

2016年秋季热带西太平洋网采浮游植物群落结构

陈卓^{1,2}, 孙军^{1,2}, 张桂成^{1,2}

(1. 天津科技大学 天津市海洋资源与化学重点实验室, 天津 300457; 2. 天津科技大学 海洋与环境学院, 天津 300457)

摘要: 作者于2016年9月27日~10月25日对热带西太平洋(0°~20°N, 120°~130°E)10个站位的网采浮游植物群落结构进行了采样调查。应用 Utermöhl 方法对调查海域浮游植物的物种组成、细胞丰度、优势物种以及群落多样性等相关生态特征进行了分析。希望为热带西太平洋提供一些基础的背景资料, 为以后的研究奠定基础。结果表明, 鉴定出浮游植物共计 4 门、66 属、243 种(包括变种、变型), 含硅藻门(Bacillariophyta)34 属、103 种, 甲藻门(Pyrrophyta)28 属、133 种, 金藻门(Chrysophyta)2 属、4 种, 蓝藻门(Cyanophyta)2 属、3 种。浮游植物细胞丰度 $1\ 965.573 \times 10^3$ 细胞/ m^3 , 其中蓝藻的细胞丰度为 $1\ 945.169 \times 10^3$ 细胞/ m^3 , 决定了浮游植物的分布格局, 占总细胞丰度的 98.96%, 高值区分布在 0°N130°E~10°N130°E 的 4 个站位(E130-13、E130-15、E130-17、E130-19); 硅藻丰度在 20°N 断面 N20-4 站位存在高值区; 甲藻丰度在 130°E 断面的 3 个站位(E130-10、E130-13、E130-15)存在高值区。本次调查的优势种依次为铁氏束毛藻(*Trichodesmium thiebaultii*)、扁形原甲藻(*Prorocentrum compressum*)、扁豆原甲藻(*Prorocentrum leniculatum*)、胞内植生藻(*Richelia intracellularis*)、菱形海线藻(*Thalassionema nitzschioides*)、细弱海链藻(*Thalassiosira subtilis*)、具边线形圆筛藻(*Coscinodiscus marginato-lineatus*)、科氏角藻(*Ceratium kofoidii*)、鲁比膝沟藻(*Gonyaulax lurbynaii*)、中华半管藻(*Hemiaulus sinensis*)、霍氏半管藻(*Hemiaulus hauckii*)、小等刺硅鞭藻(*Dictyocha fibula*)。Shannon-Weiner 多样性指数的均值为 2.440, Pielou 均匀度指数的均值为 0.163。相关分析结果显示浮游植物空间分布主要受 $PO_4\text{-P}$ 、 $NH_4\text{-N}$ 的影响, 且由蓝藻的相关性决定的。聚类分析得出群落结构分为大洋群聚和近岸群聚两种类型(其中大洋群聚的站位又划分为 0°~10°N 纬度范围聚集和 10°~20°N 纬度范围聚集)。

关键词: 浮游植物; 群落结构; 相关分析; 聚类分析; 热带西太平洋

中图分类号: Q948.8 文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2018)07-0114-17

DOI: 10.11759/hyxx20180331002

浮游植物贡献了全球海洋约一半的初级生产量且在维持整个生态系统的稳定起着积极的作用^[1], 浮游植物是海洋中食物链及食物网的启动者^[2], 因其具有代表性强、物种多样和受人类捕捞活动影响小等优点, 而成为海洋环境和气候变化的良好指示^[3], 所以对浮游植物群落结构的调查研究在海洋生态学上是非常重要的。

太平洋覆盖了地球约 1/3 的总面积以及近 1/2 的水面, 是地球上最大、最深和岛屿最多的大洋^[4]。作者研究的热带西太平洋区域的年平均海水温度不低于 28°C, 称为西太平洋暖池(West Pacific Warm Pool, WPWP), 是全球大洋中对海水加热能力最强、向大气传输辐射热和通过蒸发运送潜热最强的海域, 对全球气候变化有着巨大的调控作用^[5]。作为全球海洋中最大的暖水团, WPWP 是全球 3 大暖池共同组成的

全球水温最高的海域^[6]; 大气对流较为强烈, 是驱动 Walker 环流和 Hadley 环流系统的重要热源, 对东亚以及全球气候有重要影响^[7]。热带西太平洋具有十分不规则的边界, 岛屿众多, 同时它的洋流体系也十分复杂。总体来说有 3 大洋流体系影响西太平洋区

收稿日期: 2018-03-31; 修回日期: 2018-06-14

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(2015CB954002); 国家自然科学基金(41676112, 41276124, 41876134); 天津市高等学校创新团队培养计划(TD12-5003); 孙军的长江学者奖励计划

[Foundation: National Program on Key Basic Research Project, No. 2015CB954002; National Natural Science Foundation of China, No. 41676112, 41276124, 41876134; the Science Fund for University Creative Research Groups in Tianjin, No. TD12-5003; Changjiang Scholar Program of Chinese Ministry of Education of China to Jun Sun]

作者简介: 陈卓(1994-), 女, 天津人, 硕士, 从事海洋浮游植物群落的研究, 电话: 13102137601, E-mail: chenzhuo981@163.com; 孙军, 通信作者, E-mail: phytoplankton@163.com

域: 北赤道流(North Equatorial Current, NEC, 10°~25°N)、北赤道逆流(North Equatorial Counter Current, NECC, 4°~25°N)和南赤道流(South Equatorial Current, SEC, 4°N~20°S)。北赤道流在向西运动的过程中遇到菲律宾群岛的阻碍, 在 14°~15°N 的菲律宾海域分成向北运动的黑潮(Kuroshio Current, KC)和向南运动的棉兰老流(Mindanao Current, MC)^[8]。黑潮大弯曲伴随的中尺度涡旋是海洋中普遍存在的运动形式, 其动能占全球大洋总动能的 90%以上^[9], 在哈马黑拉岛转向的棉兰老流形成向东运移的赤道逆流^[8]。此外, 穿过印度尼西亚群岛的来自南海的一股表层洋流汇入北赤道逆流中^[10]。由于该区域全年都有较高的太阳辐照, 南北赤道洋流向西流动, 使得赤道西太平洋暖水堆积, 从而造就了全球开阔大洋中面积最大温度最高的西太平洋暖池, 它拥有厚达 100 m~150 m 的温跃层, 通常比赤道东太平洋高 3~6°C^[11]。由于该区域年降雨量较大, 雨水的冲淡作用降低了表层海水的盐度, 受到温跃层厚度的影响, 也具有较深的营养盐跃层, 从而使得下层富营养水很难上涌, 进而表层表现出较低的生产力, 是典型的高温低盐寡营养低生产力海域^[12]。但西太平洋暖池西部拥有比较高的生产力, 它的沉积物中富含生物硅^[13]。作者研究的区域是亚热带海域的黑潮源区, 黑潮起始于菲律宾以东海域, 通过吕宋海峡、台湾流入东海, 最后流入北太平洋环流。黑潮的特点是大流量、高流速、高温和高盐等特点^[9], 所以研究该地区浮游植物群落结构尤为重要。对该海区海洋物理过程前人已经有了较多的研究, 而对黑潮区浮游植物的研究可追溯到 20 世纪 70 年代, 国内外学者已经作了大量的工作, 尤其日本学者 Shiro Fujioka 等^[14]分析了靠近日本海海域的黑潮水团, 并用浮游植物作为指标种。1965~1979 年黑潮国际联合调查(CSK)对日本以南海域黑潮与海洋生物的关系做了系统的研究^[15]。Kawarada 等^[16]详细地报道了黑潮区浮游生物的分布和组成。1986 年起, 中日两国海洋学家开展了“中日黑潮联合调查研究”, 航次调查的项目有水文、气象、化学和生物^[17]。1997 年, 孙军^[18]等, 刘东艳^[19]等又进一步对琉球群岛及其附近海域的浮游硅藻、甲藻种类组成和丰度分布进行了研究。已有资料数据亟待完善更新。

作者对 2016 年 9 月~10 月的热带西太平洋浮游植物网采样品进行了分析并对浮游植物群落结构进行了鉴定, 探讨浮游植物群落结构对环境因子变化

的表征, 从而为该区域的浮游生态研究积累一定的资料。

1 材料与方法

1.1 调查站位

本次研究于 2016 年 9 月 27 日~10 月 25 日对热带西太平洋(0°~20°N, 120°~130°E)的区域进行调查。共采集垂直拖网样品 10 个, 调查站位如图 1 所示, 图中洋流走势参考瞿方国^[20]和赵君^[21]。

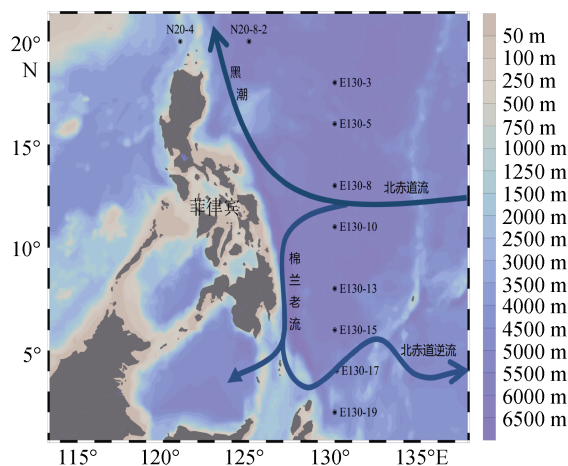


图 1 西太平洋调查站位

Fig. 1 Sampling stations in the Western Pacific Ocean

1.2 采样及分析方法

1.2.1 浮游植物鉴定

本次研究样品采集使用 WP2 型浮游生物网(网身长 271 cm, 网口直径为 57 cm, 网口面积为 0.25 m², 网孔径 20 μm, 下放速度 0.5 m/s, 回收速度 0.1 m/s, 滤水量通过流量计获得), 在每个调查站位从距海表深度 200 m 自下而上垂直拖网 1 次。将样品收集盛入 500 mL 的 PE 瓶中, 用甲醛溶液固定为终浓度 2%后置于阴凉处保存。实验室内分析方法为: 充分混匀浮游植物海水样品后, 取 1 mL 浮游植物海水样品于计数框(Utermöhl 型)中^[22], 在倒置显微镜(Motic AE2000 型 200 倍或 400 倍)下进行浮游植物群落结构定性定量的鉴定。参照金德祥^[23]和山路勇^[24]对浮游植物物种的鉴定, 中文名及拉丁文名参照中国海区常见浮游植物种名更改初步意见^[25]。蓝藻中的束毛藻成束状, 故采取藻丝体数与单藻丝体平均细胞数乘积计数方法定量, 其他藻类采取直接计数方法定量。温度、盐度和深度等理化参数现场通过 CTD 获得。

1.2.2 营养盐分析

根据生物量大小取 500 mL~1000 mL 水样于经过 450℃灼烧后的 GF/F (Whatman)滤膜上过滤,将滤液储存于由体积比 1:5 (HCl:H₂O)盐酸溶液清洗过的 PE 瓶中,冷冻保存于-20℃用于营养盐分析。使用营养盐自动分析仪 AA3(SEAL, German)对营养盐进行测定,采用磷钼蓝法测定溶解无机磷(PO₄-P),检出限为 0.02μmol/L;采用硅钼蓝法测定溶解硅酸盐(SiO₃-Si),检出限为 0.02 μmol/L;采用钼柱测定还原法硝酸盐(NO₃-N),检出限为 0.01μmol/L;采用萘乙二胺法测定亚硝酸盐(NO₂-N),检出限为 0.01 μmol/L;采用水杨酸钠法测定氨盐(NH₄-N),检出限为 0.03μmol/L。采样层次为:0、25、50、75、100、150、200 m。各水层的营养盐数值测得后,通过水柱积分计算获得。

