

热带西太平洋 Y3 和 M2 海山区网采浮游植物群落结构特征

郭术津^{1,2,3}, 孙晓霞^{1,2,3,4}, 郑 珊^{1,2,3}, 罗 璇¹, 朱明亮^{1,2,3}, 梁俊华^{1,2,3}

(1. 中国科学院海洋研究所 胶州湾海洋生态系统国家野外科学观测研究站, 山东 青岛 266071; 2. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室 海洋生态与环境科学功能实验室, 山东 青岛 266237; 3. 中国科学院海洋大学海洋研究中心, 山东 青岛 266071; 4. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 研究了热带西太平洋雅浦 Y3 海山冬季和马里亚纳 M2 海山春季网采浮游植物群落结构, 对调查区浮游植物的物种组成、优势种类、细胞丰度以及多样性指数进行了分析。结果表明, 两个海山区共鉴定浮游植物 4 门 50 属 219 种, 其中硅藻门 30 属 106 种, 甲藻门 17 属 112 种, 蓝藻门 1 属 2 种, 金藻门 2 属 3 种。两个航次研究区浮游植物优势种均以链状硅藻如根管藻(*Rhizosolenia*)、半管藻(*Hemiaulus*)和角毛藻(*Chaetoceros*)等属的种类为主, 此外太阳漂流藻(*Planktoniella sol*)、铁氏束毛藻(*Trichodesmium thiebautii*)以及部分角藻(*Ceratium*)物种优势度也比较明显。Y3 海山区浮游植物细胞丰度介于 1.60~16.61 cells/L, 平均值为 5.02 cells/L; M2 海山区浮游植物细胞丰度介于 1.36~10.20 cells/L, 平均值为 4.12 cells/L。两个海山区浮游植物细胞丰度的分布趋势均受硅藻影响较大, 甲藻细胞丰度相对较低。在属的水平上, 角毛藻、根管藻、角藻和半管藻等属的细胞丰度对两个海山区浮游植物总细胞丰度的贡献较大。多样性指数方面, Y3 海山区浮游植物群落香农-威纳指数 H' (shannon-wiener index) 介于 3.95~4.69, 平均值为 4.30; M2 海山区浮游植物群落香农-威纳指数介于 3.23~4.46, 平均值为 3.83。两个海山区浮游植物群落多样性指数均处于较高水平, 但站位间的变化不明显。目前, 关于热带西太平洋海山区浮游植物群落结构的研究还非常缺乏, 亟需后续研究的补充。

关键词: 浮游植物; 群落结构; 物种组成; 细胞丰度; 海山; 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)10-0031-10

DOI: 10.11759/hyxx20180528003

海山(seamount)是指深海大洋生态系统中位于海平面以下、高度大于 1 000 m 的海底隆起^[1]。由于特殊的地形地貌, 海山附近的生态系统拥有相比大洋环境而言更独特的生物区系, 一直受到国内外研究者的广泛关注^[2-3]。目前, 针对海山区浮游植物生态学的研究还比较少, 仅在大西洋海山开展了一些^[4-5], 在北太平洋和东北太平洋也有部分工作开展^[6-8]。研究发现, 洋流在流经海山时所形成的上升流和泰勒柱促进了海水的垂直混合, 进而促进浮游植物的生长, 使海山区具有高的叶绿素浓度和初级生产力^[6-7]; 但有的研究也发现海山区的叶绿素浓度与周围海水中的浓度差异不大^[9]。Santos 等^[5]研究了大西洋 Condor 海山区的小型和微型浮游植物群落结构, 发现硅藻是当地海域的优势类群, 优势种以伪菱形藻(*Pseudonitzschia*)和角毛藻(*Chaetoceros*)为主。热带西太平洋是全球海山的集中分布地, 海洋生物多样性较高, 也是我国未来海山研究的重点区域^[2, 10]。因此, 在热带西太平洋海山区进行浮游植物生态学研究, 有助

于我们深入认识和了解热带西太平洋海山区邻近海域生物地球化学循环的机理。

我国早期在热带西太平洋海域执行的大洋考察航次早已开始关注海山, 不过前期研究主要以矿产资源探测居多^[11-12]。随着国内海洋生态学(尤其是浮游生物生态学)的发展, 近年来对热带西太平洋海山区浮游生物方面的研究逐渐展开。张文静等^[13]对热带西太平洋雅浦 Y3 海山区的浮游植物粒级结构进

收稿日期: 2018-05-28; 修回日期: 2018-07-11

基金项目: 中国科学院海洋先导科技专项项目(A 类)(XDA11030204); 国家重点基础研究发展计划项目(2014CB441504); 国家自然科学基金项目(31700425, 91751202)

[Foundation: the "Strategic Priority Research Program-Western Pacific Ocean System" of Chinese Academy of Sciences, No. XDA11030204; the National Basic Research Program of China (973 Program), No. 2014CB441504; the National Natural Science Foundation of China, No. 31700425, No. 91751202]

作者简介: 郭术津(1986-), 男, 山东潍坊人, 助理研究员, 博士, 从事海洋浮游植物生态学研究, 电话: 0532-82896092, E-mail: shujin135@qdio.ac.cn; 孙晓霞, 通信作者, 研究员, 博士生导师, 从事海洋浮游生物生态学研究, 电话: 0532-82868008, E-mail: xsun@qdio.ac.cn

