南沙群岛邻近海区春夏季浮游植物多样性研究

宋星宇¹ 黄良民¹ 钱树本² 尹建强¹

1 (中国科学院南海海洋研究所, 广州 510301)

2 (青岛海洋大学海洋生命学院, 青岛 266003)

摘要 : 1999 年春季和夏季对南沙海区网采浮游植物分布与多样性进行了调查。1999 年春季渚碧礁潟湖观测站及春、夏季大面站的浮游植物细胞数量平均值分别为 2.49×10^4 cells/m³、 0.73×10^4 cells/m³ 和 1.03×10^4 cells/m³。1999 年春季在渚碧礁潟湖共采到浮游植物 26 属 51 种, 大面站 31 属 109 种, 夏季大面站共检出 38 属 172 种。海区大面站春季、夏季浮游植物 Shannon-Wiener 多样性指数平均值分别为 4.35 和 4.01, 春季渚碧礁浮游植物多样性指数为 2.92, 低于外部开阔海域。南沙海区浮游植物的分布与水文、营养盐、浮游动物的摄食等均有一定的关系。

关键词 : 浮游植物, 多样性, 影响因子, 南沙海区

中图分类号 : Q948.8 文献标识码 : A 文章编号 : 1005 - 0094(2002)03 - 0258 - 11

Phytoplankton diversity in waters around Nansha Islands in spring and summer

SONG Xing-Yu, HUANG Liang-Min, QIAN Shu-Ben, YIN Jian-Qiang

1 South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301

2 College of Marine Life Science, Ocean University of Qingdao, Qingdao 266003

Abstract : The distribution and biodiversity of the phytoplankton in Nansha Islands waters were investigated in spring and summer, 1999. The phytoplankton abundance at Zhubi Reef (2.49×10^4 cells/m³) is higher than that in the open sea (0.73×10^4 cells/m³ in spring and 1.03×10^4 cells/m³ in summer, respectively). The order of the biodiversity is spring(4.01) > summer(4.35) > coral reef (2.92). The distribution of phytoplankton in waters around Nansha Islands appears to relate to hydrological conditions, nutrients and grazing impact of zooplankton. In spring, grazing pressure of zooplankton is higher and has an obvious effect on algal distribution; while in summer, phytoplankton biomass is mainly affected by the distribution of local nutrients and hydrological conditions. Although the phytoplankton abundance in 1999 is very low compared with historic record, the characteristics of biodiversity and distribution of phytoplankton in Nansha Islands waters have been similar in the past 15 years.

Key words : phytoplankton, diversity, distribution, Nansha Islands

1 前言

生物多样性保护与生物资源的可持续利用近年来倍受关注, 海洋生物资源多样性的调查、保护及管理亦越来越受到人们的重视(陈清潮, 1996; 王斌, 1999)。南沙群岛海域广阔, 物种丰富, 进行浮游植物多样性调查对南沙海区乃至我国生物多样性研究均具有较重要的意义。20 世纪 80 年代至 90 年代, 南沙综合科学考察队已就南沙海区浮游植物的分布

与组成进行过一些调查(中国科学院南沙综合科学考察队, 1989; 钱树本, 陈国蔚, 1996), 并对该海区浮游植物的数量、种类组成与分布特点进行了分析, 证实该海区浮游植物物种多样性比较丰富。1999 年 4 月和 7 月我们对南沙的浮游植物进行了更广范围的调查。本文主要根据南沙群岛海区 1999 年春季和夏季航次的网采浮游植物调查资料, 并结合以往各次对南沙海区调查的数据及结果, 分析春夏两季南

沙群岛海区浮游植物的数量、分布、种类组成等特点,并在春季对岛礁潟湖(渚碧礁)浮游植物多样性进行了重点研究。本文还尝试结合营养盐及浮游动物等因子,探讨浮游植物多样性与环境的关系,以期 为南沙群岛的综合研究及其生物资源开发提供参考。

2 材料与方法

1999 年 4 月分大面站和渚碧礁潟湖观测站两部分进行采样。大面站共设 10 个采样站,分布于南沙群岛海区西南部(5.58°~9.96°N,108.68°~113.75°E);渚碧礁中心位置约为 10.95°N,114.10°E,在潟湖水域共设 16 个站位进行取样(图 1)。1999 年 7 月航次的采样站点位于南沙海区 4.79°~10.54°N,108.33°~115.65°E 之间,共 28 个站。

浮游植物采样使用小型浮游生物网,孔径约为 76 μm,面积 0.1 m²,网身长 270 cm,采样时采用垂直拖网。在大面站深水海区,拖网水深为 75 m,而在渚碧礁浅水站位,自底至表垂直拖网取样。样品带回实验室,在光学显微镜下鉴定、分析,浮游植物细胞数量按海洋调查规范规定的公式计算。

浮游植物多样性指数的统计分析采用如下公式(马克平,1994):

1) Shannon-Wiener 多样性指数(H')

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i \quad (P_i = N_i / N)$$

最大多样性指数 $H_{\max} = \log_2 S$ (S = 总种数)