1.3 数据处理方法

根据优势度的值(Y)^[26]来确定浮游植物的优势种:

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

采用 Shannon-Weiner 多样性指数(H')^[27]来计算物种多样性指数,计算公式为:

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

采用 Pielou^[28]指数来计算物种均匀度指数(J),计算公式为:

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

式中, n_i 为第*i*种的细胞个数; N 为该次调查所采集的样品中浮游植物的总细胞个数;所采集的样品中的总种类数记为*S*;第*i*种在样品中的细胞丰度概率记为*P_i*,即*n_i*/*N_i*;第*i*种在各样品中出现的频率记为*f_i*。

本文通过统计分析软件 SPSS20.0(IBM 统计数据包)对网采浮游植物细胞丰度与温度、盐度和营养盐之间进行相关性分析,其中温度、盐度和营养盐进行了 200 m 的水柱积分;并进一步通过聚类分析来反映浮游植物的地理位置差别性;文中分别采用软件 Ocean Data View 4.10、Origin 9.0 和 Primer 6.0 进行作图。

2 结果

2.1 水文条件

调查海域温度、盐度在垂直分布上,随采样深度

增加温度逐渐降低,盐度则呈与之相反的趋势。表层(5 m)水体各站位温度值介于 28.69℃~30.14℃,温度变化不大,平均为 29.62℃,盐度介于 33.80~34.65,平均值为 34.19。中层(75 m)水体各站位温度值介于 25.37℃~29.32℃,平均为 27.95℃,温度稍有变化,由北到南温度呈现升高降低再升高的趋势,盐度介于 34.21~35.08,平均值为 34.65。下层(200 m)水体各站位温度值介于 13.44℃~21.43℃,平均为 16.88℃,温度变化较大,温度由北到南呈现降低趋势,盐度介于 34.47~35.08,平均值为 34.75。各水层盐度变化趋势为海区南部的盐度低于海区北部。西太平洋的月平均(2016年9月28日~10月25日)海平面高度图如图 2 所示,可以看出 0°N~20°N 范围内的海区大致分为两部分,0°N~10°N 的海平面高度明显高于 10°N~20°N 的海平面高度。

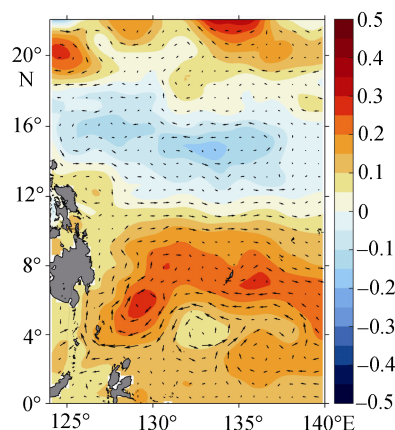


图 2 西太平洋月平均海平面高度图

Fig. 2 Mean sea level anomaly of the Western Pacific Ocean

2.2 浮游植物物种组成、细胞丰度及分布

2.2.1 浮游植物物种组成

鉴定出浮游植物共 4 门、66 属、243 种(包括变型、变种)(表 1),其中硅藻门共计 34 属、103 种,甲藻门共计 28 属、133 种,蓝藻门共计 2 属、3 种,金藻门共计 2 属、4 种。硅藻门中,角毛藻属(*Chaetoceros*)的物种数最多(25 种),占硅藻总物种数的 24.27%,其次为根管藻属(*Rhizosolenia*)(12 种),再次为圆筛藻属(*Coscinodiscus*)(9 种)。甲藻门中角藻属(*Ceramium*)的物种数最多(32 种),占甲藻总物种数的 24.06%,其次为原多甲藻属(*Protoperdinium*)(31 种),再次为鳍藻属(*Dinophysis*)(12 种)。本次调查发现蓝藻门胞内植生藻(*Richelia intracellularis*),与 3 种硅藻共生,

分别为笔尖形根管藻(*Rhizosolenia styliiformis*)、扁面角毛藻(*Chaetoceros compressus*)、圆柱几内亚藻

(*Guinardia cylindrus*), 其中以与笔尖形根管藻的共生生态为主, 其自身游离态的形式也存在。

表 1 调查区浮游植物的物种组成

Tab. 1 Phytoplankton species composition in survey area

中文名	拉丁文名	中文名	拉丁文名
硅藻门(Bacillariophyta)		内折角藻(<i>Ceramium inflexum</i> Roth, 1911)	
六幅辐裯藻(<i>Actinoptychus senarius</i> (Ehrenberg) Ehrenberg, 1843)		彭角藻(<i>Ceratium inflatum</i> (Kofoid) E.G.Jørgensen, 1911)	
冰河拟星杆藻(<i>Asterionellopsis glacialis</i> (Castracane) Round, 1990)		科氏角藻(<i>Ceratium kofoidii</i> Jørgensen, 1911)	
美丽星脐藻(<i>Adeomphalus elegans</i> Kano, Chikyu & Warén, 2009)		长角藻(<i>Ceratium longinum</i> (Karsten) Jørgensen, 1911)	
扇形星脐藻(<i>Asteromphalus flabellatus</i> (Brébisson) Greville, 1859)		长角角藻(<i>Ceratium longissimum</i> (Schröder) Kofoid, 1907)	
近圆星脐藻(<i>Asteromphalus heptactis</i> (Brébisson) Ralfs, 1861)		大角角藻(<i>Ceratium macroceros</i> (Ehrenberg) Cleve, 1899)	
南方星芒藻(<i>Asterolampra marylandica</i> Ehrenberg, 1844)		大角角藻窄变种(<i>Ceratium macroceros</i> var. <i>gallicum</i> (Kofoid) Sournia, 1966)	
大星芒藻(<i>Asterolampra vanheurckii</i> Brun, 1891)		日本角藻(<i>Ceratium nipponicum</i> Okamura, 1911)	
长辐杆藻(<i>Bacteriastrum elongatum</i> Cleve, 1897)		圆胖角藻(<i>Ceratium paradoxides</i> Cleve, 1900)	
丛毛辐杆藻(<i>Bacteriastrum comosum</i> Pavillard, 1916)		帕氏角藻(<i>Ceratium pavillardii</i> Jørgensen, 1911)	
优美辐杆藻(<i>Bacteriastrum delicatulum</i> Cleve, 1897)		美丽角藻(<i>Ceratium pulchellum</i> Schröder, 1906)	
叉状辐杆藻(<i>Bacteriastrum furcatum</i> Shadbolt, 1854)		反射角藻(<i>Ceratium reflexum</i> Cleve, 1900)	
透明辐杆藻(<i>Bacteriastrum hyalinum</i> Lauder, 1864)		凹腹角藻(<i>Ceratium schmidtii</i> Jørgensen, 1911)	
活动盒形藻(<i>Biddulphia mobiliensis</i> (Bailey) Grunow, 1882)		旭氏角藻(<i>Ceratium schroederi</i> Nie, 1911)	
大洋角管藻(<i>Cerataulina pelagica</i> (Cleve) Hendey, 1937)		直角藻(<i>Ceratium strictum</i> (Okamura & Nishikawa) Kofoid, 1906)	
窄隙角毛藻(<i>Chaetoceros affinis</i> Lauder, 1864)		三叉角藻(<i>Ceratium trichoceros</i> (Ehrenberg) Kofoid, 1881)	
桥联角毛藻(<i>Chaetoceros anastomosans</i> Grunow, 1882)		三角角藻(<i>Ceratium tripos</i> (Müller) Nitzsch, 1817)	
大西洋角毛藻那不勒斯变种(<i>Chaetoceros atlanticus</i> var. <i>Neapolitanus</i> (Schröd) Hustedt, 1930)		兀鹰角藻日本变种(<i>Ceratium vulter</i> var. <i>Japonicum</i> Cleve, 1911)	
多瘤面角毛藻(<i>Chaetoceros bacteriastroides</i> Karsten, 1907)		多刺角甲藻(<i>Ceratocorys horrida</i> Stein, 1883)	
北方角毛藻(<i>Chaetoceros borealis</i> Bailey, 1854)		阿斯坦音匣藻(<i>Citharistes apsteinii</i> Schütt, 1895)	
短孢角毛藻(<i>Chaetoceros brevis</i> Schütt, 1895)		盾卵形藻(<i>Cocconeis scutellum</i> Ehrenberg, 1838)	
牛角状角毛藻(<i>Chaetoceros buceros</i> Karsten, 1907)		光亮鳍藻(<i>Dinophysis argus</i> (Stein) Abé, 1967)	
密聚角毛藻(<i>Chaetoceros coarctatus</i> Lauder, 1864)		环状鳍藻(<i>Dinophysis circumscuta</i> (Kofoid & Michener) Balech, 1944)	
扁面角毛藻(<i>Chaetoceros compressus</i> Lauder, 1864)		具刺鳍藻(<i>Dinophysis doryphorum</i> (Stein, 1883) Abé vel Balech, 1967)	
达蒂角毛藻(<i>Chaetoceros dadayi</i> Pavillard, 1913)		帽状鳍藻(<i>Dinophysis mitra</i> (Schütt) Abé, 1967)	
并基角毛藻(<i>Chaetoceros decipiens</i> Cleve, 1873)		轮状鳍藻卵形变种(<i>Dinophysis orbicularis</i> var. <i>Ovata</i> , 1933)	
远距角毛藻(<i>Chaetoceros distans</i> Cleve, 1873)		卵圆鳍藻(<i>Dinophysis ovata</i> Claparède & Lachmann, 1859)	
异角毛藻(<i>Chaetoceros diversus</i> Cleve, 1873)		卵形鳍藻(<i>Dinophysis ovum</i> Schütt, 1895 sensu Martin, 1929)	
粗股角毛藻(<i>Chaetoceros femur</i> var. <i>femur</i> Schutt, 1895)		斯氏鳍藻(<i>Dinophysis schuettii</i> Murray & Whitting, 1899)	