行了研究,发现浮游植物不同粒级叶绿素 *a* 占总叶绿素 *a* 的比例从大到小依次为微小型浮游植物、微型浮游植物和小型浮游植物;王超锋等^[14]对雅浦 Y3 海山区浮游纤毛虫的丰度和生物量分布进行了研究,发现优势种为纤弱细翁虫(*Steenstrupiella gracilis*)、卢氏真铃虫(*Eutintinnus lusus-undae*)、管状真铃虫(*Eutintinnus tubulosus*)、膨大波膜虫(*Undella turgida*)等;代晟等^[15]对热带西太平洋马里亚纳 M2 海山区浮游植物的粒级结构和分粒级初级生产力进行了调查,研究了叶绿素 *a* 浓度的分布规律、浮游植物粒级结构、初级生产力结构和分布特征;赵丽等^[16]对热带西太平洋 Y3 海山和 M2 海山的微食物网主要类群的丰度和生物量分布进行了研究。尽管近两年关于热带西太平洋海山区浮游生物的研究已有所开展,但浮游植物物种组成和群落结构方面的研究尚未见报道,这无疑不利于我们全面认识和了解热带西太平洋海山区浮游生态系统的结构和功能。

本研究依托中国科学院“热带西太平洋海洋系

统物质能量交换及其影响”先导专项,分别于 2014 年冬季和 2016 年春季在热带西太平洋海山区开展了现场航次调查,进行了浮游植物拖网采样,分析了调查区域浮游植物的物种组成、优势种组成、细胞丰度以及多样性指数等,希望可以为该区域的浮游植物生态学研究提供借鉴和参考。

1 材料和方法

1.1 研究区域

搭乘“科学号”调查船分别于 2014 年冬季(2014.12.03~2015.01.07)在热带西太平洋 Y3 海山(8.7°~9.1°N, 137.6°~138°E)和 2016 年春季(2016.03.01~2016.04.01)在热带西太平洋 M2 海山(11.1°N~11.5°N, 139.1°E~139.6°E)邻近海域展开调查。每个航次各在海山区设置两条“十”字形大断面,其中 Y3 海山区共设置 15 个站位, M2 海山区共设置 21 个站位。具体研究区域和站位设置见图 1。

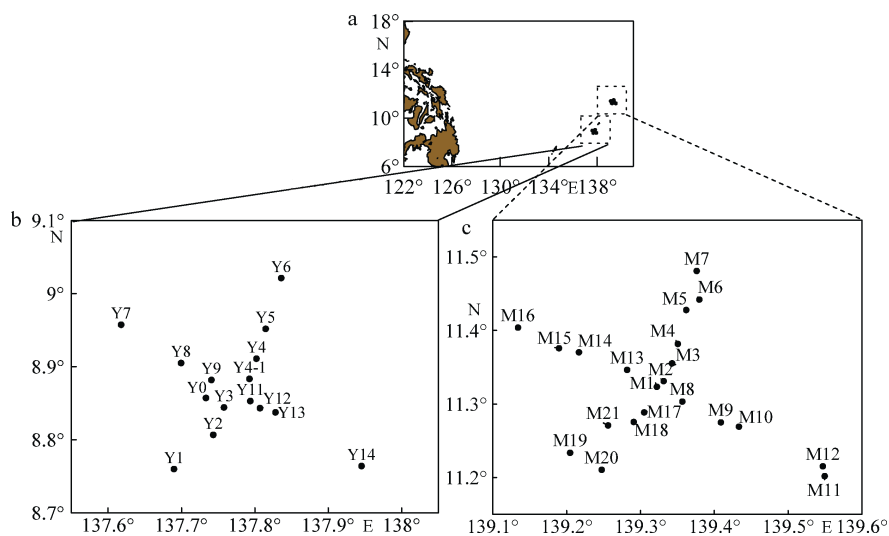


图 1 调查区域和站位

Fig. 1 Sampling stations during winter 2014 (b) and spring 2016 (c) in the study area

注: a: 调查区域示意图; b: 2014 年冬季 Y3 海山区调查站位图; c: 2016 年春季 M2 海山区调查站位图

1.2 样品采集及分析

浮游植物采样按照《海洋调查规范》进行^[17]。采用小型浮游生物网(网口直径 37 cm, 网口面积 0.1 m², 网身长 270 cm, 网目 76 μm)采取样品。在每个站位自底层至表层垂直拖网,水深超过 200 m 时,自 200 m 水深垂直拖网。样品现场用甲醛溶液固定和保存(终浓度体积分数 5%)。实验室内浮游植物样品经摇匀,

取 0.5 mL 亚样品置于 Palmer-Maloney 计数框内,用 OLYMPUS CX-31 型显微镜在 200 倍或 400 倍下进行物种鉴定和细胞计数。

1.3 数据分析

对调查区浮游植物群落结构的香农-威纳多样性指数(H')(shannon-wiener index)^[18]和各物种的优势度指数(Y)进行了计算,公式如下:

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

式中, P_i 是样品中第 i 种的细胞丰度与该样品总细胞丰度的比值; S 为该样品总物种数。

$$Y = \frac{n_i}{N} \times f_i, \quad (2)$$

式中, n_i 为第 i 个物种在所有样品中的细胞丰度之和; N 为所有样品的细胞丰度之和; f_i 为该物种在调查区各站位出现的频率。

对调查区各站位浮游植物各属的细胞丰度对浮游植物总丰度的贡献比例(R_i)也进行了计算, 公式如下:

$$R_i = \frac{g_i}{T}, \quad (3)$$

式中, g_i 是样品中浮游植物第 i 属的所有物种的细胞

丰度, T 是该样品浮游植物的总细胞丰度。

2 结果和讨论

2.1 物种组成

两个海山区共鉴定浮游植物物种 4 门 50 属 219 种(表 1), 其中硅藻和甲藻是网采浮游植物的优势功能群, 在 Y3 海山区甲藻的物种丰富度略高于硅藻, 在 M2 海山区硅藻和甲藻物种丰富度接近; 金藻门和蓝藻门也有物种发现, 如金藻门的小等刺硅鞭藻(*Dictyocha fibula*)和六异刺硅鞭藻(*Distephanus speculum*)、蓝藻门的铁氏束毛藻(*Trichodesmium thiebaultii*)和红海束毛藻(*T. erythraeum*)等。生态习性方面, 两个海山区的浮游植物物种均以暖水种和广布种为主, 其他生态类型的物种稀少。

表 1 调查区浮游植物物种组成

Tab. 1 Taxonomic composition during the two cruises in the study area

航次	硅藻		甲藻		金藻		蓝藻		总计	
	属	种	属	种	属	种	属	种	属	种
Y3 海山区	26	62	14	73	1	2	1	2	42	138
M2 海山区	24	82	12	81	2	3	1	2	39	168
总计	30	106	17	112	2	3	1	2	50	219

对两个海山区浮游植物物种在各站位的出现频率(f_i)进行了计算(表 2), 物种的出现频率(f_i)越高, 表明该物种在调查区的分布越广泛。可以看出, 2014 年冬季, Y3 海山区分布最广泛的物种为半棘钝根管藻(*Rhizosolenia hebetata*)、太阳漂流藻(*Planktoniella sol*)、距端根管藻(*R. calcar-avis*)、反角藻(*Ceratium contrarium*)和歧分角藻(*C. carriense*)等; 2016 年春季, M2 海山区分布最广泛的物种为太阳漂流藻、斯氏根管藻(*R. styliformis*)、美丽星脐藻(*Asteromphalus elegans*)、铁氏束毛藻和膨角藻(*C. inflatum*)等。可以看出, 太阳漂流藻在两个海山区都有广泛的分布。

2.2 优势种组成

调查区浮游植物优势种组成见表 3。可以看出, 两个海山区的优势种均以链状硅藻居多, 这些物种多为根管藻(*Rhizosolenia*)、半管藻(*Hemiaulus*)和角毛藻(*Chaetoceros*)等属的物种; 另外, 单细胞硅藻物种太阳漂流藻和蓝藻物种铁氏束毛藻的优势度也很明显。甲藻方面, 角藻(*Ceratium*)的一些物种优势度比较明显, 比如 Y3 海山的反角藻、大角角藻(*C. macroceros*)和歧分角藻, M2 海山的歧分角藻和膨角

藻。除了角藻, 甲藻其他属的物种优势度不明显。综合两个航次, 有一些物种在两个海山区作为共同优势种出现, 比如太阳漂流藻、大西洋角毛藻那不勒斯变种(*Chaetoceros atlanticus* var. *neapolitana*)、地中海指管藻(*Dactyliosolen mediterraneus*)、霍氏半管藻(*Hemiaulus hauckii*)、铁氏束毛藻和歧分角藻等, 表明两个海山区的浮游植物群落结构有较高的相似性。

2.3 细胞丰度及其分布

调查区浮游植物细胞丰度分布见图 2^①。浮游植物细胞丰度在 Y3 海山区介于 1.60~16.61 cells/L, 平均值为 5.02 cells/L; M2 海山区介于 1.36~10.20 cells/L, 平均值为 4.12 cells/L。硅藻细胞丰度的分布趋势与浮游植物总细胞丰度的分布趋势类似, 在 Y3 海山区介于 0.73~15.20 cells/L, 平均值为 4.02 cells/L; M2 海山区介于 0.88~8.40 cells/L, 平均值为 3.48 cells/L。甲藻细胞丰度相对较低, Y3 海山区介于 0.44~1.65 cells/L,

① 本文中束毛藻的丰度单位采用国际通用单位 trichomes/L, 由于与浮游植物其他类群如硅、甲藻的丰度表示单位 cells/L 不同, 浮游植物细胞丰度计算中没有将束毛藻计算在内, 束毛藻的丰度在下文单独进行展示。

平均值为 0.83 cells/L; M2 海山区介于 0.18~1.80 cells/L, 平均值为 0.55 cells/L。总的来看, 两个海山区均是硅藻对浮游植物总细胞丰度的贡献较大, 在 Y3 海山区和 M2 海山区分别可以占到浮游植物总细胞丰度的 71.37%±15.07%和 81.29%±9.69%(图 3)。由

于目前热带西太平洋相关海域尚未有网采浮游植物群落结构方面的报道, 因此无法将本研究结果与前人研究进行比较。不过, 将本研究结果与邻近纬度的南海历史网采浮游植物研究结果进行对比(表 4), 发现本研究中的细胞丰度处于其他研究结果的范围之内。