2) 均匀度(J) $J = \frac{H'}{H_{\max}}$

3) 优势度(Y) $Y = \frac{n_i}{N} \cdot f_i$

其中 n_i 为第 i 个种的个体数, f_i 为该种在各站中出现的频率, N 为每个种出现的总个体数。

3 结果

3.1 浮游植物生物量

在 1999 年调查的 3 个航次中,春季渚碧礁潟湖的浮游植物密度明显高于开阔海区,达到 2.49×10^4 cells/m³。在大面站,夏季浮游植物的平均密度为 1.03×10^4 cells/m³,而在春季最低,仅为 0.73×10^4 cells/m³。

从水平分布来看,渚碧礁潟湖春季浮游植物数

量在 $0.8 \times 10^4 \sim 6.0 \times 10^4$ cells/m³ 之间波动。在渚碧礁的西南部和东北部共出现 3 个高值区。在西南部 2 个高值区与其中间的低值区紧连,并与东北的高值区共同向潟湖中心偏北部递减,形成东、西高,中间低的格局(图 1a)。

在春季,浮游植物密度分别在调查海域南部的 17 号站(0.11×10^4 cells/m³)以及安渡滩附近(0.16×10^4 cells/m³)出现 2 个低值区,并由这 2 个低值区向西北方向逐渐递增,在中南半岛附近达到最大值(2.39×10^4 cells/m³)(图 1b)。

在夏季,浮游植物的分布出现了 3 个高值区:一个位于安渡滩的东侧(1.91×10^4 cells/m³),另一个位于加里曼丹岛西南部海区($2.86 \times 10^4 \sim 2.94 \times 10^4$ cells/m³),还有一个高值区出现在中南半岛东南部(1.63×10^4 cells/m³)。而在 3 个高值区中间,则大致形成了一条东北至西南的低值区带(图 1c)。

从年际变化来看,南沙群岛海区春夏季的浮游植物在 20 世纪 80 年代的分布数量普遍偏高,1984~1988 年春夏季 0~75 m 层浮游植物细胞平均数量高达 $5.6 \times 10^4 \sim 8.3 \times 10^5$ cells/m³(林永水,林秋艳,1991);而在 90 年代明显偏低,1993 年 5 月仅有 8×10^3 cells/m³。尽管在历次调查中浮游植物的数量变化较大,但总体的分布趋势相似,即多在南沙海区的东部、南部出现高值。

3.2 浮游植物种类组成和区域分布

3.2.1 种类组成 春季在渚碧礁水域共采获浮游植物 26 属 51 种,其中硅藻门 21 属 38 种(含 1 个变种, 9 个不确定种和 2 个变型),甲藻门 5 属 13 种(含 1 个变种和 1 个变型)。10、13 和 14 号站中检出的浮游植物种类最多,共 18 种;11 号站最少,仅 5 种。菱形藻(*Nitzschia* spp.)和距端根管藻(*Rhizosolenia calcar-avis*)的分布最广,在潟湖各调查站位都有出现。

春季在大面站共检出浮游植物 31 属 109 种,其中硅藻门 23 属 58 种(含 2 个变种, 5 个不确定种和 3 个变型),甲藻门 8 属 51 种(含 8 个变种, 1 个不确定种和 7 个变型)。13 号站中检出的浮游植物的种类最多,共 58 种,而在 17 号站中仅有 13 种浮游植物。各站中,分布最广的种类为二齿双管藻(*Amphisolenia bidentata*),每个站都有分布。此外,拟夜光梨甲藻(*Pyrocystis pseudonociluca*)、三叉角藻

图 1 1999 年南沙群岛浮游植物采样站点及浮游植物数量分布图
Fig. 1 Sampling stations and distribution of phytoplankton biomass in waters around Nansha Islands
a :春季渚碧礁 Zhubi Reef in spring b :春季海区 Spring c :夏季海区 Summer

(*Ceratium trichoceros*)、距端根管藻等种类亦分布较广。

夏季在大面站共检出浮游植物 38 属 172 种,其中硅藻门 28 属 83 种(含 4 个变种,7 个不确定种和 4 个变型),甲藻门 10 属 89 种(含 14 个变种,6 个不确定种和 8 个变型)。42 和 44 号站中检出的浮游植物种类最多,均为 66 种;56 号站最少,仅 4 种。距端根管藻和梭梨甲藻(*Pyrocystis fusiformis*)分布最广,在 26 个站位中均有出现。此外,分布较广的种类还包括密聚角刺藻(*Chaetoceros coarctatus*)、二齿双管藻、三叉角藻等。

角藻属(*Pyrocystis*)在春季和夏季分别出现 34 种和 56 种,占总种数的比例分别为 31.2% 和 32.6%,是南沙群岛海区春季和夏季种类分布最多的属。角刺藻属(*Chaetoceros*)和根管藻属(*Rhizosolenia*)在春夏季也有较多的种类分布。

从总体上看,历次春夏季南沙群岛海区的调查

中浮游植物的种类组成均很相似,且甲藻种类丰富。在 1999 年的调查中,尽管甲藻的细胞数量在春夏季均仅占总细胞数量的约 30%,但甲藻种类数量与硅藻相近,特别在夏季甲藻的种类数量甚至多于硅藻。在渚碧礁潟湖水域,硅藻无论在种数还是数量上均占据了主导地位(图 2),而这也是南沙群岛潟湖的共同特征(林永水,林秋艳,1991)。