中文名	拉丁文名	中文名	拉丁文名
棘角毛藻	<i>Chaetoceros imbricatus</i> Mangin, 1912	萝卜鳍藻	<i>Dinophysis rapa</i> (Stein) Balech, 1883
印度角毛藻	<i>Chaetoceros indicus</i> Karsten, 1907	圆形鳍藻	<i>Dinophysis rotundata</i> Claparède & Lachmann, 1859
劳氏角毛藻	<i>Chaetoceros lorenzianus</i> Grunow, 1863	尾棘鳍藻	<i>Dinophysis uracantha</i> Stein, 1883
短叉角毛藻	<i>Chaetoceros messanense</i> Castracane, 1875	弱小鳍藻	<i>Dinophysis exigua</i> Kofoid & Skogsberg, 1928
窄面角毛藻	<i>Chaetoceros paradoxus</i> Cleve, 1873	倒卵形鳍藻	<i>Dinophysis fortii</i> Pavillard, 1923
海洋角毛藻	<i>Chaetoceros pelagicus</i> Cleve, 1873	淡褐双壁藻	<i>Diploneis fusca</i> (Gregory) Cleve, 1894
秘鲁角毛藻	<i>Chaetoceros peruvianus</i> Brightwell, 1856	球状拟翼藻	<i>Diplopsalopsis orbicularis</i> (Paulsen) Meunier, 1910
根状角毛藻	<i>Chaetoceros radicans</i> Schütt, 1895	轮状拟翼藻卵形变种	<i>Diplopsalopsis orbicularis</i> var. <i>Ovata</i> Abé, 1941
舞姿角毛藻	<i>Chaetoceros saltans</i> Cleve, 1897	新月球甲藻	<i>Dissodinium lunula</i> (Schütt) Klebs, 1916
范氏角毛藻	<i>Chaetoceros van heurckii</i> Gran, 1897	叶状薄甲藻	<i>Glenodinium foliaceum</i> Stein, 1883
角毛藻	<i>Chaetoceros</i> spp.)	尖尾膝沟藻	<i>Gonyaulax apiculata</i> Entz, 1904
佛氏梯形藻	<i>Climacodium biconcavum</i> Cleve, 1897	海雷膝沟藻	<i>Gonyaulax heghlei</i> , 1976
宽梯形藻	<i>Climacodium frauenfeldianum</i> Grunow, 1868	鲁比膝沟藻	<i>Gonyaulax lurbynaii</i> , 1976
明壁圆筛藻	<i>Coscinodiscus debilis</i> Grove in Schmidt et al., 1890	单刺膝沟藻	<i>Gonyaulax monacantha</i> Pavillard, 1916
格氏圆筛藻	<i>Coscinodiscus granii</i> Gough, 1905	多边膝沟藻	<i>Gonyaulax polyedra</i> Stein, 1883
琼氏圆筛藻	<i>Coscinodiscus jonesianus</i> (Greville) Ostenfeld, 1915	多纹膝沟藻	<i>Gonyaulax polygramma</i> Stein, 1883
具边线形圆筛藻	<i>Coscinodiscus marginato-lineatus</i> Schmidt, 1878	具刺膝沟藻	<i>Gonyaulax spinifera</i> Murray & Whitting, 1899
高圆筛藻	<i>Coscinodiscus nobilis</i> Grunow, 1879	图比膝沟藻	<i>Gonyaulax turbynei</i> Murray & Whitting, 1899
彩虹圆筛藻	<i>Coscinodiscus oculus-iridis</i> (Ehrenberg) Ehrenberg, 1840	短小裸甲藻	<i>Gymnodinium abbreviatum</i> Kofoid & Swezy, 1921
辐射列圆筛藻	<i>Coscinodiscus radiatus</i> Ehrenberg, 1840	深绿裸甲藻	<i>Gymnodinium aeruginosum</i> , 1883
肾形圆筛藻	<i>Coscinodiscus reniformis</i> Castracane, 1886	洛氏裸甲藻	<i>Gymnodinium lohmannii</i> Paulsen, 1908
细弱圆筛藻	<i>Coscinodiscus subtilis</i> Ehrenberg, 1841	菱形裸甲藻	<i>Gymnodinium rhomboides</i> Schütt, 1895
条纹小环藻	<i>Cyclotella striata</i> var. <i>striata</i> (Kuetz.) Grunow, 1880	华丽裸甲藻	<i>Gymnodinium splendens</i> Lebour, 1925
矮小短棘藻	<i>Detonula pumila</i> (Castracane) Gran, 1900	尉氏裸甲藻	<i>Gymnodinium vestificii</i> Schütt, 1895
布氏双尾藻	<i>Ditylum brightwellii</i> (West) Grunow, 1885	绿色裸甲藻	<i>Gymnodinium viridescens</i> Kofoid, 1931
长角弯角藻	<i>Eucampia cornuta</i> (Cleve) Grunow, 1883	三角异孢藻	<i>Heterocapsa triquetra</i> (Ehrenberg) Stein, 1883
短角弯角藻	<i>Eucampia zodiacus</i> Ehrenberg, 1839	船形帆鳍藻	<i>Histioneis cymbalaria</i> Stein, 1883
脆杆藻	<i>Fragilaria</i> spp.)	透明帆鳍藻	<i>Histioneis hyalina</i> Kofoid & Michener, 1911
鼓形拟脆杆藻	<i>Fragilariopsis doliolus</i> (Wallich) Medlin & Sims, 1993	米尔纳帆鳍藻	<i>Histioneis milneri</i> Murray & Whitting, 1899
热带环刺藻	<i>Gossleriella tropica</i> Schütt, 1892	锥形帆鳍藻	<i>Histioneis para</i> Murray & Whitting, 1899
圆柱几内亚藻	<i>Guinardia cylindrus</i> (Cleve) Hasle, 1996	美丽帆鳍藻	<i>Histioneis pulchra</i> Kofoid, 1907
斯氏几内亚藻	<i>Guinardia striata</i> (Stolterfoth) Hasle, 1996	具肋帆鳍藻	<i>Histioneis costata</i> Kofoid & Michener, 1911
楔形半盘藻	<i>Hemidiscus cuneiformis</i> Wallich, 1860	异孔鸟尾藻	<i>Ornithocercus heteroporus</i> Kofoid, 1907

中文名	拉丁文名	中文名	拉丁文名
霍氏半管藻(<i>Hemiaulus hauckii</i> Grunow ex Van Heurck, 1882)		大鸟尾藻(<i>Ornithocercus magnificus</i> Stein, 1883)	
膜质半管藻(<i>Hemiaulus membranaceus</i> Cleve, 1873)		中矩鸟尾藻(<i>Ornithocercus thumii</i> (Schmidt) Kofoid & Skogsberg, 1928)	
中华半管藻(<i>Hemiaulus sinensis</i> Greville, 1865)		剑尖甲藻(<i>Oxytoxum gladiolus</i> , 1883)	
地中海细柱藻(<i>Leptocylindrus mediterraneus</i> (Peragallo) Hasle, 1975)		米氏尖甲藻(<i>Oxytoxum milneri</i> Murray & Whitting, 1899)	
小粒胸隔藻(<i>Mastogloia minuta</i> , 1856)		网脉尖甲藻(<i>Oxytoxum reticulatum</i> , 1906)	
嘴状胸隔藻(<i>Mastogloia rostrata</i> (Wallich) Hustedt, 1933)		刺尖甲藻(<i>Oxytoxum scolopax</i> Stein, 1883)	
舟形藻(<i>Navicula</i> spp.)		五角原甲藻(<i>Peridinium quinquecorne</i> Abé, 1927)	
长菱形藻(<i>Nitzschia longissima</i> (Brébisson) Ralfs, 1861)		掌状足甲藻(<i>Podolampas palmipes</i> Stein, 1883)	
菱形藻(<i>Nitzschia</i> spp.)		具喙原多甲藻(<i>Pronoctiluca rostrata</i> Taylor, 1976)	
活动齿状藻(<i>Odontella mobiliensis</i> (Bailey) Grunow, 1884)		扁形原甲藻(<i>Proocentrum compressum</i> (Bailey) Abé ex Dodge, 1975)	
羽纹藻(<i>Pinnularia</i> spp.)		扁豆原甲藻(<i>Proocentrum lenticulatum</i> (Matzenauer) Taylor, 1976)	
具翼漂流藻(<i>Planktoniella blanda</i> (Schmidt) Syvertsen & Hasle, 1993)		钝齿原甲藻(<i>Proocentrum obtusidens</i> Schiller, 1928)	
美丽漂流藻(<i>Planktoniella foramsa</i> Karsten, 1928)		塔玛原膝沟藻(<i>Protogonyaulax tamarensis</i> (Lebour) Taylor, 1979)	
太阳漂流藻(<i>Planktoniella sol</i> (Wallich) Schütt, 1892)		波罗地原多甲藻(<i>Proto-peridinium balticum</i> , 1974)	
翼鼻状藻(<i>Proboscia alata</i> (Brightwell) Sundström, 1986)		扁压原多甲藻(<i>Proto-peridinium cerasus</i> (Paulsen, 1907) Balech, 1973)	
柔弱伪菱形藻(<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> (Cleve) Heiden, 1928)		窄脚原多甲藻(<i>Proto-peridinium claudicans</i> (Paulsen, 1907) Balech, 1974)	
尖刺伪菱形藻(<i>Pseudo-nitzschia pungens</i> (Grunow ex Cleve) Hasle, 1993)		双曲原多甲藻(<i>Proto-peridinium conicoides</i> (Paulsen, 1905) Balech, 1974)	
距端假管藻(<i>Pseudosolenia calcar-avis</i> (Schultze) Sundström, 1986)		厚甲原多甲藻(<i>Proto-peridinium crassipes</i> (Kofoid, 1907) Balech, 1974)	
翼根管藻纤细变型(<i>Rhizosolenia alata</i> f. <i>gracillima</i> (Cleve) Grunow, 1882)		扁平原多甲藻(<i>Proto-peridinium depressum</i> (Bailey, 1854) Balech, 1974)	
伯氏根管藻(<i>Rhizosolenia bergonii</i> Peragallo, 1892)		优美原多甲藻(<i>Proto-peridinium elegans</i> f. <i>elegans</i> , 1974)	
卡氏根管藻(<i>Rhizosolenia castracanei</i> Peragallo, 1888)		脚膜原多甲藻(<i>Proto-peridinium fatulipes</i> (Kofoid, 1907) Balech, 1974)	
克莱根管藻(<i>Rhizosolenia clevei</i> Ostenfeld, 1902)		梭形原多甲藻(<i>Proto-peridinium fusiformis</i> Balech, 1974)	
厚刺根管藻(<i>Rhizosolenia crassispina</i> Schroder, 1906)		格氏原多甲藻(<i>Proto-peridinium granii</i> (Ostenfeld) Balech, 1974)	
钝根管藻半刺变型(<i>Rhizosolenia hebetata</i> f. <i>semispina</i> (Hensen) Gran, 1905)		半球形原多甲藻(<i>Proto-peridinium hemisphaericum</i> (Abé) Balech, 1988)	
透明根管藻(<i>Rhizosolenia hyalina</i> Ostenfeld, 1901)		胖原多甲藻(<i>Proto-peridinium inflatum</i> (Okamura, 1912) Balech, 1974)	
覆瓦根管藻细径变种(<i>Rhizosolenia imbricata</i> var. <i>schrubsolei</i> (Cleve) Schroder, 1960)		日本原多甲藻(<i>Proto-peridinium nipponicum</i> (Abé, 1927) Balech, 1974)	