表 2 两个航次浮游植物各物种的出现频率(f_i)

Tab. 2 Appearance frequency (f_i) of the various phytoplankton species during both cruises

物种名	Y3 海山 f_i	M2 海山 f_i	物种名	Y3 海山 f_i	M2 海山 f_i
硅藻门			甲藻门		
中心纲			具甲类		
南方星芒藻(<i>Asterolampra marylandica</i>)	68.8%	-	二裂角藻(<i>Ceratium biceps</i>)	37.5%	28.6%
大星芒藻(<i>A. vanheurckii</i>)	62.5%	20.5%	歧分角藻(<i>C. carriense</i>)	68.8%	61.9%
美丽星脐藻(<i>A. elegans</i>)		85.7%	反转角藻(<i>C. contrarium</i>)	80.0%	52.4%
丛毛辐杆藻(<i>Bacteriastrium comosum</i>)	62.5%	23.8%	偏转角藻(<i>C. deflexum</i>)	31.3%	38.1%
优美辐杆藻(<i>B. delicatulum</i>)	25.0%		梭角藻(<i>C. fusus</i>)	31.3%	-
窄隙角毛藻(<i>Chaetoceros affinis</i>)	25.0%	24.3%	膨角藻(<i>C. inflatum</i>)	56.3%	71.4%
大西洋角毛藻那不勒斯变种(<i>C. atlanticus</i> var. <i>neapolitana</i>)	56.3%	52.4%	长角角藻(<i>C. longissimum</i>)	31.3%	-
并基角毛藻(<i>C. decipiens</i>)	-	28.6%	美丽角藻(<i>C. pulchellum</i>)	31.3%	57.1%
密联角毛藻(<i>C. densus</i>)	25.0%	-	多刺角甲藻(<i>Ceratocorys horrida</i>)	31.3%	47.6%
垂缘角毛藻(<i>C. lacinosus</i>)	-	52.4%	膝沟藻(<i>Gonyaulax</i> sp.)	25.0%	-
洛氏角毛藻(<i>C. lorenzianus</i>)	-	33.3%	扁压原多甲藻(<i>Protoperidinium depressum</i>)	25.0%	33.3%
短叉角毛藻(<i>C. messanensis</i>)	43.8%	24.8%	斯氏扁甲藻(<i>Pyrophacus steinii</i>)	31.3%	-
秘鲁角毛藻(<i>C. peruvianus</i>)	37.5%	20.1%	无甲类		
宽梯形藻(<i>Climacodium frauenfeldianum</i>)	31.3%	-	矩形双管藻(<i>Amphisolenia rectangulata</i>)	62.5%	57.1%
偏心圆筛藻(<i>Coscinodiscus excentricus</i>)	25.0%	23.8%	新月球甲藻(<i>Dissodinium lunula</i>)	25.0%	42.9%
虹彩圆筛藻(<i>C. oculus-iridis</i>)	-	23.8%	美丽乌尾藻(<i>Ornithocercus splendidus</i>)	25.0%	-
辐射圆筛藻(<i>C. radiatus</i>)	-	42.9%	斯氏乌尾藻(<i>O. steinii</i>)	-	23.8%
地中海指管藻(<i>Dactyliosolen mediterraneus</i>)	43.8%	42.9%	中距乌尾藻(<i>O. thumii</i>)	31.3%	28.6%
热带环刺藻(<i>Gossleriella tropica</i>)	50.0%	-	扁形原甲藻(<i>Prorocentrum compressum</i>)	43.8%	-
霍氏半管藻(<i>Hemiaulus hauckii</i>)	50.0%	42.9%	梭梨甲藻(<i>Pyrocystis fusiformis</i>)	31.3%	23.8%
膜质半管藻(<i>H. membranacus</i>)	-	66.7%	钩梨甲藻半圆变种(<i>Pyrocystis hamulus</i> var. <i>semicircularis</i>)	37.5%	-
美丽漂流藻(<i>Planktoniella formosa</i>)	68.8%	-	钩梨甲藻异肢变种(<i>P. hamulus</i> var. <i>inaequalis</i>)	25.0%	-
太阳漂流藻(<i>P. sol</i>)	100.0%	95.2%	蓝藻门		
翼根管藻纤细变型(<i>Rhizosolenia alata</i> f. <i>gracillima</i>)	56.3%	52.4%	红海束毛藻(<i>Trichodesmium erythraeum</i>)	25.0%	-
距端根管藻(<i>R. calcar-avis</i>)	75.0%	42.9%	铁氏束毛藻(<i>T. thiebautii</i>)	62.5%	76.2%
卡氏根管藻(<i>R. castracanei</i>)	31.3%	42.9%			
半棘钝根管藻(<i>R. hebetata</i>)	100.0%	-			
覆瓦根管藻(<i>R. imbricata</i>)	31.3%	-			
斯氏根管藻(<i>R. styliiformis</i>)	-	95.2%			
羽纹纲					
柔弱伪菱形藻(<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i>)	-	28.6%			
长海毛藻(<i>Thalassiothrix longissima</i>)	43.8%	23.8%			

注: 两个航次 f_i 均未超过 20% 的未列出, 即“-”表示 $f_i < 20\%$

表 3 调查区两个航次优势度(Y)排名前 14 的浮游植物物种

Tab. 3 Top 14 dominant phytoplankton species in the study area during both cruises [Ranked according to the dominance index (Y) of each species]