3.2.2 优势种 根据各调查站位中浮游植物种类的出现频率和相对的生物量,得出 3 个航次的优势种见表 1a、表 1b 和表 1c。

在春季渚碧礁潟湖水域调查中,优势种全部为硅藻种类。日本星杆藻(*Asterionella japonica*)在渚碧礁潟湖水域占据了明显的种群优势,优势度高达 0.172。在 1987 年春季的潟湖调查中,日本星杆藻也是在潟湖中普遍存在的浮游植物,并且是部分潟湖的优势种。

图 2 1999 年南海群岛海区浮游植物甲藻与硅藻的数量
Fig. 2 Abundance of diatoms and dinoflagellates in waters around Nansha Islands in 1999
a : 春季清碧礁 Zhubi Reef in spring b : 春季 Spring c : 夏季 Summer

表 1a 1999 年春季渚碧礁浮游植物优势种

Table 1a Dominant species of phytoplankton at Zhubi Reef in spring ,1999

优势种 Dominant species	平均细胞密度 Abundance (× 10 ⁴ cells/m ³)	占总数百分比 Percentage	出现频率 Frequency	优势度 Dominance
日本星杆藻 <i>Asterionella japonica</i>	7.960	20.0	0.750	0.172
短纹楔形藻 <i>Licmophora abbreviata</i>	4.564	11.5	0.500	0.026
距端根管藻 <i>Rhizosolenia calcar-avis</i>	2.836	7.1	0.938	0.094
菱形藻 <i>Nitzschia</i> spp.	2.779	7.0	0.938	0.042
洛氏角刺藻 <i>Chaetoceros lorenzianus</i>	2.583	6.5	0.438	0.017
角刺藻 <i>Chaetoceros</i> spp.	2.541	6.4	0.563	0.048
串珠梯楔藻 <i>Climacosphenia moniligera</i>	1.922	4.8	0.563	0.035
腊状舟形藻 <i>Navicula membranacea</i>	1.153	2.9	0.313	0.023
中沙角管藻 <i>Ceratoulina zhongshaensis</i>	1.145	2.9	0.625	0.019

表 1b 1999 年春季南沙群岛海区浮游植物优势种

Table 1b Dominant species of phytoplankton in open waters around Nansha Islands in spring ,1999

优势种 Dominant species	平均细胞密度 Abundance (× 10 ⁴ cells/m ³)	占总数百分比 Percentage	出现频率 Frequency	优势度 Dominance
菱形海线藻 <i>Thalassionema nitzschioides</i>	0.676	9.3	0.700	0.064
角刺藻 <i>Chaetoceros</i> spp.	0.582	8.0	0.500	0.042
二齿双管藻 <i>Amphisolenia bidentata</i>	0.468	6.4	1.000	0.063
密聚角刺藻 <i>Chaetoceros coarctatus</i>	0.354	4.8	0.800	0.039
距端根管藻 <i>Rhizosolenia calcar-avis</i>	0.254	3.5	0.900	0.031
二裂角藻 <i>Ceratium biceps</i>	0.216	3.0	0.800	0.022
三叉角藻 <i>Ceratium trichoceros</i>	0.214	2.9	0.900	0.026

表 1c 1999 年夏季南沙群岛海区浮游植物优势种

Table 1c Dominant species of phytoplankton in open waters around Nansha Islands in summer ,1999

优势种 Dominant species	平均细胞密度 Abundance (× 10 ⁴ cells/m ³)	占总数百分比 Percentage	出现频率 Frequency	优势度 Dominance
距端根管藻 <i>Rhizosolenia calcar-avis</i>	2.543	8.8	0.929	0.089
密聚角刺藻 <i>Chaetoceros coarctatus</i>	2.095	7.3	0.893	0.054
尖根管藻 <i>Rhizosolenia acuminata</i>	1.858	6.4	0.536	0.041
二齿双管藻 <i>Amphisolenia bidentata</i>	1.060	3.7	0.857	0.031
笔尖形根管藻粗径变种 <i>Rhizosolenia styliiformis</i> var. <i>latissima</i>	0.978	3.4	0.536	0.015
三叉角藻 <i>Ceratium trichoceros</i>	0.936	3.2	0.821	0.026
笔尖形根管藻 <i>Rhizosolenia styliiformis</i>	0.888	3.1	0.679	0.021
梭梨甲藻 <i>Pyrocystis fusiformis</i>	0.458	1.6	0.929	0.015

表 2 浮游植物多样性指数和均匀度

Table 2 Species diversity index and evenness index of phytoplankton

		多样性指数 Diversity index		均匀度指数 Evenness index	
		变化范围 Range	平均值 Average	变化范围 Range	平均值 Average
海区 Sea area	春季 Spring	3.50 ~ 4.72	4.35	0.80 ~ 0.96	0.89
	夏季 Summer	1.89 ~ 5.00	4.01	0.70 ~ 0.95	0.83
渚碧礁 Zhubi Reef	春季 Spring	1.71 ~ 3.45	2.92	0.70 ~ 0.97	0.85

在海区的优势种组成上,春夏季甲藻与硅藻的
种数比例大体相同。1999 年春季南沙群岛海区以
硅藻门的菱形海线藻(*Thalassionema nitzschioides*)和
甲藻门的二齿双管藻等为主要优势种。与前几个航