中文名	拉丁文名	中文名	拉丁文名
粗根管藻	<i>Rhizosolenia robusta</i> Norman ex Ralfs, 1861)	椭圆原多甲藻	<i>Protopteridinium oblongum</i> (Aurivillius) Parke & Dodge, 1976)
刚毛根管藻	<i>Rhizosolenia setigera</i> Brightwell, 1858)	卵状原多甲藻	<i>Protopteridinium ovum</i> (Schiller, 1911) Balech, 1974)
笔尖形根管藻	<i>Rhizosolenia styliformis</i> Brightwell, 1858)	光甲原多甲藻	<i>Protopteridinium pallidum</i> (Ostenfeld, 1899) Balech, 1973)
笔尖形根管藻粗径变种	<i>Rhizosolenia styliformis</i> var. <i>latissima</i> Brightwell, 1858)	具柄原多甲藻	<i>Protopteridinium pedunculatum</i> (Schütt, 1895) Balech, 1974)
掌状冠盖藻	<i>Stephanopyxis palmeriana</i> (Greville) Grunow, 1884)	灰甲原多甲藻	<i>Protopteridinium pellucidum</i> Bergh, 1881)
针杆藻	<i>Synedra</i> spp.)	细孔原多甲藻	<i>Protopteridinium punctatum</i> Cleve, 1974)
长海毛藻	<i>Thalassiothrix longissima</i> Cleve & Grunow, 1880)	点刺原多甲藻	<i>Protopteridinium punctulatum</i> (Paulsen, 1907) Balech, 1974)
佛氏海线藻	<i>Thalassionema frauenfeldii</i> (Grunow) Hallegraeff, 1986)	梨状原多甲藻	<i>Protopteridinium pyriforme</i> (Paulsen, 1905) Balech, 1974)
菱形海线藻	<i>Thalassionema nitzschioides</i> (Grunow) Mereschkowsky, 1902)	夸尼原多甲藻	<i>Protopteridinium quarnerense</i> (Schröder, 1900) Balech, 1974)
诺氏海链藻	<i>Thalassiosira nordenskioldii</i> Cleve emend Berg, 1952)	直原多甲藻	<i>Protopteridinium rectum</i> (Kofoid, 1907) Balech, 1974)
细长列海链藻	<i>Thalassiosira leptopus</i> (Grunow ex van Heurck) Hasle & Fryxell, 1977)	玫瑰红原多甲藻	<i>Protopteridinium roseum</i> (Paulsen, 1904) Balech, 1974)
细弱海链藻	<i>Thalassiosira subtilis</i> (Ostenfeld) Gran, 1900)	圆原多甲藻	<i>Protopteridinium rotundatum</i> Abé, 1936)
圆海链藻	<i>Thalassiosira rotula</i> Meunier, 1910)	近无刺原多甲藻	<i>Protopteridinium subinermis</i> (Paulsen) Loeblich III, 1969)
极小海链藻	<i>Thalassiosira minima</i> Gaarder, 1951)	亚梨原多甲藻	<i>Protopteridinium subpyriforme</i> (Dangeard, 1927) Balech, 1974)
蜂窝三角藻	<i>Triceratium favus</i> Ehrenberg, 1839)	斯氏原多甲藻	<i>Protopteridinium steinii</i> (Jørgensen, 1899) Balech, 1974)
网状三角藻	<i>Triceratium reticulum</i> Weisse, 1854)	塔玛原多甲藻	<i>Protopteridinium tamarensis</i> , 1974)
甲藻门(Pyrrophyta)		方格原多甲藻	<i>Protopteridinium thorianum</i> (Paulsen, 1905) Balech, 1974)
康氏前沟藻	<i>Amphidinium conradii</i> Schiller, 1957)	稍偏原多甲藻	<i>Protopteridinium ventricum</i> (Abé, 1927) Balech, 1974)
二齿双管藻	<i>Amphisolenia bidentata</i> Schröder, 1900)	瓦氏色列甲藻	<i>Pseliodinium vaubanii</i> Sournia, 1972)
膨胀双管藻	<i>Amphisolenia inflata</i> Murray & Whitting, 1899)	纺锤梨甲藻	<i>Pyrocystis fusiformis</i> Thomson, 1876)
矩形双管藻	<i>Amphisolenia rectangulata</i> Kofoid, 1907)	钩梨甲藻异肢变种	<i>Pyrocystis hamulus</i> var. <i>inaequalis</i> Schröder, 1900)
锥形双管藻	<i>Amphisolenia schroederi</i> Kofoid, 1907)	夜光梨甲藻	<i>Pyrocystis noctiluca</i> Murray ex Haeckel, 1890)
二裂角藻	<i>Ceratium biceps</i> Claparède & Lachmann, 1859)	粗梨甲藻	<i>Pyrocystis robusta</i> Kofoid, 1907)
短角藻	<i>Ceratium breve</i> (Ostenfeld & Schmidt) Schröder, 1906)	斯氏扁甲藻	<i>Pyrophacus steinii</i> (Schiller) Wall & Dale, 1971)

中文名	拉丁文名	中文名	拉丁文名
短角藻平行变种(<i>Ceratium breve</i> var. <i>Parallelum</i> Schmidt, 1911)		锥状斯克里普藻(<i>Scrippsiella trochoidea</i> (Stein) Loeblich III, 1976)	
蜡台角藻(<i>Ceratium candelabrum</i> (Ehrenberg) Stein, 1883)		蛆尾沟藻(<i>Torodinium teredo</i> (Pouchet) Kofoid & Swezy, 1921)	
歧分角藻(<i>Ceratium carriense</i> Gourret, 1883)		金藻门(Chrysophyta)	
歧分角藻飞姿变种斯里兰卡变型(<i>Ceratium carriense</i> Gourret var. <i>volans</i> f. <i>Ceylanicum</i> , 1911)		小等刺硅鞭藻(<i>Dictyocha fibula</i> Ehrenberg, 1839)	
偏转角藻(<i>Ceratium deflexum</i> (Kofoid) Jørgensen, 1911)		小等刺硅鞭藻蹬形变种(<i>Dictyocha fibula</i> var. <i>stapedia</i> (Haeckel) Lemmermann, 1901)	
趾状角藻(<i>Ceratium digitatum</i> Schütt, 1895)		六异刺硅鞭藻(<i>Distephanus speculum</i> (Ehrenberg) Haeckel, 1887)	
叉状角藻(<i>Ceratium furca</i> (Ehrenberg) Claparède & Lachmann, 1859)		六异刺硅鞭藻多形变种(<i>Distephanus speculum</i> var. <i>Polyomorpha</i> , 1946)	
梭状角藻(<i>Ceratium fusus</i> (Ehrenberg) Dujardin, 1841)		蓝藻门 (Cyanophyta)	
纺锤角藻舒氏变种(<i>Ceratium fusus</i> var. <i>Schuettii</i> Lemmermann, 1889)		胞内植生藻(<i>Richelia intracellularis</i> Schmidt, 1901)	
瘤状角藻左旋变型(<i>Ceratium gibberum</i> var. <i>Sinistrum</i> , 1899)		汉氏束毛藻(<i>Trichodesmium hildebrandtii</i> Gomont, 1892)	
纤细角藻(<i>Ceratium gracile</i> (Gourret) Jørgensen, 1911)		铁氏束毛藻(<i>Trichodesmium thiebautii</i> Gomont, 1890)	
低顶角藻(<i>Ceratium humile</i> Jørgensen, 1911)			

2.2.2 浮游植物细胞丰度

浮游植物的总细胞丰度介于(12.062~6 892.559)×10³ 细胞/m³, 平均值为 1 965.573×10³ 细胞/m³。其中蓝藻的细胞丰度介于(3.460~6 876.335)×10³ 细胞/m³, 平均值为 1 945.169×10³ 细胞/m³, 蓝藻细胞丰度在浮游植物细胞丰度中占比 98.96%; 硅藻的丰度介于(3.134~57.924)×10³ 细胞/m³, 平均值为 11.842×10³ 细胞/m³, 硅藻细胞丰度占比 0.60%; 甲藻的丰度介于(1.755~11.493)×10³ 细胞/m³, 平均值为 8.066×10³ 细胞/m³, 甲藻细胞丰度占比 0.41%; 金藻的丰度介于(0.070~1.044)×10³ 细胞/m³, 平均值为 0.495×10³ 细胞/m³, 金藻细胞丰度在浮游植物总细胞丰度中占比 0.03%。可见蓝藻在浮游植物中占比很大, 浮游植物的分布主要由蓝藻决定。

由于蓝藻中的束毛藻为束状, 细胞数较多, 且在调查海域范围大量存在, 因此将其单独进行分析, 以免掩盖其他藻类的分布特征。剔除掉束毛藻后的浮游植物的总细胞丰度介于(8.774~57.924)×10³ 细胞/m³, 平均值为 21.083×10³ 细胞/m³。在不含束毛藻的总浮游植物细胞丰度中硅藻细胞丰度占为 56.17%, 甲藻细胞丰度为 38.26%; 不含束毛藻的蓝藻的丰度介于

(0.081~1.736)×10³ 细胞/m³, 平均值为 0.680×10³ 细胞/m³, 不含束毛藻的蓝藻细胞丰度占不含束毛藻的总浮游植物细胞丰度的 3.22%; 不含束毛藻的总浮游植物细胞丰度中的金藻细胞丰度为 2.35%。可见剔除掉蓝藻中的束毛藻后, 硅藻在浮游植物中占的比例最高, 其次为甲藻。

2.2.3 浮游植物平面分布

浮游植物、蓝藻、铁氏束毛藻及汉氏束毛藻的平面分布如图 3 所示。浮游植物(图 3a)平面分布变化较大, 但基本上以蓝藻(图 3b)为主, 且蓝藻的分布是由铁氏束毛藻(图 3c)的分布来决定的。蓝藻细胞丰度介于(3.460~6 876.335)×10³ 细胞/m³, 平均值为 1 945.169×10³ 细胞/m³, 最大值 6 876.335×10³ 细胞/m³ 出现在 E130-19 站位, 铁氏束毛藻为该站主要优势种, 其在该站的细胞丰度为 6 873.75×10³ 细胞/m³, 其为总蓝藻的细胞丰度贡献了 99.96%; 本次调查的束毛藻细胞丰度由汉氏束毛藻(图 3d)和铁氏束毛藻共同构成。

不含束毛藻的浮游植物、硅藻、甲藻及金藻的平面分布如图 3 所示。其中, 不含束毛藻的浮游植物(图 3e)平面分布变化较大。硅藻(图 3f)的细胞丰度最

大值出现在 20°N 断面的 N20-4 站位, 丰度为 57.924×10^3 细胞/ m^3 ; 甲藻(图 3g)的分布与硅藻相反, 除了 N20-4 站(该站甲藻丰度为 1.755×10^3 细胞/ m^3)为甲藻分布的最低值站, 其他站位的甲藻丰度差别相对不

大, 细胞丰度介于 $(5.223 \sim 11.493) \times 10^3$ 细胞/ m^3 , 平均值为 8.767×10^3 细胞/ m^3 。金藻(图 3h)的细胞丰度相对较低, 在各站位分布差别不大, 最高值出现在 20° N 断面的 N20-4 站位, 最大值为 1.044×10^3 细胞/ m^3 。