优势度排名	Y3 海山区	Y	M2 海山区	Y
1	太阳漂流藻(<i>Planktoniella sol</i>)	0.0836	笔尖形根管藻(<i>Rhizosolenia styliiformis</i>)	0.1465
2	角毛藻(<i>Chaetoceros</i> sp.)	0.0781	太阳漂流藻(<i>Planktoniella sol</i>)	0.0596
3	半棘钝根管藻(<i>Rhizosolenia hebetate</i>)	0.0565	膜质半管藻(<i>Hemiaulus membranaceus</i>)	0.0404
4	丛毛辐杆藻(<i>Bacteriastrium comosum</i>)	0.0499	地中海指管藻(<i>Dactyliosolen mediterraneus</i>)	0.0341
5	根管藻(<i>Rhizosolenia</i> sp.)	0.0389	霍氏半管藻(<i>H. hauckii</i>)	0.0273
6	反转角藻(<i>Ceratium contrarium</i>)	0.0375	美丽星脐藻(<i>Asteromphalus elegans</i>)	0.0257
7	大西洋角毛藻那不勒斯变种(<i>Chaetoceros atlanticus</i> var. <i>neapolitana</i>)	0.0302	垂缘角毛藻(<i>C. laciniosus</i>)	0.0186
8	地中海指管藻(<i>D. mediterraneus</i>)	0.0240	大西洋角毛藻那不勒斯变种(<i>C. atlanticus</i> var. <i>neapolitana</i>)	0.0170
9	短叉角毛藻(<i>C. messanensis</i>)	0.0209	铁氏束毛藻(<i>Trichodesmium thiebaultii</i>)	0.0166
10	距端根管藻(<i>Rhizosolenia calcar-avis</i>)	0.0123	洛氏角毛藻(<i>C. lorenzianus</i>)	0.0083
11	霍氏半管藻(<i>Hemiaulus hauckii</i>)	0.0097	矩形双管藻(<i>Amphisolenia rectangulata</i>)	0.0070
12	大角角藻(<i>C. macroceros</i>)	0.0076	歧分角藻(<i>C. carriense</i>)	0.0069
13	铁氏束毛藻(<i>Trichodesmium thiebaultii</i>)	0.0075	膨角藻(<i>C. inflatum</i>)	0.0067
14	美丽漂流藻(<i>Planktoniella formosa</i>)	0.0049	翼根管藻纤细变型(<i>R. alata</i> f. <i>gracillima</i>)	0.0063

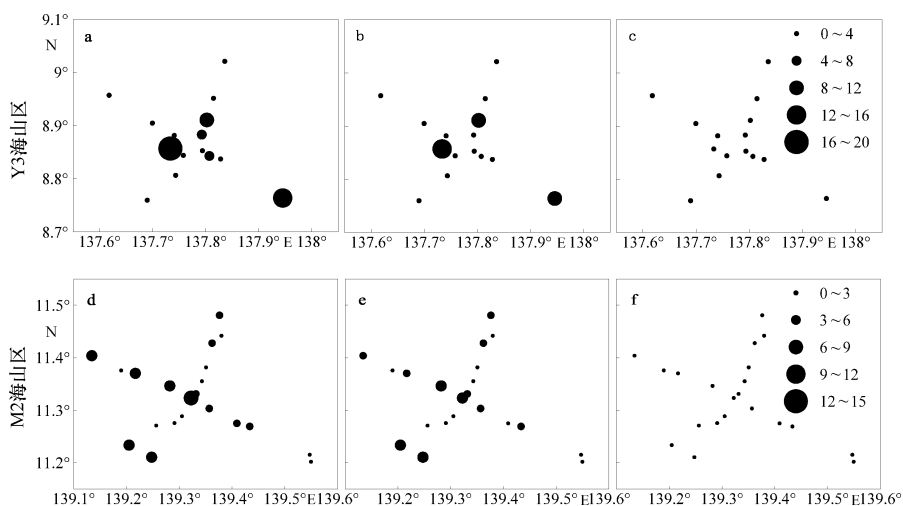


图 2 调查区浮游植物细胞丰度(cells/L)分布

Fig. 2 Horizontal distribution of phytoplankton cell abundance (cells/L) in the study area

注: a、d: 调查区浮游植物细胞丰度; b、e: 硅藻细胞丰度; e、f: 甲藻细胞丰度

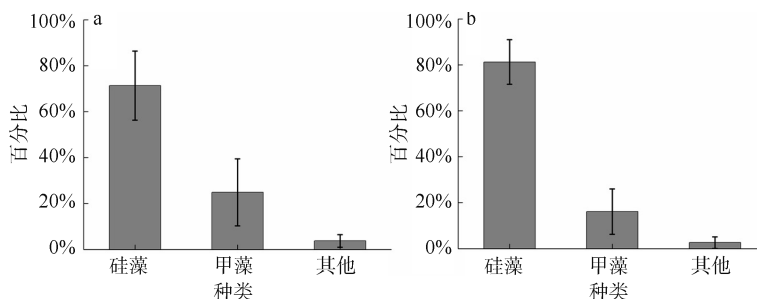


图 3 调查区硅藻、甲藻及其他浮游植物类群细胞丰度占浮游植物总细胞丰度的百分比的平均值

Fig. 3 Percentage of different phytoplankton groups accounted for total phytoplankton cell abundance during both cruises in the study area