次相比,菱形海线藻及角刺藻属的种类同为两次调查的优势种,但在1999年,距端根管藻及两种角藻也在浮游植物组成中占据了相当的地位,而在1987年的调查中,优势种不仅在属级水平的分布几乎全部集中于菱形藻、海线藻及角刺藻属,且甲藻的优势度远不及1999年春季调查的高。在1999年夏季,距端根管藻等为南沙群岛海区的主要优势种。根管藻属在夏季占据着优势地位,在8个优势种中,根管藻属(*Rhizosolenia*)出现了4个种,其中距端根管藻在春、夏季南沙海区和春季渚碧礁潟湖均为优势种群。

4 讨论

4.1 多样性指数

采用Shannon-Wiener多样性指数公式进行计算,得出南沙群岛海区春、夏季和渚碧礁的浮游植物多样性指数和均匀度指数(表2)。可见,渚碧礁的浮游植物多样性指数比海区的低,但均匀度值较相近,反映出该海区浮游植物种类丰富,各种群数量分配较均匀,这与海区受陆源污染物质和人类影响较小有关。

不同航次的浮游植物调查证实了在南沙群岛海区,无论是春季、夏季还是冬季,浮游植物均保持了很高的物种多样性。春季浮游植物多样性指数平均值略高于夏季,春夏季的生物多样性指数变化范围与1993年5月的调查结果相近(钱树本,陈国蔚,1996)。夏季多样性指数变动幅度较大,其中的56号站多样性指数仅为1.89,远低于该海区其他站位的多样性指数值,这可能与浮游动物摄食等因素有关。在春季的调查中,潟湖水域浮游植物的多样性指数比海区低,这一方面是由于珊瑚礁潟湖虽然与外部开阔海域有一定程度的水交换,但其与外部开阔海区仍有相当程度的隔离,造成潟湖内外水化学及水动力环境存在差异;另一方面,在对深海海区的浮游植物采样时,采集水深为0~75 m,而在潟湖中水深较浅,如采样时渚碧礁的平均水深为15 m左右,反映出浮游植物种类在不同深度和垂直分布上存在差异。因此,严格地说,文中潟湖与外部开阔海域浮游植物多样性指数所反映的是调查海区网采水深范围内多样性的整体差异,而并不代表单位水体中两者的差别。

4.2 南沙群岛海区浮游植物数量分布与环境因子的关系

4.2.1 南沙群岛海区浮游植物分布与环境的关系

浮游植物在海洋中的数量分布与其种类组成的差异、海区的水文状况、营养盐分布、浮游动物摄食压力等均有密切的联系,往往是多种因素综合作用的结果,且在不同的时间和地域,影响其分布的主要因子也会不同。本次调查结果表明,夏季浮游植物分布密度高于春季,这一方面是由于夏季南沙海区降雨量较丰富,为海区输入了较多的营养物质;另一方面,春季浮游动物对浮游植物较高的摄食压力也影响了浮游植物的分布数量^①。

在春季,浮游植物分布特征在较大尺度上受水文及营养盐分布的影响并不明显。但在浮游植物出现极低值的海区,往往对应存在桡足类等浮游动物生物量的高峰区(根据同次调查的浮游动物资料),这表明浮游植物的初级生产为次级生产提供了有利条件,而浮游动物的摄食压力对浮游植物的分布造成了直接的影响,而这也使得1999年春季南沙群岛海区的浮游植物数量出现了与以往截然不同的分布特征。

在夏季,西南季风盛行,表层海流主要呈西南—东北走向,而在沿此走向的中轴线的南沙群岛中部水域,存在着一系列的气旋式环流(黄企洲等,2001)。受海流影响,浮游植物在沿该走向的南沙海区中部区域呈明显的低值分布。安渡滩以东一带常出现营养盐高值区,而西南陆架区由于涌升流的影响也会造成该海区营养盐浓度的升高^①,这些相对的富营养盐海区由于有利于浮游植物生长而使南沙群岛东部及南部水域的浮游植物数量出现高值。同时,1999年中南半岛东南部沿岸受湄公河水注入的影响,出现了浮游植物的另一个相对密集水域。

4.2.2 南沙群岛海区浮游植物密度与叶绿素a的关系

将春夏季浮游植物密度与同期调查的叶绿素含量进行线性回归分析,发现两个季节浮游植物密度与叶绿素含量的关系不显著。而在夏季航次的分析中,如果去除浮游植物密度明显低于其他站位的56号站,则浮游植物数量与叶绿素浓度的相关性(R^2)可以达到0.42。由于水体中叶绿素a的组成不仅包括了浮游植物等初级生产者的活体叶绿素,也包括了由于初级生产者被摄食或其他原因死亡而

^①黄良民,南沙群岛海区生态过程研究(二).北京:科学出版社(印刷中)