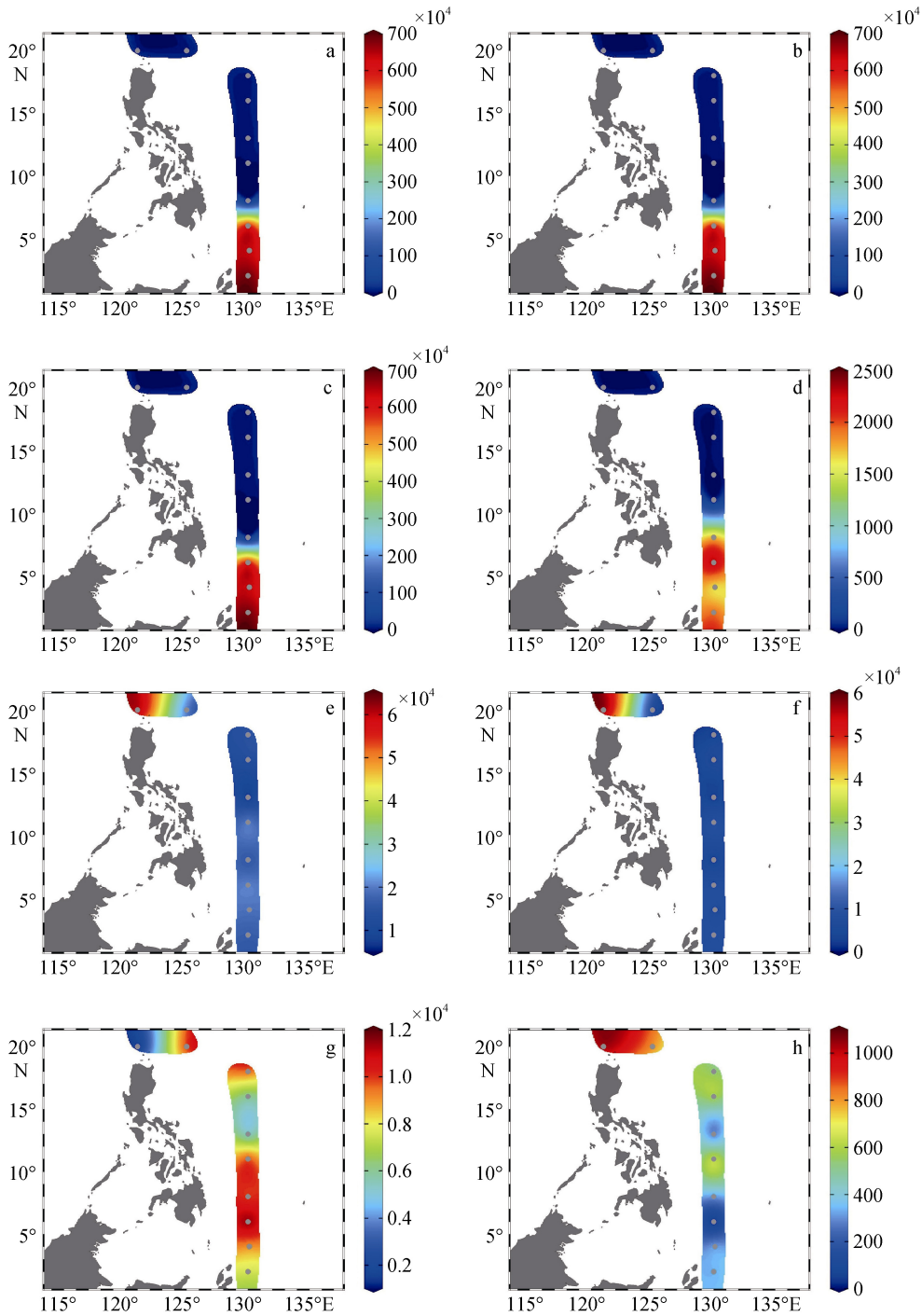


图 3 浮游植物的平面分布

Fig. 3 Horizontal distribution of phytoplankton

a. 浮游植物; b. 蓝藻; c. 铁氏束毛藻; d. 汉氏束毛藻; e. 浮游植物(不含束毛藻); f. 硅藻; g. 甲藻; h. 金藻

a. Phytoplankton; b. Cyanobacterium; c. *Trichodesmium thiebaultii*; d. *Trichodesmium hildebrandtii*; e. Phytoplankton (without *Trichodesmium*); f. Diatom; g. Dinoflagellate; h. Chrysophyceae

2.2.4 浮游植物硅甲藻比

硅藻和甲藻二者的比例是衡量一个海区群落结构是否稳定的一个关键的因素^[29]。硅甲藻物种数及细胞丰度比值的分布如图 4 所示, 硅甲藻的物种数比(图 4a、4c)介于 0.75~2.38, 平均值为 1.06, 最大值出现在北部的 N20-4 站位, 最小值出现在 E130-15 站,

大部分赤道站位的物种数比值均小于 1; 而硅甲藻的丰度比(图 4b、4d)介于 0.43~33.01, 平均值为 4.00, 最大值同样出现在北部的 N20-4 站位, 最小值出现在 E130-3 站, 表明硅藻和甲藻物种数相差不大, 但在丰度上硅藻占明显优势, 且在 N20-4 站硅藻的优势最显著。

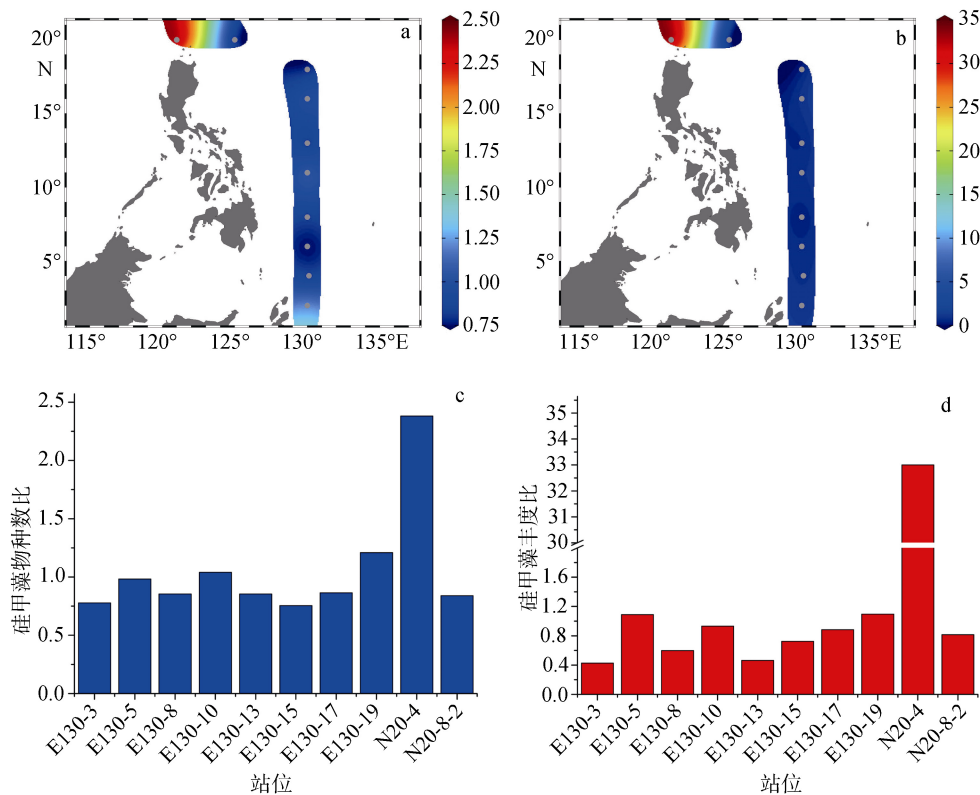


图 4 硅藻、甲藻物种数比值及细胞丰度比值的水平分布和柱状图

Fig. 4 Horizontal distribution and the histogram of ratio of diatom and dinoflagellate species number and cell abundance

a. 硅甲藻物种数比水平分布图; b. 硅甲藻丰度值比水平分布图; c. 硅甲藻物种数比柱状图; d. 硅甲藻丰度比柱状图

a. Species number with horizontal distribution; b. Cell abundance with horizontal distribution; c. Species number with the histogram; d. Cell abundance with the histogram

2.3 优势种组成及分布

前 12 种优势种主要为硅藻(5 种), 其次为甲藻(4 种), 再次为蓝藻(2 种), 还有金藻(1 种), 如表 2 和图 5 所示。铁氏束毛藻(图 5a)是一种重要的固氮蓝藻, 多见于 0~100 m 水层, 主要分布于 50 m 以上, 在热带与亚热带大洋、上层西边界流(如黑潮流域)、边缘海(如中国南海和日本海等), 水体稳定、透明度高、营养盐缺乏的海域具有较高丰度^[30]。铁氏束毛藻为本次调查的绝对优势种, 其细胞丰度介于(3.288~6 873.750)×10³ 细胞/m³, 平均细胞丰度为 1 943.727×10³ 细胞/m³, 细胞丰度在各调查站位间具有较大差异(在 10 个站位均出现), 最高值出现在 E130-19 站位,

占该站位浮游植物细胞丰度的 99.73%。由于束毛藻成束状, 按细胞数来计算占绝对优势, 故以下 11 种优势种分析细胞丰度时均单独剔除各站束毛藻的细胞丰度(图 5)。表 2 分析细胞丰度比例和优势度时采取统一分析的方法, 未单独剔除束毛藻的丰度。

扁形原甲藻(图 5b)是大洋或近岸浮游性甲藻, 世界广泛分布^[31]。本次调查的扁形原甲藻的细胞丰度介于(0.378~3.608)×10³ 细胞/m³, 平均细胞丰度为 1.422×10³ 细胞/m³, 研究区出现率 100%, 细胞丰度最高值出现于调查海域的 E130-17 站位, 占该站位浮游植物细胞丰度的 12.53%。

扁豆原甲藻(图 5c)隶属甲藻门, 世界分布广泛,

太平洋、印度洋、马达加斯加附近海域、安达曼海均有分布^[31]。本次调查的扁豆原甲藻的细胞丰度介于 $(0.180\sim 2.412)\times 10^3$ 细胞/ m^3 ，平均细胞丰度为 1.447×10^3 细胞/ m^3 ，研究区出现率 100%，细胞丰度最高值出现于调查海域的 E130-13 站位，占该站位浮游植物细胞丰度的 13.65%。

表 2 优势种
Tab. 2 Dominant species

物种	丰度比例/%	频率	优势度
铁氏束毛藻	98.889	1	0.9891
扁形原甲藻	0.072	1	0.00071
扁豆原甲藻	0.074	1	0.0007
胞内植生藻	0.035	1	0.00034
菱形海线藻	0.171	0.2	0.00033
细弱海链藻	0.033	1	0.00032
具边线形圆筛藻	0.032	1	0.0003
科氏角藻	0.03	1	0.00029
鲁比膝沟藻	0.034	0.8	0.00026
中华半管藻	0.027	1	0.00025
霍氏半管藻	0.024	1	0.00024
小等刺硅鞭藻	0.022	1	0.00021

胞内植生藻(图 5d)隶属蓝藻门，藻丝体短，一般由 4~20 个细胞组成，在藻丝体的末端有异形胞，异形胞内有固氮酶，是进行固氮作用发生的场所^[32]。其主要分布于热带与亚热带海域，范围主要是 $36.5^{\circ}S\sim 38^{\circ}N$ ；除去对固氮生物分布影响较大的铁和磷营养盐之外，影响宿主细胞(例如本次调查海域的笔尖形根管藻)分布的因素也是影响胞内植生藻分布的因素^[33]。其在本次调查的细胞丰度介于 $(0.081\sim 1.736)\times 10^3$ 细胞/ m^3 ，平均细胞丰度为 0.68×10^3 细胞/ m^3 ，研究区出现率 100%，细胞丰度最高值出现于调查海域的 E130-17 站位，占该站位浮游植物细胞丰度的 8.34%。

菱形海线藻(图 5e)是世界广泛分布的硅藻，温带沿岸性种。其在本次调查的细胞丰度介于 $(84.6\sim 33.516)\times 10^3$ 细胞/ m^3 ，平均细胞丰度为 3.36×10^3 细胞/ m^3 ，在海区中分布不广泛(只在 E130-19 和 N20-4 这 2 个站位出现)，细胞丰度最高值出现于调查海域的 N20-4 站位，占该站位浮游植物细胞丰度的 55.12%。

细弱海链藻(图 5f)温带外洋性硅藻，世界广泛分布，在北大西洋、太平洋、印度洋、墨西哥湾均有分布^[34]。其在本次调查的细胞丰度介于 $(0.246\sim 1.575)\times 10^3$ 细胞/ m^3 ，平均细胞丰度为 0.642×10^3 细胞/ m^3 ，研究区出现率 100%，细胞丰度最高值出现于调查海域的