注: a. Y3 海山区; b. M2 海山区

表 4 本研究网采浮游植物细胞丰度与相邻纬度南海海域历史调查结果比较

Tab. 4 Comparison of the net-phytoplankton cell abundance in the Y3 and M2 seamount zones in the western tropical Pacific with that in the South China Sea

采样时间	采样区域	海区	平均细胞丰度/(cells/L)	拖网网目规格/ μm	参考文献
1984.12	12°00'N~19°30'N, 111°00'E~118°00'E	南海	28.00	76	[19]
1985.06	03°47'N~04°02'N, 111°58'E~112°25'E	南海	0.40	76	[20]
1997.11	05°59'N~10°25'N, 110°00'E~116°48'E	南沙海域	0.70	76	[21]
2005.05	16°00'N~19°00'N, 115°00'E~118°00'E	南海	30.70	76	[22]
2013.03~04	04°30'N~11°30'N, 109°30'E~116°30'E	南沙海域	16.66	76	[23]
2014.12	08°42'N~09°06'N, 137°36'E~138°00'E	Y3 海山	5.02	76	本研究
2016.03	11°06'N~11°30'N, 139°06'E~139°36'E	M2 海山	4.12	76	本研究

束毛藻是大洋中重要的固氮生物,也是寡营养盐海域新生产力的主要贡献者^[24]。因此,热带寡营养盐海域束毛藻的丰度是人们非常关注的问题^[25]。本研究中将束毛藻的丰度单独进行展示,见图4。2014年冬季, Y3 海山区束毛藻丰度介于 0.02~0.86 trichomes/L, 平均值为 0.18±0.21 trichomes/L; 2016年春季, M2 海山区束毛藻丰度介于 0.04~0.56 trichomes/L, 平均值为 0.13±0.12 trichomes/L。在 Y3 海山区,束毛藻丰度最高值出现在 Y14 站位,另外, Y0、Y2 和 Y8 站位

的丰度也较高;在 M2 海山区,束毛藻丰度最高值出现在 M14 站位,其他站位如 M9 和 M16 站位丰度也较高。目前,已有关于其他寡营养盐大洋区束毛藻丰度的报道: Bonnet 等发现在赤道西太平洋海域束毛藻的丰度最高达 1.85 trichomes/L^[26];张东声等发现在热带太平洋中部、东部和南印度洋束毛藻的平均丰度分别为 1.76、0.87 和 1.52 trichomes/L^[27]。因此,本研究中束毛藻的丰度相较其他大洋区处于较低的水平。

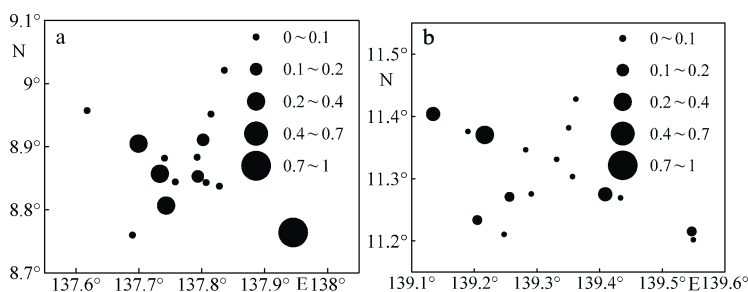


图 4 调查区束毛藻丰度(trichomes/L)分布

Fig. 4 Horizontal distribution of *Trichodesmium* abundance (trichomes/L) in the study area during winter 2014(a) and spring 2016 (b)

注: a: 2014 年冬季 Y3 海山区; b: 2016 年春季 M2 海山区

2.4 浮游植物各属的细胞丰度

两个海山区浮游植物各属的平均细胞丰度见图 5。2014 年冬季, Y3 海山区角毛藻对浮游植物总细胞丰度的贡献比例最高,其细胞丰度介于 0.08~6.34 cells/L;其次分别是根管藻和辐杆藻(*Bacteriastrium*),细胞丰度分别介于 0.18~2.82 cells/L 和 0.01~2.52 cells/L;另外,角藻、半管藻、指管藻(*Dactyloaslen*)和梨甲藻(*Pyrocystis*)的细胞丰度也相对较高。2016 年春季, M2 海山区角毛藻依然对浮游植物总细胞丰度的贡献最高,其细胞丰度介于 0.07~4.34 cells/L;其次分别是根管藻和半管藻,其细胞丰度分别介于 0.04~3.30 cells/L

和 0.12~3.15 cells/L;另外,角藻、漂流藻(*Planktoniella*)、梨甲藻和圆筛藻(*Coscinodiscus*)的细胞丰度也相对较高。综合两个航次,角毛藻、根管藻、角藻、半管藻和梨甲藻在两个海山区均是对浮游植物总细胞丰度贡献较大的几个属。

2.5 多样性指数

调查区各站位的浮游植物群落香农-威纳多样性指数见图 6。2014 年冬季, Y3 海山区香农-威纳多样性指数介于 3.95~4.69, 平均值为 4.30±0.23; 2016 年春季, M2 海山区香农-威纳多样性指数介于 3.23~4.46, 平均值为 3.83±0.34。2014 年冬季, Y3 海山区