产生的有机碎屑中的叶绿素,因此当发生较强的浮游动物摄食行为时,浮游植物现存量相对减少而含有叶绿素的有机碎屑相应增加,使浮游植物细胞数量与水体叶绿素值相关性不显著。这进一步表明,56号站的低细胞浓度及低多样性指数很可能是由于浮游动物摄食引起的,而在春季,由于整体上存在较高的浮游动物摄食压力,并且这个压力存在着地区间的差异,导致浮游植物细胞数量与叶绿素值不存在显著的线性关系。另外,由于浮游植物采集网具的网目为 $76\ \mu\text{m}$,一些个体微小的浮游植物没有全部采集上来,这可能也是造成两者相关性不显著的另一重要原因。但有关南沙海区浮游植物分布及组成与环境的具体关系还有待于进一步研究。

4.2.3 渚碧礁潟湖水域浮游植物分布与环境的关系 在春季,渚碧礁水域的浮游植物种类多由沿岸型种类与底栖型种类混杂组成,说明其在一定程度上受到了外源水的影响,在以前对于渚碧礁水动力情况的报道中也证实了上述情况(林洪瑛等,1997)。但浮游植物密度却高于邻近海区,这是由于珊瑚礁潟湖生态系统独特的高生产力造成的。如同时对渚碧礁水域的调查结果表明,其初级生产力高于海区,为 $2.623\ \text{mg C} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ (吴成业等,2001),这与本文浮游植物现存量的调查结果相吻合。

渚碧礁潟湖中浮游植物的分布也受到了外源水的影响。由于东南部底层海水的涌升,加上与流入潟湖的礁外海水混合后沿西北方向流出,使渚碧礁潟湖水体受到扰动(林洪瑛等,1997)。在东南—西北轴线附近水域,由于受水流扰动和外部水冲入的影响较大而对浮游植物生长产生负面效应;而在沿该轴线远离的两侧水域,由于受到的影响逐渐减小而保持了越来越高的浮游植物密度。此外,渚碧礁潟湖浮游植物的分布与该潟湖溶解氧(DO)的分布极为相似(林洪瑛等,1997),也显示了浮游植物很可能对该潟湖中的溶解氧浓度(DO)的分布起着重要的作用。

5 小 结

1) 1999年春季南沙群岛海区浮游植物密度(平均值 $1.03 \times 10^4\ \text{cells}/\text{m}^3$)略高于夏季(平均值 $0.73 \times 10^4\ \text{cells}/\text{m}^3$),渚碧礁潟湖水域的密度($2.49 \times 10^4\ \text{cells}/\text{m}^3$)明显高于外部开阔海区。

2) 1999年春夏季浮游植物物种多样性丰富。春季在渚碧礁水域共采获浮游植物26属51种,大面站共检出浮游植物31属109种,夏季在大面站共检出38属172种。浮游植物多样性指数平均值按大小排列,依次为:春季(4.35) > 夏季(4.01) > 渚碧礁潟湖(2.92)。渚碧礁潟湖水域的多样性水平明显低于深海区,这可能是由于地域分隔造成调查水域在面积范围、深度和水化学条件等因素的差异造成的。

3) 南沙群岛海区浮游植物的分布与营养盐、水动力和浮游动物摄食等因素均有一定的关系。

在夏季,浮游植物的数量及分布受水文及营养盐分布的影响较为明显,而在春季某些区域的分布与浮游植物受来自浮游动物的摄食压力密切相关。该海区浮游植物的组成及分布与环境的具体关系尚有待于进一步研究。

参考文献

- 陈清潮, 1996. 中国海洋生物多样性的现状与展望. 生物多样性, 4(3): 21 ~ 27
- 黄企洲, 方文东, 陈荣裕, 2001. 南沙海区西南季风变化情况探讨. 热带海洋学报, 20(1): 18 ~ 26
- 林洪瑛, 韩舞鹰, 吴林兴, 王汉奎, 1997. 渚碧礁潟湖的水动力学过程. 见: 中国科学院南沙综合科学考察队(编), 南沙群岛珊瑚礁潟湖化学与生物学研究. 北京: 海洋出版社, 1 ~ 7
- 林永水, 林秋艳, 1991. 南沙群岛海区浮游植物的分布特征. 见: 中国科学院南沙综合科学考察队(编), 南沙群岛及其邻近海区海洋生物研究论文集. 北京: 海洋出版社, 66 ~ 88
- 马克平, 1994. 生物群落多样性的测度方法. 见: 钱迎倩, 马克平(主编), 生物多样性研究的原理与方法. 北京: 中国科学技术出版社, 141 ~ 165
- 钱树本, 陈国蔚, 1996. 南沙群岛海区浮游植物多样性研究. 见: 中国科学院南沙综合科学考察队(编), 南沙群岛及其邻近海区海洋生物多样性研究 II. 北京: 海洋出版社, 11 ~ 27
- 王斌, 1999. 中国海洋生物多样性的保护与管理对策. 生物多样性, 7(4): 347 ~ 350
- 吴成业, 张建林, 黄良民, 2001. 南沙群岛珊瑚礁潟湖及附近海区春季初级生产力. 热带海洋学报, 20(3): 59 ~ 67
- 中国科学院南沙综合科学考察队, 1989. 南沙群岛及其邻近海区综合调查报告(一)(上卷). 北京: 科学出版社, 93 ~ 100
- 中国科学院南沙综合科学考察队, 1989. 南沙群岛及其邻近海区综合调查报告(一)(下卷). 北京: 科学出版社, 652 ~ 659