N20-4 站位，占该站位浮游植物细胞丰度的 2.59%。

具边线形圆筛藻(图 5g)隶属于硅藻门，是沿岸浮游性种。其在本次调查的细胞丰度介于 $(0.081\sim 0.799)\times 10^3$ 细胞/ m^3 ，平均细胞丰度为 0.623×10^3 细胞/ m^3 ，研究区出现率 100%，细胞丰度最高值出现于调查海域的 N20-8-2 站位，占该站位浮游植物细胞丰度的 6.32%。

科氏角藻(图 5h)主要为海产的甲藻，并多分布于热带海域中。其在本次调查的细胞丰度介于 $(0.170\sim 1.207)\times 10^3$ 细胞/ m^3 ，平均细胞丰度为 0.595×10^3 细胞/ m^3 ，研究区出现率 100%，细胞丰度最高值出现于调查海域的 N20-8-2 站位，占该站位浮游植物细胞丰度的 8.28%。

鲁比膝沟藻(图 5i)是甲藻门下的一种浮游植物，栖于淡水、海水或半咸水^[24]。其在本次调查的细胞丰度介于 $(0.246\sim 1.254)\times 10^3$ 细胞/ m^3 ，平均细胞丰度为 0.666×10^3 细胞/ m^3 ，在海区中分布广泛(在除 E130-17 和 N20-4 的剩下 8 个站位出现)，细胞丰度最高值出现于调查海域的 N20-8-2 站位，占该站位浮游植物细胞丰度的 6.12%。

中华半管藻(图 5j)隶属于硅藻门，藻体细胞相连成直或弯的细胞链状，温带至热带沿岸种。其在本次调查的细胞丰度介于 $(0.048\sim 2.430)\times 10^3$ 细胞/ m^3 ，平均细胞丰度为 0.526×10^3 细胞/ m^3 ，研究区出现率 100%，细胞丰度最高值出现于调查海域的 E130-10 站位，占该站位浮游植物细胞丰度的 12.07%。

霍氏半管藻(图 5k)隶属于硅藻门，暖海性沿岸或外洋种，世界广泛分布。其在本次调查的细胞丰度介于 $(0.074\sim 1.449)\times 10^3$ 细胞/ m^3 ，平均细胞丰度为 0.487×10^3 细胞/ m^3 ，研究区出现率 100%，细胞丰度最高值出现于调查海域的 N20-4 站位，占该站位浮游植物细胞丰度的 2.38%。

小等刺硅鞭藻(图 5l)隶属于金藻门，世界性分布种。其在本次调查的细胞丰度介于 $(0.070\sim 1.044)\times 10^3$ 细胞/ m^3 ，平均细胞丰度为 0.424×10^3 细胞/ m^3 ，研究区出现率 100%，细胞丰度最高值出现于调查海域的 N20-4 站位，占该站位浮游植物细胞丰度的 1.72%。

2.4 浮游植物多样性指数

群落结构稳定性是多因素共同作用的结果^[35]，为了更全面的表征该区域的物种多样性，作者采用 Shannon-Weiner(S-W)多样性指数(H')和 Pielou 均匀度指数(J)对群落物种多样性进行综合分析如图 6 所示。

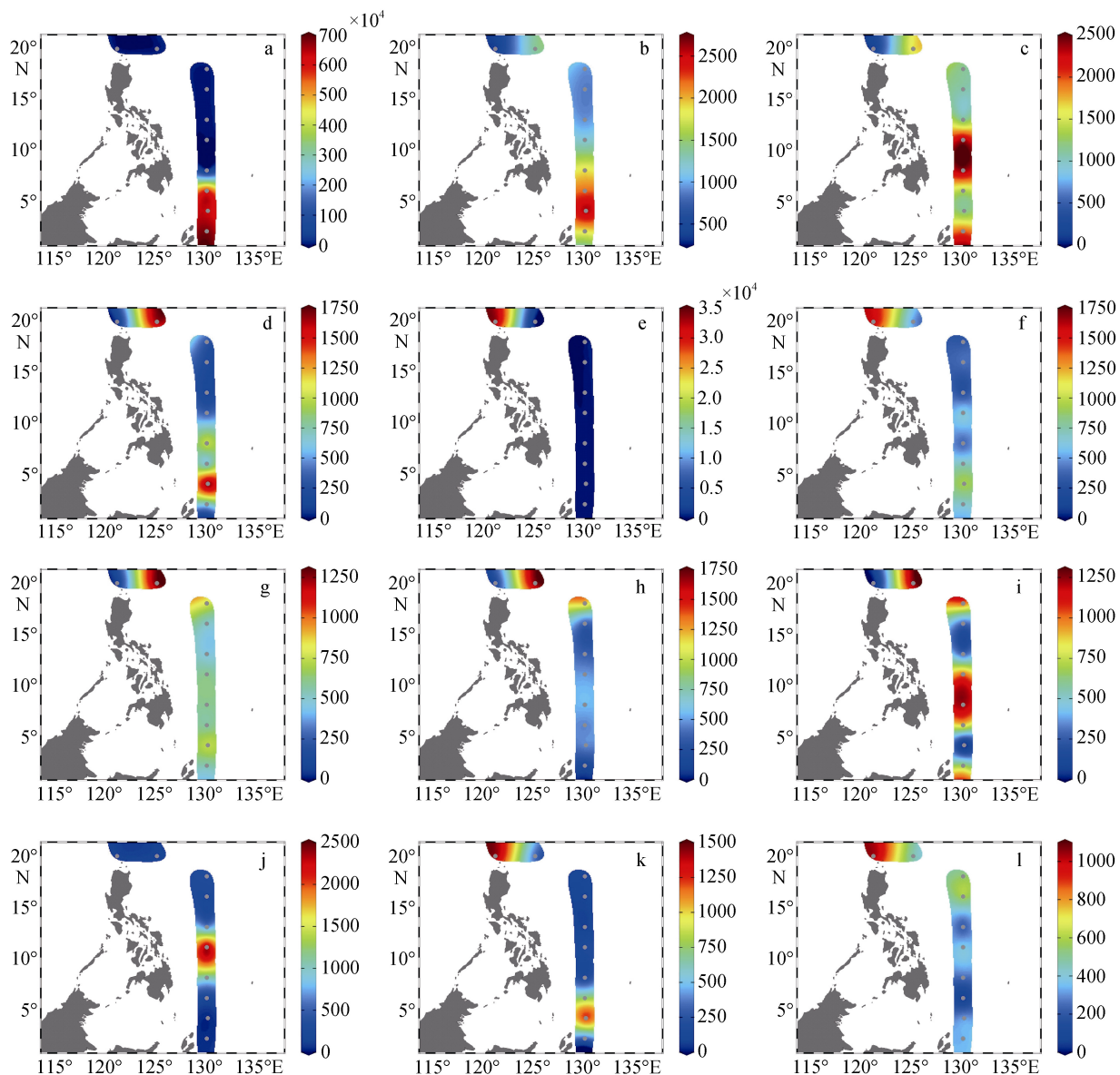


图 5 优势种平面分布(细胞/m³)

Fig. 5 Horizontal distribution of the dominant species (cells/m³)

a. 铁氏束毛藻; b. 扁形原甲藻; c. 扁豆原甲藻; d. 胞内植生藻; e. 菱形海线藻; f. 细弱海链藻; g. 具边线形圆筛藻; h. 科氏角藻; i. 鲁比膝沟藻; j. 中华半管藻; k. 霍氏半管藻; l. 小等刺硅鞭藻
 a. *Trichodesmium thiebaultii*; b. *Prorocentrum compressum*; c. *Prorocentrum leniculatum*; d. *Richelia intracellularis*; e. *Thalassionema nitzschioides*; f. *Thalassiosira subtilis*; g. *Coscinodiscus marginato-lineatus*; h. *Ceratium kofoidii*; i. *Gonyaulax lurbynaii*; j. *Hemiaulus sinensis*; k. *Hemiaulus hauckii*; l. *Dictyocha fibula*

浮游植物的 S-W 多样性指数(图 6a)数值介于 0.042~5.081, 平均值为 2.440, 最高值位于 E130-10 站, 该站出现 105 种; 其次是 E130-8 站(4.86), 该站出现 106 种, 这两个站位的共同点是生物多样性较高不存在明显的优势种呈现较为平衡的细胞丰度, 各物种的细胞丰度均衡, 群落结构复杂。其他群落组成有相似特点的站点也拥有较高的多样性指数值。E130-15(0.057)、E130-17(0.050)、E130-19(0.042)这 3

个站的多样性指数很低, 但这 3 个站的物种数分别为 118、114 和 99, 物种数与其他站相差不大, 主要是因为这 3 个站的铁氏束毛藻为绝对优势种, 铁氏束毛藻占这 3 站的细胞丰度分别为 99.63%、99.67%、99.73%, 因此这 3 站的物种多样性相对较差。

浮游植物的 Pielou 均匀度指数(图 6b)数值介于 0.002~0.358, 平均值为 0.163。最高值出现在 E130-8 站(0.358), 其次为 E130-10(0.347), 这两个站的 S-W

多样性指数也相对较高,分别为 4.860 及 5.081,物种数水平居中,最小值也是出现在 E130-15(0.003)、E130-17(0.002)、E130-19(0.002)这 3 个站,主要是因为这 3 个站铁氏束毛藻拥有绝对优势,从而造成这 3 个站位的均匀度相对较差。

不含束毛藻的浮游植物的 S-W 多样性指数(图 6c)数值介于 3.011~5.761,平均值为 5.222。不含束毛

藻的浮游植物的 Pielou 均匀度指数(图 6d)数值介于 0.190~0.421,平均值为 0.371。由于 N20-4 站位靠近近岸,以菱形海线藻、佛氏海线藻、冰河拟脆杆藻为主的近岸硅藻占据绝对优势,导致该站多样性指数和 Pielou 均匀度指数较低。其他 9 个站位的多样性指数和 Pielou 均匀度指数变化不大,且可以看出浮游植物的多样性很丰富。

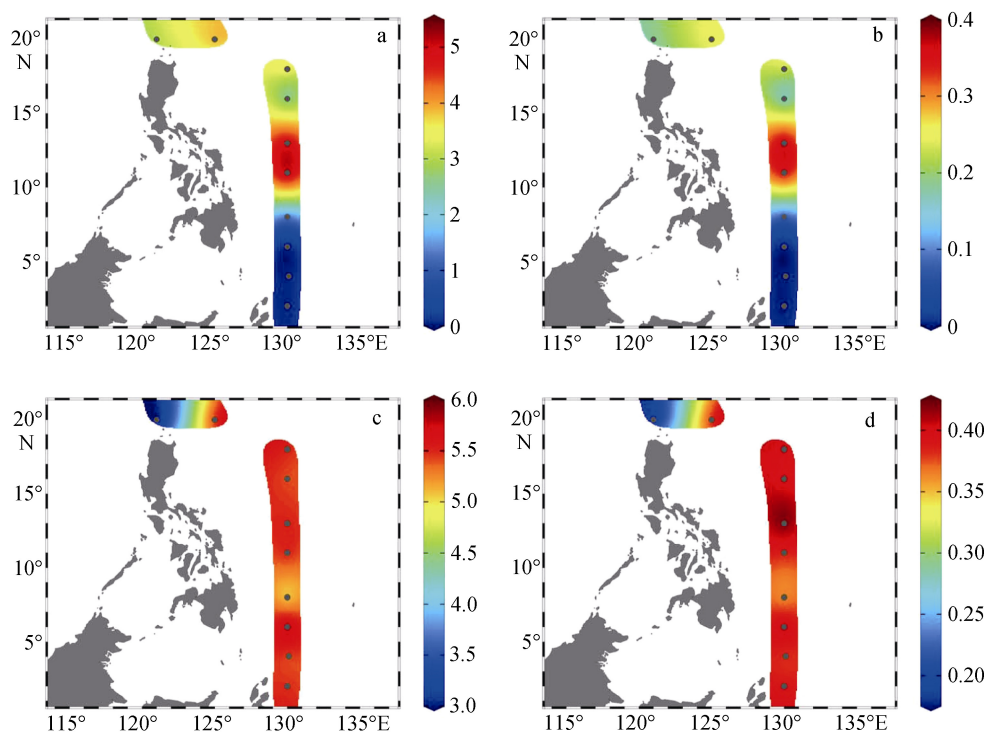


图 6 S-W 多样性指数及 Pielou 均匀度指数的水平分布

Fig. 6 Horizontal distribution of S-W diversity index and Pielou's evenness index

a. 浮游植物多样性指数; b. 浮游植物 Pielou 均匀度指数; c. 不含束毛藻的浮游植物多样性指数; d. 不含束毛藻的浮游植物 Pielou 均匀度指数

a. S-W diversity index of Phytoplankton; b. Pielou's evenness index of Phytoplankton; c. S-W diversity index of Phytoplankton (without *Trichodesmium*); d. Pielou's evenness index of Phytoplankton (without *Trichodesmium*)