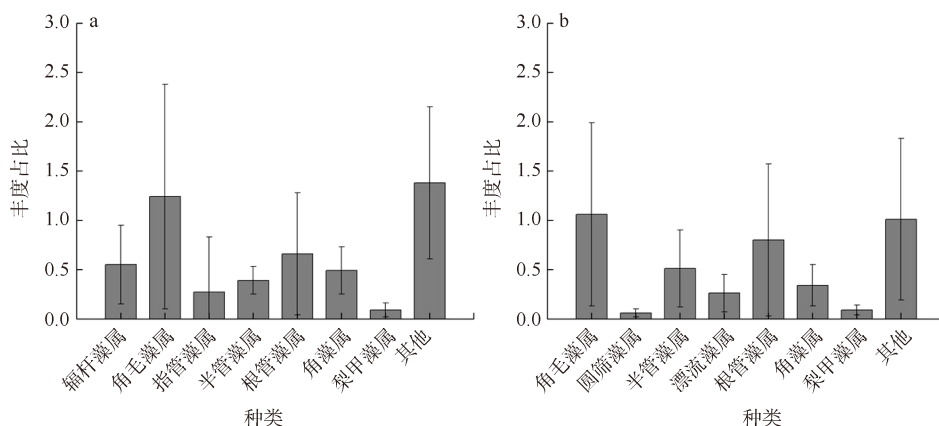


图 5 两个航次浮游植物各属的平均细胞丰度(单位: cells/L)

Fig. 5 Cell abundance (unit: cells/L) of various phytoplankton genera in the study area during winter of 2014 (a) and spring of 2016 (b)

注: a: 2014 年冬季 Y3 海山区; b: 2016 年春季 M2 海山区

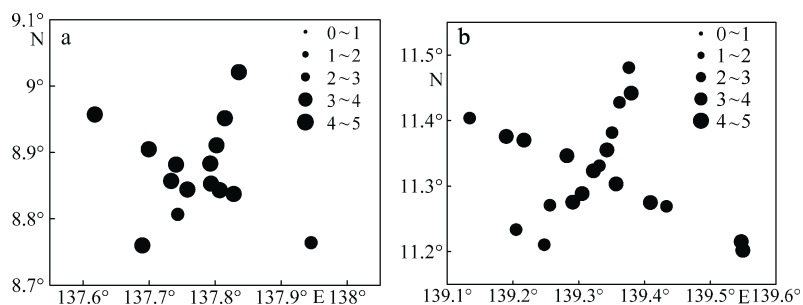


图 6 调查区各站位浮游植物群落香农-威纳多样性指数

Fig. 6 Shannon-wiener diversity index (H') of phytoplankton community during winter of 2014 (a) and spring of 2016 (b) in the study area

注: a: 2014 年冬季 Y3 海山; b: 2016 年春季 M2 海山

多样性指数最大值出现在 Y11 站位, 最小值出现在 Y2 站位; 2016 年春季, M2 海山区多样性指数最大值出现在 M11 站位, 最小值出现在 M19 站位。总的看来, 两个海山区站位间多样性指数的变化均不明显, 最高值和最低值间差距不大。

3 结论

分别于 2014 年冬季和 2016 年春季对热带西太平洋 Y3 海山区和 M2 海山区邻近海域的网采浮游植物群落结构展开了研究, 结论如下:

(1) 调查区共发现浮游植物 4 门 50 属 219 种, 硅藻和甲藻是两个海山区的主要浮游植物功能群, 蓝藻和金藻也有少数物种出现。

(2) 两个海山区的浮游植物优势种均以链状硅藻为主, 多为根管藻、半管藻和角毛藻等属的物种; 另外, 单细胞硅藻物种太阳漂流藻、蓝藻物种铁氏束毛藻以及部分角藻物种优势度也比较明显。

(3) 两个海山区浮游植物细胞丰度的分布趋势均受硅藻影响较大; 甲藻细胞丰度相对较低, 影响较小。

(4) 多样性指数方面, Y3 海山区香农-威纳指数介于 3.95~4.69, 平均值为 4.30 ± 0.23 ; M2 海山区香农-威纳指数介于 3.23~4.46, 平均值为 3.83 ± 0.34 。浮游植物群落多样性指数不同站位间比较相近, 差距不大。

目前, 热带西太平洋海山区的浮游植物群落研究资料仍然缺乏, 亟需后续研究的补充。

参考文献:

[1] Rogers A D. The biology of seamounts[J]. *Advances in Marine Biology*, 1994, 30: 305-350.
 [2] 张均龙, 徐奎栋. 海山生物多样性研究进展与展望[J]. *地球科学进展*, 2013, 28(11): 1209-1216.
 Zhang Junlong, Xu Kuidong. Progress and prospects in seamount biodiversity[J]. *Advances in Earth Science*,