附录 1999 年春夏季南沙群岛邻近海区浮游植物种名录
Appendix Species of phytoplankton in waters around Nansha Islands in spring and summer , 1999

种名 Species	夏季 Spring	春季 Summer	渚碧礁 Zhuibi Reef	种名 Species	夏季 Spring	春季 Summer	渚碧礁 Zhuibi Reef
硅藻门 Bacillariophyta				金色花盘藻 <i>Chrysanthemodiscus floriatus</i>			√
翼茧形藻 <i>Amphiprora alata</i>	√			小环毛藻 <i>Corethron hystrix</i>	√		
日本星杆藻 <i>Asterionella japonica</i>			√	星脐圆筛藻 <i>Coscinodiscus astromphalus</i>			√
大星纹藻 <i>Asterolampra vanheurckii</i>	√	√		弓束圆筛藻 <i>C. curvatulus</i>	√		
美丽星脐藻 <i>Asteromphalus elegans</i>	√			多束圆筛藻 <i>C. divisis</i>	√		
克里星脐藻 <i>A. cleveanus</i>	√			离心列圆筛藻 <i>C. excentricus</i>		√	
丛毛辐杆藻 <i>Bacteriastrum cosmosum</i>	√	√		高圆筛藻 <i>C. nobilis</i>	√		
丛毛辐杆藻具棘变种 <i>B. cosmosum</i> var. <i>hispida</i>	√			虹彩圆筛藻 <i>C. oculus-iridis</i>	√		√
长辐杆藻 <i>B. elongatum</i>	√			辐射列圆筛藻 <i>C. radiatus</i>	√		
透明辐杆藻 <i>B. hyalinum</i>	√			圆筛藻 <i>C. spp.</i>	√	√	√
地中海辐杆藻 <i>B. mediterraneum</i>		√		太阳双尾藻 <i>Ditylum sol</i>	√	√	
变异辐杆藻 <i>B. varians</i>	√			巨盘藻 <i>Ethmodiscus gazellae</i>		√	
辐杆藻 <i>B. spp.</i>	√	√	√	脆杆藻 <i>Fragilaria</i> sp.	√		√
锤状中鼓藻 <i>Bellerocha malleus</i>		√		几内亚藻 <i>Guinardia flaccida</i>	√	√	
活动盒形藻 <i>Biddulphia mobilensis</i>		√		热带戈斯藻 <i>Gossleriella tropica</i>	√	√	
中华盒形藻 <i>B. sinensis</i>	√			霍克半管藻 <i>Hemiaulus hauckii</i>	√	√	√
中华盒形藻(暖水型) <i>B. sinensis</i> (暖水型)	√	√	√	印度半管藻 <i>H. indicus</i>	√	√	
柏古角管藻 <i>Cerataulina bergonii</i>	√			薄壁半管藻 <i>H. membranaceus</i>	√	√	√
中沙角管藻 <i>Ceratoulina zhongshaensis</i>			√	中华半管藻 <i>H. sinensis</i>	√	√	
均等角刺藻 <i>Chaetoceros aequatoriate</i>	√			楔形半盘藻 <i>Hemidiscus cuneiformis</i>	√	√	
窄隙角刺藻 <i>C. affinis</i>	√	√		哈德半盘藻 <i>H. hardmannianus</i>	√		
大西洋角刺藻 <i>C. atlanticus</i>	√	√		扁梯藻 <i>Isthmia</i> sp.			√
大西洋角刺藻那不勒斯变种 <i>C. atlanticu</i> var. <i>neapolitana</i>	√			北方劳德藻 <i>Lauderia borealis</i>	√		
大西洋角刺藻骨条变种 <i>C. atlanticus</i> var. <i>skeleton</i>	√	√		南极细柱藻 <i>Leptocylindrus antarcticul</i>	√		
金色角刺藻 <i>C. aurivillei</i>	√	√		地中海细柱藻 <i>L. mediterraneus</i>	√	√	
瘤面角刺藻 <i>C. bacteriastroides</i>	√			短纹楔形藻 <i>Licmophora abbreviata</i>		√	√
扁面角刺藻 <i>C. compressus</i>	√	√	√	胸隔藻 <i>Mastogloia</i> sp.	√		
密聚角刺藻 <i>C. coarctatus</i>	√	√		膜状舟形藻 <i>Navicula membranacea</i>			√
密连角刺藻 <i>C. densus</i>	√			舟形藻 <i>N. spp.</i>	√		√
双突角刺藻 <i>C. didymus</i>	√			尖刺菱形藻 <i>Nitzschia pungens</i>		√	
平滑角刺藻 <i>C. laevis</i>	√			菱形藻 <i>N. spp.</i>	√	√	√
洛氏角刺藻 <i>C. lorenzianus</i>	√	√	√	太阳漂流藻 <i>Planktoniella sol</i>	√	√	
短刺角刺藻 <i>C. messanensis</i>	√	√		斜纹藻或布纹藻 <i>Pleurosigma</i> or <i>Gyrosigma</i>			√
奇异角刺藻 <i>C. paradoxus</i>		√		渐尖根管藻 <i>Rhizosolenia acuminata</i>	√	√	√
悬垂角刺藻 <i>C. pendulum</i>	√			翼根管藻模式型 <i>R. alata</i> f. <i>genuina</i>	√		
秘鲁角刺藻 <i>C. peruvianus</i>	√	√	√	翼根管藻纤细变型 <i>R. alata</i> f. <i>gracillima</i>	√	√	√
拟弯角刺藻 <i>C. pseudocurvisetus</i>	√	√		翼根管藻印度变型 <i>R. alata</i> f. <i>indica</i>	√	√	
<i>C. saltans</i>	√	√		伯戈根管藻 <i>R. bergonii</i>	√	√	√
角刺藻 <i>C. spp.</i>	√	√	√	距端根管藻 <i>R. calcar-avis</i>	√	√	√
双凹梯形藻 <i>Climacodium biconcavum</i>	√	√		卡斯根管藻 <i>R. castracanei</i>	√	√	
佛朗梯形藻 <i>C. frauenfeldianum</i>	√			克菜根管藻 <i>R. clevei</i>	√	√	
串珠梯楔藻 <i>Climacosphenia moniliger</i>			√	<i>R. cochiea</i>	√		
				粗刺根管藻 <i>R. crassispina</i>	√	√	
				圆柱根管藻 <i>R. cylindrus</i>	√		