3 讨论

3.1 与历史资料对比

在西太平洋海域存在着海气相互作用的关键区即黑潮和西太平洋暖池^[36],前者具有流量大、流速快、温度高、盐度高等特点,是一支太平洋上强大的西边界暖流。苗育田等^[37]研究证实了梨甲藻属中的狭高温高盐类型是黑潮水的良好指示种。孙军^[18]等,刘东艳等^[19]又进一步对琉球群岛及其附近海域的浮游硅藻,甲藻种类组成和丰度分布进行了研究。研究表明硅藻门圆柱根管藻、热带戈斯藻和密聚角刺藻可作为琉球群岛岛链东侧的指示种。甲藻门双刺角

藻、反射角藻、锥形角藻、粗梨甲藻、新月梨甲藻可以作为黑潮指示种。黑潮中的浮游植物的群集状况,具有因地制宜,垂直分布不均的特点。从黑潮流系南部的菲律宾东面水域直到台湾东面附近,蓝藻中的束毛藻属数量较大^[38]。

海洋中的束毛藻自 20 世纪 60 年代被视为最关键的自生固氮蓝藻^[39]。束毛藻可分为簇集成团和游离丝状体两种形态。束毛藻适于在水温高于 20℃ 的海域生活,具有特殊细胞气囊结构使其垂直移动于海洋上层 100 m 水柱内^[40]。在束毛藻形成的水华过程中往往会在较短时间内固定大量的氮,因此研究束毛藻的固氮速率对于估算海洋固氮速率有着非常

重要的意义^[41]。铁元素对于固氮微生物的理化作用具有十分重要的意义^[42]，来自大气的尘降和中深层水体的垂向输送是开阔大洋上层水体铁的主要来源。固氮生物对磷的需求主要通过大气沉降，低密度磷有机物向上扩散，藻类的垂直迁移等特殊的传导机制来维持^[43]。束毛藻还可以通过利用溶解有机磷(DOP)和改变生长过程中的细胞磷含量以应对当地磷的不足。Marumo 等^[44]发现黑潮水富含大量固氮生物；杨清良^[45]认为黑潮对于束毛藻的分布起着极为关键的作用；Chen^[46]等提出黑潮区由于硝酸盐跃层较深而表层硝酸盐浓度很低，使得束毛藻拥有更高的丰度。可以看出黑潮区束毛藻分布的密度很高，本研究与以往的研究结果相符，且在调查海区 10° N~赤道的范围内，由于水温的逐渐增高，束毛藻的细

胞丰度明显增加。

3.2 与环境因子相关分析

N、P、Si 构成的海水中最基本的营养物质对浮游植物的生存、繁殖等具有重要的意义^[47]。将各站浮游植物细胞丰度与同步观测的环境因素进行 pearson 相关分析，分析结果如表 3 所示。由表中可以看出，PO₄-P、NH₄-N 对浮游植物的正相关性最大，说明在调查海域浮游植物空间分布主要受 PO₄-P、NH₄-N 的影响。其他环境因子对 4 门藻类分别呈现对应的正、负相关性，但对总浮游植物均表现为正相关，且浮游植物的相关性由蓝藻的相关性决定。因此，调查海域的浮游植物的分布生长与 N、P、Si 等环境营养因子密切相关。

表 3 浮游植物与环境因子相关分析

Tab. 3 Pearson Correlation analysis between phytoplankton and environment factors

		NO ₂ -N/ (μmol/L)	SiO ₃ -Si/ (μmol/L)	PO ₄ -P/ (μmol/L)	NH ₄ -N/ (μmol/L)	NO ₃ -N/ (μmol/L)	温度/ ℃	盐度 (pus)
浮游植物	相关性	0.313	0.247	0.543	0.558	0.417	0.396	0.259
	显著性	0.413	0.522	0.131	0.118	0.265	0.292	0.501
硅藻门	相关性	-0.139	0.116	-0.027	-0.097	-0.078	-0.482	0.113
	显著性	0.722	0.767	0.945	0.803	0.841	0.189	0.773
甲藻门	相关性	-0.282	0.153	0.198	0.030	0.247	0.192	0.167
	显著性	0.462	0.695	0.610	0.940	0.521	0.620	0.667
金藻门	相关性	-0.539	-0.297	-0.459	-0.288	-0.461	-0.408	-0.060
	显著性	0.135	0.438	0.213	0.452	0.212	0.275	0.877
蓝藻门	相关性	0.313	0.246	0.542	0.558	0.416	0.398	0.258
	显著性	0.412	0.524	0.132	0.118	0.265	0.289	0.502

注：正相关：0<r<1；负相关：-1<r<0。

3.3 群落结构的聚类分析

根据每个站位的细胞丰度值及其物种数对站位进行聚类分析，聚类分析的结果如图 7 所示。聚类分析按 Bray- Curtis 相似性将 10 个站位分为两个类群，将近岸的 N20-4 站位单独划分为第一个类群，而其余 9 个大洋站位为第二个类群，在第二个类群中又将 4 个站位(E130-13、E130-15、E130-17、E130-19)划分为第一个子类，其他 5 个站位(E130-3、E130-5、E130-8、E130-10、N20-8-2)划分为第二个子类群。一些温带沿岸性种，如菱形海线藻等，在第一类群大量存在，且一些广温性沿岸种仅在第一类群站位出现，如冰河拟星杆藻等。在第二类群中，束毛藻作为指示种在第一子类群的细胞丰度远高于第二子类群。通过聚类分析可以看出不同温度纬度位置的站位被区分

开来，实际取得的生物数据与该区域已有的环境数据较为契合。

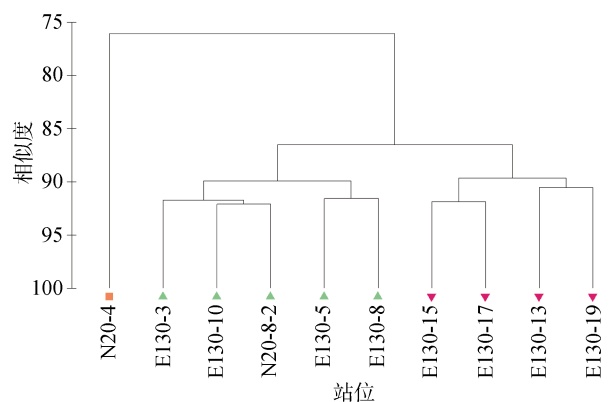


图 7 对站位的聚类分析

Fig. 7 Cluster analysis of station

致谢: 航次样品采集得到国家自然科学基金委 2016 年西太平洋开放航次的支持, 论文撰写过程中还得到魏玉秋、钱罡、刘海娇和张昭怡等的帮助以及中国科学院海洋研究所刘恒昌博士提供的海平面高度(图 2), 在此一并感谢。

参考文献:

- [1] 孙军. 海洋浮游植物与生物碳汇[J]. 生态学报, 2011, 31(18): 5372-5378.
Sun Jun. Marine phytoplankton and biological carbon sink[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(18): 5372-5378.
- [2] 钱树本, 刘东艳, 孙军. 海藻学(第二版)[M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2005: 1-5.
Qian Shuben, Liu Dongyan, Sun Jun. Marine phycology[M]. Qingdao: China Ocean University Press, 2005: 1-5.
- [3] 唐森铭, 蔡榕硕, 郭海峡, 等. 中国近海区域浮游植物生态对气候变化的响应[J]. 应用海洋学学报, 2017, 36(4): 455-465.
Tang Senming, Cai Rongshuo, Guo Haixia, et al. Response of phytoplankton ecology to climate change in offshore China[J]. Applied Journal of Oceanography, 2017, 36(4): 455-465.
- [4] Isaacs, 郭建中, 江绍明, 等. 麦克米伦百科全书[M]. 杭州: 浙江人民出版社, 2002.
Isaacs, Guo Jianzhong, Jiang Shaoming, et al. Mcmillan Encyclopedia[M]. Hangzhou: Zhe Jiang People Press, 2002.
- [5] Yan X H, Ho C R, Zheng Q, et al. Temperature and size variabilities of the Western pacific warm pool[J]. Science, 1992, 258: 1643-1645.
- [6] 胡石建, 胡敦欣. 西太平洋暖池研究综述[J]. 海洋科学集刊, 2016: 37-48.
Hu Shijian, Hu Dunxin. Review on Western Pacific Warm Pool Study[J]. Studia Marina Sinica, 2016: 37-48.
- [7] 王凡, 胡敦欣, 穆穆, 等. 热带太平洋海洋环流与暖池的结构特征、变异机理和气候效应[J]. 地球科学进展, 2012, 27(6): 595-602.
Wang Fan, Hu Dunxin, Mu Mu, et al. Structure, variations and climatic impacts of ocean circulation and the warm pool in the tropical Pacific Ocean[J]. Advances in Earth Science, 2012, 27(6): 595-602.
- [8] 董良, 李丽, 王慧, 等. 2008 年冬季西太平洋表层海水浮游藻类分布特征——分子有机地球化学研究[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2012, 1: 51-59.
Dong Liang, Li Li, Wang Hui, et al. Phytoplankton distribution in surface water of Western Pacific during winter, 2008: a study of molecular organic geochemistry[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2012, 1: 51-59.
- [9] 赵焯. 冬春季东海黑潮和西北太平洋副热带地区大气热源特征及其对中国东部降水的影响[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2015.
Zhao Xuan. The characteristic of winter and spring atmospheric heat source over the East China Sea Kuroshio and North Pacific subtropics and its impact on precipitation in Eastern China[D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science & Technology, 2015.
- [10] Christian J R, Murtugudde R, Ballabrera-Poy J, et al. A ribbon of dark water: phytoplankton blooms in the meanders of the Pacific north equatorial countercurrent[J]. Deep-Sea Research Part II, 2004, 51(1): 209-228.
- [11] Gordon A L, Fine R A. Pathways of water between the Pacific and Indian Oceans in the Indonesian seas[J]. Nature, 1996, 379(6561): 146-149.
- [12] Messié M, Radenac M H. Seasonal variability of the surface chlorophyll in the western tropical Pacific from SeaWiFS data[J]. Deep-Sea Research Part I, 2006, 53(10): 1581-1600.
- [13] Kawahata H, Nishimura A, Gagan M K. Seasonal change in foraminiferal production in the western equatorial Pacific warm pool: evidence from sediment trap experiments[J]. Deep Sea Research Part II Topical Studies in Oceanography, 2002, 49(13-14): 2783-2800.
- [14] Shiro Fujioka. Illustrations of the Kuroshio-waters[M]. Chang Qi: Chang Qi Publishing Culture Association, 1990, 1-170.
- [15] 俞建銮, 李瑞香. 黑潮调查论文选(一)[M]. 北京: 海洋出版社, 1990: 57-66.
Yu Jianluan, Li Ruixiang. Kuroshio survey paper (part I)[J]. Beijing: Ocean Press, 1990: 57-66.
- [16] Kawarada Y, Kitou M, Furuhashi K, et al. Distribution of plankton in the waters neighboring Japan in 1966 (CSK)[M]. Oceanog, 1968, 20, 187-212.
- [17] 陆赛英, 葛人峰, 刘丽慧. 东海陆架水域营养盐的季节变化和物理输运的规律[J]. 海洋学报, 1996, 18(5): 41-51.
Lu Saiying, Ge Renfeng, Liu Lihui. Seasonal and physical transport of nutrients in the East China Sea shelf waters[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1996, 18(5): 41-51.
- [18] 孙军, 刘东艳. 西北太平洋副热带环流研究(二)[M]. 北京: 海洋出版社, 2000: 158-169.
Sun Jun, Liu Dongyan. Study on the subtropical circulation in the Northwest Pacific Ocean (Part II)[M]. Beijing: Ocean Press, 2000: 158-169.
- [19] 刘东艳, 孙军. 西北太平洋副热带环流研究(二)[M]. 北京: 海洋出版社, 2000: 170-182.
Liu Dongyan, Sun Jun. Study on the subtropical circulation in the Northwest Pacific Ocean (Part II)[M]. Beijing: Ocean Press, 2000: 170-182.
- [20] 翟方国. 热带西太平洋环流变异及动力学有关问题的研究[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2012.
Zhai Fangguo. On some aspects in Western Tropical Pacific Circulation Variability and Dynamics[D]. Qingdao: Institute of Oceanology, Chinese Academy of Science, 2012.
- [21] 赵君. 热带西太平洋表层环流多时间尺度时空变化特征与机制研究[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所,

