够,其变化对于了解南海北部生态环境及资源状况,人类活动及全球气候变化对生态系统的影响有着重要意义。由于此寡营养区域微型浮游植物(nanophytoplankton, 2~20 μm)和小型浮游植物(microphytoplankton, >20 μm)个体丰度较低,今后还需加强水采浮游植物的采样和研究报告。

致谢: 本文拖网样品采集得到何青、张晓东、李欣、张健的帮助,蔡平河、翟惟东及东方红 II 号船长和船员提供采样支持,特致谢忱!

参考文献:

- [1] 柴扉,薛惠杰,侍茂崇,等. 南海升降流区域分布及形成机制分析[C]//中国海洋学文集: 第 13 集(南海海流数值计算及中尺度特征研究). 北京: 海洋出版社, 2001: 117-128.
- [2] 袁梁英. 南海北部营养盐结构特征[D]. 厦门: 厦门大学, 2005.
- [3] 郭玉洁,叶嘉松,周汉秋. 西沙、中沙群岛周同海域浮游植物的数量分布[C]//我国西沙、中沙群岛海域海洋生物调查研究报告集. 北京: 科学出版社, 1978: 1-10.
- [4] 叶嘉松,林永水,袁文彬. 东沙群岛周同海域夏季浮游植物的数量分布[C]//南海海洋生物研究论文集(一). 北京: 海洋出版社, 1983: 1-6.
- [5] 朱根海,宁修仁,蔡昱明,等. 南海浮游植物种类组成和丰度分布的研究[J]. 海洋学报, 2003, 25(2): 8-23.
- [6] 乐凤凤,孙军,宁修仁,等. 2004 年夏季中国南海北部的浮游植物[J]. 海洋与湖沼, 2006, 37(3): 238-248.
- [7] 孙军,宋书群,乐凤凤,等. 2004 年冬季南海北部浮

- 游植物[J]. 海洋学报, 2007, 29(5): 132-145.
- [8] 郭玉洁, 叶嘉松. 中部海域浮游植物的水平和垂直分布[R]//南海海区综合调查报告(一). 北京: 科学出版社, 1982: 17-230.
- [9] 国家技术监督局. GB/T 13909-1992 海洋生物调查, 海洋调查规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 1992.
- [10] 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.
- [11] Shannon C E, Weaver W. The mathematical theory of communication[M]. Urbana L: University of Illinois Press, 1949: 1-117.
- [12] Pielou E C. An introduction to mathematical ecology[M]. New York: Wiley-Interscience, 1969: 1-286.
- [13] 孙儒泳. 动物生态学原理(第二版)[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 1992: 356-357.
- [14] 宫相忠, 马威, 孙军, 等. 2009 年夏季南海北部网采浮游植物群落(待刊).
- [15] 杨志浩, 董俊德, 吴梅林, 等. 三亚湾网采浮游植物群落结构特征分析[J]. 热带海洋学报, 2007, 26(6): 62-66.
- [16] 蔡文贵, 贾小平, 李纯厚. 粤西海域浮游植物的时空分布及其漂移特点[J]. 热带海洋学报, 2005, 24(3): 65-72.
- [17] 戴明, 李纯厚, 贾小平, 等. 珠江口近海浮游植物生态特征研究[J]. 应用生态学报, 2004, 15(8): 1389-1394.
- [18] 戴明, 李纯厚, 张汉华, 等. 海南岛以南海域浮游植物群落特征研究[J]. 生物多样性, 2007, 15(1): 23-30.
- [19] 李开枝, 郭玉洁, 尹健强, 等. 南沙群岛海区秋季浮游植物物种多样性及数量变化[J]. 热带海洋学报, 2005, 24(3): 25-30.
- [20] 中国科学院南海海洋研究所. 曾母暗沙-中国南疆综合调查报告[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 106-131.
- [21] 中国科学院南海海洋研究所. 南海中部海域环境资源综合调查报告[M]. 北京: 科学出版社, 1988: 162-231.
- [22] 中国科学院南海海洋研究所. 南海海区综合调查报告[M]. 北京: 科学出版社, 1985: 332-357.
- [23] 孙军, 刘东艳. 2000 年秋季渤海的网采浮游植物群落[J]. 海洋学报, 2005, 27(3): 124-132.
- [24] 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.
- [25] Spatharis S, Tsirtsis G, Danielidis D B, et al. Effects of pulsed nutrient inputs on phytoplankton assemblage structure and blooms in an enclosed coastal area[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2007, 73: 807-815.

Community structure of netz-phytoplankton in northern South China Sea in winter, 2009

MA Wei¹, SUN Jun², TIAN Wei¹

(1. College of Marine Life Science, Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 2. College of Marine Science and Engineering, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China)

Received: Oct., 7, 2010

Key words: phytoplankton; community structure; northern South China Sea; winter

Abstract: Based on the cruise in northern South China Sea (SCS) from 6th January to 30th, 2010, we analyzed the characteristics of netz-phytoplankton distribution and community structure in this area. The majority of species ecotype were neritic and cosmopolitan in temperate coastal seas. One hundred and fifty-five species were identified (including variety and form) belonging to 4 phyla with 52 genera, in which 60.6% were diatoms (38 genera and 94 species) and 37.4% were dinoflagellates (12 genera and 58 species). The average cell abundance of phytoplankton Bacillariophyta or Pyrrophyta was $36.46 \times 10^4 \text{ cells/m}^3$, $13.77 \times 10^4 \text{ cells/m}^3$ or $1.39 \times 10^4 \text{ cells/m}^3$, respectively. In addition, the average cell abundance of *Trichodesmium thiebautii* was $21.30 \times 10^4 \text{ cells/m}^3$. It was found that the coastal water of Eastern Guangdong was the area of highest phytoplankton abundance, followed by the Pearl River estuary and the coastal waters southwestward. Phytoplankton abundance decreasing from coastal area to far-shore area, the central area of the northern South China Sea was the area of lowest phytoplankton abundance. The dominant species included *Thalassionema nitzschioides*, *Chaetoceros messanensis*, *Coscinodiscus* spp., *Rhizosolenia robusta*, and *Chaetoceros* spp. besides *Trichodesmium thiebautii*. The average diversity index (H') and evenness (J) values were 4.50 and 0.81, respectively. The diversity level of phytoplankton community in survey area was high, the horizontal distribution of diversity index was contrary to phytoplankton cell abundance, with a low area in the inshore area.

(本文编辑: 梁德海)