附录（续） Appendix（continued）

种名 Species	夏季 Spring	春季 Summer	渚碧礁 Zhuibi Reef	种名 Species	夏季 Spring	春季 Summer	渚碧礁 Zhuibi Reef
脆根管藻 <i>R. fragilissima</i>		√		拟镰角藻 <i>C. falcatiforme</i>	√		
钝棘根管藻半刺变型 <i>R. hebetata</i> f. <i>semispina</i>	√	√	√	镰角藻 <i>C. falcatum</i>	√		
覆瓦根管藻 <i>R. imbricata</i>	√	√		叉状角藻 <i>C. furca</i>	√	√	√
粗根管藻 <i>R. Robusta</i>	√			梭角藻 <i>C. fusus</i>	√	√	√
刚毛根管藻 <i>R. setigera</i>	√	√		针状梭角藻 <i>C. fusus seta</i>	√	√	
中华根管藻 <i>R. sinensis</i>	√			曲肘角藻 <i>C. gentculatum</i>		√	
笔尖形根管藻 <i>R. styliformis</i>	√	√	√	瘤壁角藻异角变种 <i>C. gibberum</i> var. <i>dispar</i>	√	√	
笔尖形根管藻粗径变种 <i>R. styliformis</i> var. <i>latissima</i>	√	√	√	驼背角藻左旋型 <i>C. gibberum</i> f. <i>sinistrum</i>	√	√	
斯托根管藻 <i>R. stolterfothii</i>	√			<i>C. gracile</i>	√		
优美施罗藻 <i>Schroederella delicatula</i>	√	√		圆头形角藻 <i>C. gravidum</i>	√	√	
掌状冠盖藻 <i>Stephanopyxis palmeriana</i>	√	√		粗刺角藻 <i>C. horridum</i>	√	√	
单点条纹藻 <i>Striatella unipunctata</i>			√	网纹角藻 <i>C. hexacanthum</i>		√	
菱形海线藻 <i>Thalassionema nitzschioides</i>	√	√	√	矮胖角藻 <i>C. humile</i>		√	
细弱海链藻 <i>Thalassiosira subtilis</i>	√			膨角藻 <i>C. inflatum</i>	√	√	
海链藻 <i>T. spp.</i>			√	膨角藻变型 <i>C. inflatum</i> f. <i>scapiforme</i>	√	√	
伏恩海毛藻 <i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>	√	√		<i>C. inflexum</i>	√		
长海毛藻 <i>T. longissima</i>	√	√	√	卡氏角藻 <i>C. karstenii</i>	√	√	
蜂窝三角藻 <i>Triceratium favus</i>		√	√	卡氏角藻粗壮变型 <i>C. karstenii</i> f. <i>robustum</i>	√		
五角星三角藻 <i>T. pentacrinus</i>			√	小角藻 <i>C. kofoid</i>	√		
网纹三角藻 <i>T. reticulum</i>			√	歪斜角藻 <i>C. limulus</i>	√		
谢德三角藻 <i>T. shadboldtianum</i>			√	长顶角角藻 <i>C. longium</i>	√		
三角藻 <i>T. sp.</i>		√	√	长角角藻 <i>C. macroceros</i>	√		
甲藻门 Pyrrophyta				大角角藻橡胶实变种 <i>C. macroceros</i> var. <i>gallicum</i>	√	√	
二齿双管藻 <i>Amphisolenia bidentata</i>	√	√	√	长角角藻细弱变种 <i>C. macroceros</i> var. <i>tenuissima</i>	√		
矩形双管藻 <i>A. rectangulata</i>	√			马西里亚角藻 <i>C. massilense</i>	√	√	
四齿双管藻 <i>A. Schauinslandii</i>	√			奇异角藻 <i>C. paradoxides</i>	√		
双管藻 <i>A. sp.</i>	√			<i>C. pavillardii</i>	√		
三叉双管藻 <i>A. trinax</i>	√	√		五角形角藻 <i>C. pentagonum</i>	√	√	√
针角藻 <i>Ceratium belone</i>	√			长头形角藻 <i>C. praelongum</i>		√	
二裂角藻 <i>C. biceps</i>	√	√	√	美丽角藻 <i>C. pulchellum</i>	√		
短角藻原变种 <i>C. breve</i> var. <i>breve</i>	√	√		美丽角藻变型 <i>C. pulchellum</i> f. <i>semipulchellum</i>	√		
短角平行变种 <i>C. breve</i> var. <i>parallelum</i>	√			蛙趾角藻 <i>C. ranipes</i>	√	√	
毕氏角藻 <i>C. bigelowii</i>	√			反射角藻 <i>C. reflexum</i>	√	√	
歧分角藻 <i>C. carriense</i>	√	√		凹腹角藻 <i>C. schmidtii</i>	√		
歧分角藻飞姿变种 <i>C. carriense</i> var. <i>volans</i>			√	苏门答腊角藻 <i>C. sumatranum</i>	√		
歧分角藻飞姿变种斯里兰卡变型 <i>C. carriense</i> var. <i>volans</i> f. <i>cyanicum</i>	√	√		苏门答腊角藻角状变型 <i>C. sumatranum</i> f. <i>angulatum</i>	√	√	
脑形角藻 <i>C. cephalotum</i>	√	√		圆柱角藻 <i>C. teres</i>	√		
腊台角藻 <i>C. candelabrum</i>	√			波状角藻 <i>C. trichoceros</i>	√	√	√
腊台角藻角状变型 <i>C. condetranum</i> f. <i>angulatum</i>		√		波状角藻反形变种 <i>C. trichoceros</i> var. <i>contrarium</i>	√		
扭角藻原变种 <i>C. contortum</i> var. <i>contrum</i>	√	√		仿锚角藻 <i>C. tripodoides</i>	√	√	
扭角藻舞姿变种 <i>C. contortum</i> var. <i>saltans</i>	√	√					
偏转角藻 <i>C. deflexum</i>	√	√					
长梭角藻 <i>C. extensum</i>	√						