2013.
Zhao Jun. Multi-Scale variations of the surface circulation in the West Tropical Pacific: Spatial-Temporal Features and Driving Mechanisms[D]. Qingdao: Institute of Oceanology, Chinese Academy of Science, 2013.
- [22] 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]. 海洋科学进展, 2002, 20(2): 105-112.
Sun Jun, Liu Dongyan, Qian Shuben. A quantitative research and analysis method for marine phytoplankton: an introduction to Utermöhl method and its modification[J]. Progress in Marine Science, 2002, 20(2): 105-112.
- [23] 金德祥, 陈金环, 黄凯歌. 中国海洋浮游硅藻类[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1965: 1-230.
Jin Dexiang, Chen Jinhuan, Huang Kaige. Chinese Marine Planktonic Diatoms[M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 1965: 1-230.
- [24] 山路勇. 日本プランクトン図鑑[M]. 东京: 保育社, 1991: 1-158.
Isamu Y. Illustrations of the marine plankton of Japan[M]. Tokyo: Hoikusha Publishing, 1991: 1-158.
- [25] 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.
Sun Jun, Liu Dongyan. The preliminary notion on nomenclature of common phytoplankton in China Seas waters[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2002, 33(3): 271-286.
- [26] 孙儒泳. 动物生态学原理[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 1992: 356-357.
Sun Ruyong. The principle of animal ecology[M]. Beijing: Beijing Normal University Press, 1992: 356-357.
- [27] Shannon C E, Weaver W. The mathematical theory of communication[J]. Bell System Technical Journal, 1949, 3(9): 31-32.
- [28] Pielou E C. An introduction to mathematical ecology[J]. Bioscience, 1969, 24(2): 7-12.
- [29] 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.
Sun Jun, Liu Dongyan. Net phytoplankton community of the Bohai Sea in the autumn of 2000[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2005, 27(3): 124-132.
- [30] 丁昌玲. 黄海、东海和南海海域蓝藻生物量及其时空分布[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.
Ding Changling. The abundance, the spatial and temporal distributions of cyanobacteria in the Yellow Sea, the East China Sea and the South China Sea[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2009.
- [31] Gómez F A. list of free-living dinoflagellate species in the world's oceans[J]. Acta Botanica Croatica 2005, 64(1): 129-212.
- [32] Sundström B G. Observations on Rhizosolenia clevei Ostenfeld (Bacillariophyceae) and Richelia intracellularis Schmidt (Cyanophyceae): Botanica Marina[J]. Botanica Marina, 1984, 27(8): 345-356.
- [33] Villareal T A. Marine nitrogen-fixing diatom-cyanobacteria symbioses[M]. Berlin, Germany: Springer Netherlands, 1992.
- [34] Herzig W N, Fryxell G A. The diatom genus thalassiosira cleve in gulf stream warm core rings: taxonomy, with *T. intrannula* and *T. lineoides*, spp. nov[J]. Botanica Marina, 1986, 29(1): 11-26.
- [35] 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.
Sun Jun, Liu Dongyan. The application of diversity indices in marine phytoplankton studies[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2004, 26(1): 62-75.
- [36] 张启龙, 翁学传, 程明华. 华北地区汛期降水与热带西太平洋暖池和黑潮的关系[J]. 高原气象, 1999, 18(4): 575-583.
Zhang Qilong, Weng Xuechuan, Cheng Minghua. Relationship between the precipitation in the rainy season in north China and the tropical western Pacific warm pool and kuroshio[J]. Plateau Meteorology, 1999, 18(4): 575-583.
- [37] 苗育田, 于洪华. 正常天气系统下的东海水系与指示生物对应关系的分析[J]. 海洋通报, 1998, 17(2): 13-21.
Miao Yutian, Yu Honghua. Analysis of corresponding relation between water type and indication plankton under normal weather condition in the East China Sea[J]. Marine Science Bulletin, 1998, 17(2): 13-21.
- [38] 伍伯瑜. 黑潮流系 III 黑潮流系的浮游生物及其他[J]. 海洋通报, 1986, 5(2): 74-78.
Wu Boyu. Kuroshio current system III plankton and other species of the kuroshio current system[J]. Marine Science Bulletin, 1986, 5(2): 74-78.
- [39] Dugdale R C, Menzel D W, Ryther J H. Nitrogen fixation in the Sargasso Sea[J]. Deep Sea Research, 1961, 7(4): 297-300.
- [40] Laroche J, Breitbarth E. Importance of the diazotrophs as a source of new nitrogen in the ocean[J]. Journal of Sea Research, 2005, 53(1): 67-91.
- [41] Karl D M, Michaels A, Bergman B, et al. Dinitrogen fixation in the world's oceans[J]. Biogeochemistry, 2002, 57-58(1): 47-98.
- [42] Gobler C J. Phosphorus limitation of nitrogen fixation by *Trichodesmium* in the central Atlantic Ocean[J]. Nature, 2001, 411(6833): 66-69.
- [43] Karl D M, Tien G. Temporal variability in dissolved phosphorus concentrations in the subtropical North Pacific Ocean[J]. Marine Chemistry, 1997, 56: 77-96.
- [44] Marumo R, Asaoka O. *Trichodesmium* in the East China Sea[J]. Journal of the Oceanographical Society of Japan, 1974, 30(6): 298-303.
- [45] 杨清良. 南黄海和东海陆架区束毛藻的分布特征[J]. 海洋学报, 1998, 20(5): 93-100.
Yang Qingliang. Characteristics of *Trichodesmium* distribution in waters over continental shelves of the South

Huanghai Sea and the East China Sea[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1998, 20(5): 93-100.

- [46] Chen Y L L, Chen H Y, Tuo S H, et al. Seasonal dynamics of new production from *Trichodesmium* N₂ fixation and nitrate uptake in the upstream kuroshio and South China Sea Basin[J]. Limnology & Oceanography, 2008, 53(5): 1705-1721.

- [47] 宋金明, 李鹏程, 詹滨秋. 热带西太平洋定点海域(4°S156°E)营养盐变化规律及降水对海水营养物质影响的研究[J]. 海洋科学集刊, 1997, 38: 133-141.

Song Jinming, Li Pengcheng, Zhan Binqiu. Variability of nutrients and effect of rainwater on seawater nutrients in the tropical West Pacific, Toga Coare Iop(4°S156°E)[J]. Studia Marina Sinica, 1997, 38: 133-141.

Netz-phytoplankton community structure of the tropical Western Pacific Ocean in summer 2016

CHEN Zhuo^{1, 2}, SUN Jun^{1, 2}, ZHANG Gui-cheng^{1, 2}

(1. Tianjin Key Laboratory of Marine Resources and Chemistry, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China; 2. College of Marine and Environmental Sciences, Tianjin University of science and Technology, Tianjin 300457, China)

Received: Mar. 31, 2018

Key words: phytoplankton; community structure; correlation analysis; cluster analysis; the tropical Western Pacific Ocean

Abstract: Netz-phytoplankton community structure was investigated in 10 stations in the tropical Western Pacific Ocean (0°-20°N, 120°-130°E) during September 27 to October 25 in 2016 by authors. 2015. The Utermöhl method was used to analyze the species composition, cell abundance, dominant species and community diversity of phytoplankton in the survey area. We hope to provide some basic background information for the tropical Western Pacific and lay the foundation for future research. The results showed that there are 66 genera and 243 species (including variety, forma) belonging to 4 phyla were identified, in which 34 genera and 103 species belonged to Bacillariophyta, 28 genera and 133 species were Pyrrophyta, 2 genera and 4 species were Chrysophyta and 2 genera and 3 species were Cyanophyta. The cell abundance of phytoplankton was 1965.573×10^3 cells/m³, and cyanobacterium accounted for 98.96% with 1945.169×10^3 cells/m³. The distribution of cyanobacterium governed the distribution of phytoplankton. The high value areas of cyanobacteria were distributed at 4 stations (E130-13, E130-15, E130-17, E130-19) at 0°N130°E -10°N130°E. Diatom has high value area at 20°N (N20-4) position. There were high values of dinoflagellate in 3 stations (E130-10, E130-13, E130-15) at 5°-10°N. The dominant species were *Trichodesmium thiebaultii*, *Prorocentrum compressum*, *Prorocentrum leniculatum*, *Richelia intracellularis*, *Thalassionema nitzschioides*, *Thalassiosira subtilis*, *Coscinodiscus marginato-lineatus*, *Ceratium kofoidii*, *Gonyaulax lurbynaii*, *Hemiaulus sinensis*, *Hemiaulus hauckii* and *Dictyocha fibula*. The average Shannon-Weiner diversity index and Pielou evenness values were 2.440 and 0.163 respectively. The results of statistical correlation analysis showed that the spatial distribution of phytoplankton was mainly influenced by PO₄-P and NH₄-N, and the correlation of total phytoplankton is determined by the correlation of cyanobacteria. Cluster analysis that based on surface abundance aggregated station into coastal group and pelagic group obviously, in which the pelagic group stations are divided into 0°-10°N and 10°-20°N respectively.

(本文编辑: 谭雪静)