附录 （续） Appendix （ continued ）

种名 Species	夏季 Spring	春季 Summer	渚碧礁 Zhuibi Reef	种名 Species	夏季 Spring	春季 Summer	渚碧礁 Zhuibi Reef
三角角藻 <i>C. tripos</i>	✓	✓	✓	链状多甲藻 <i>Peridinium catenatum</i>			✓
三角藻大西洋变种 <i>C. tripos</i> var <i>atlanticum</i>	✓			扁形多甲藻 <i>P. depressum</i>	✓	✓	
兀鹰角藻 <i>C. vultur</i>	✓			优美多甲藻颗粒变型 <i>P. elegans</i> f. <i>granulata</i>		✓	✓
兀鹰角藻日本变种 <i>C. vultur</i> var. <i>Japonicus</i>	✓			丰满多甲藻 <i>P. grande</i>	✓	✓	
兀鹰角藻变种原变型 <i>C. vultur</i> var. <i>vultur</i> f. <i>vcultur</i>	✓			大洋多甲藻 <i>P. oceanicum</i>	✓		
兀鹰角藻 苏门答腊变种 <i>c. vultur</i> var. <i>sumatranum</i>	✓	✓		优美多甲藻 <i>P. elegans</i>	✓		
角藻 <i>C. spp.</i>	✓	✓		多甲藻 <i>P. spp.</i>	✓		
多刺角甲藻 <i>Ceratocorys horrida</i>	✓	✓		梭梨甲藻 <i>Pyrocystis fusiformis</i>	✓	✓	
具尾鳍藻 <i>Dinophysis caudata</i>	✓		✓	钩梨甲藻 <i>P. hamulus</i>	✓	✓	
勇士鳍藻 <i>D. miles</i>	✓	✓		钩梨甲藻异肢变种 <i>P. hamulus</i> var. <i>inaequalis</i>	✓	✓	
鳍藻 <i>D. sp.</i>	✓			钩梨甲藻半圆变种 <i>P. hamulus</i> var. <i>semicircularis</i>	✓		
华美鸟尾藻 <i>Ornithocercus magnificus</i>	✓	✓		新月梨甲藻 <i>P. lunula</i>	✓		✓
方鸟尾藻 <i>O. quadratus</i>	✓	✓		夜光梨甲藻 <i>P. noctiluca</i>	✓		
<i>O. serratus</i>	✓			拟夜光梨甲藻 <i>P. pseudonocutiluca</i>	✓	✓	✓
美丽鸟尾藻 <i>O. splendidus</i>	✓	✓		拟夜光梨甲藻双凸变型 <i>P. pseudonocutiluca</i> f. <i>biconia</i>	✓	✓	
四叶鸟尾藻 <i>O. steinii</i>	✓	✓		浅弧梨甲藻 <i>P. gerbaulti</i>	✓		
中距鸟尾藻 <i>O. thurnii</i>	✓			扁甲藻 <i>Pyrophacus horologicum</i>	✓	✓	
鸟尾藻 <i>O. sp.</i>	✓			硅鞭藻 <i>Dictyocha</i> sp.	✓		
刺尖甲藻 <i>Oxytoxum scolopax</i>	✓						

（ 责任审稿人 :于丹 ;责任编辑 :闫文杰 ）