- 2013, 28(11): 1209-1216.
- [3] 张武昌, 于莹, 李超伦, 等. 海山区浮游生态学研究[J]. 海洋与湖沼, 2014, 45(5): 973-978.
Zhang Wuchang, Yu Ying, Li Chaolun, et al. Planktonic ecology in seamount area of the open ocean: a review[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2014, 45(5): 973-978.
- [4] Mendonça A, Aristegui J, Vilas J C, et al. Is there a seamount effect on microbial community structure and biomass? The case study of seine and sedlo seamounts (Northeast Atlantic)[J]. *Plos One*, 2012, 7(1): e29526.
- [5] Santos M, Moita M T, Bashmachnikov I, et al. Phytoplankton variability and oceanographic conditions at Condor seamount, Azores (NE Atlantic)[J]. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2013, 98: 52-62.
- [6] Genin A, Boehlert G W. Dynamics of temperature and chlorophyll structures above a seamount: an oceanic experiment[J]. *Journal of Marine Research*, 1985, 43(4): 907-924.
- [7] Dower J, Freeland H, Juniper K. A strong biological response to oceanic flow past Cobb seamount[J]. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 1992, 39(7-8): 1139-1145.
- [8] Odate T, Furuya K. Well-developed subsurface chlorophyll maximum near Komahashi No. 2 Seamount in the summer of 1991[J]. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 1998, 45(10): 1595-1607.
- [9] Mouriño B, Fernão B F, Serret P, et al. Variability and seasonality of physical and biological fields at the Great Meteor Tablemount (subtropical NE Atlantic)[J]. *Oceanologica Acta*, 2001, 24(2): 167-185.
- [10] 秦蕴珊, 尹宏. 西太平洋——我国深海科学研究的优先战略选区[J]. *地球科学进展*, 2011, 26(3): 245-248.
Qin Yunshan, Yin Hong. Western Pacific: the strategic priority in China deep sea research[J]. *Advances in Earth Science*, 2011, 26(3): 245-248.
- [11] 孙晓明, 薛婷, 何高文, 等. 西太平洋海底海山富钴结壳惰性气体同位素组成及其来源[J]. *岩石学报*, 2006, 22(9): 2331-2340.
Sun Xiaoming, Xue Ting, He Gaowen, et al. Noble gases isotopic compositions and sources of cobalt-rich crusts from west Pacific Ocean seamounts[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22(9): 2331-2340.
- [12] 薛婷, 孙晓明, 张美, 等. 西太平洋海山富钴结壳稀土元素(REE)组成原位 LA-ICPMS 测定[J]. *岩石学报*, 2008, 24(10): 2423-2432.
Xue Ting, Sun Xiaoming, Zhang Mei, et al. In-situ LA-ICPMS analysis of rare earth elements of ferromanganese crusts from west Pacific Ocean seamounts[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24(10): 2423-2432.
- [13] 张文静, 孙晓霞, 陈芸燕, 等. 2014 年冬季热带西太平洋雅浦 Y3 海山浮游植物叶绿素 *a* 浓度及粒级结构[J]. *海洋与湖沼*, 2016, 47(4): 739-747.
Zhang Wenjing, Sun Xiaoxia, Chen Yunyan, et al. Chlorophyll *a* concentration and size structure of phytoplankton at Yarp Y3 seamount in tropical west Pacific in winter 2014[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2016, 47(4): 739-747.
- [14] 王超锋, 赵丽, 赵苑, 等. 热带西太平洋浮游纤毛虫的垂直分布[J]. *海洋与湖沼*, 2016, 47(2): 429-437.
Wang Chaofeng, Zhao Li, Zhao Yuan, et al. Vertical distribution of planktonic ciliates in tropical western Pacific[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2016, 47(2): 429-437.
- [15] 代晟, 孙晓霞, 梁俊华, 等. 2016 年春季西太平洋 M2 海山浮游植物粒级结构与初级生产力研究[J]. *海洋与湖沼*, 2017, 48(6): 1456-1464.
Dai Sheng, Sun Xiaoxia, Liang Junhua, et al. Biomass of size-fractionated phytoplankton and primary productivity at M2 seamount in tropical west Pacific in spring 2016[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2017, 48(6): 1456-1464.
- [16] 赵丽, 赵燕楚, 王超锋, 等. 热带西太平洋 Y3 和 M2 海山微食物网主要类群生态分布与比较[J]. *海洋与湖沼*, 2017, 48(6): 1446-1455.
Zhao Li, Zhao Yanchu, Wang Chaofeng, et al. Comparison in the distribution of microbial food web components in the Y3 and M2 seamounts in the tropical western Pacific[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2017, 48(6): 1446-1455.
- [17] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 海洋调查规范第 6 部分: 海洋生物调查[M]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 1-157.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Marine survey guidelines (Part 6): Marine organisms survey[M]. Beijing: Standards Press of China, 2008: 1-157.
- [18] Shannon C E, Weaver W. The Mathematical Theory of Communication[M]. Urbana: University of Illinois Press, 1949: 21-34.
- [19] 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.
South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences. Comprehensive Investigation Report of Environmental Resources in the Middle Area of South China Sea[M]. Beijing: Science Press, 1988: 162-231.
- [20] 中国科学院南海海洋研究所. 曾母暗沙-中国南疆综合调查研究报告[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 106-131.
South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Aca-

- demy of Sciences. James Shoal-Comprehensive Survey and Research Report in the South of China[M]. Beijing: Science Press, 1987: 106-131.
- [21] 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.
- Li Kaizhi, Guo Yujie, Yin Jianqiang, et al. Phytoplankton diversity and abundance in Nansha Islands waters in autumn of 1997[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2005, 24(3): 25-30.
- [22] 徐宗军, 孙萍, 朱明远, 等. 南海北部春季网采浮游植物群落结构初步研究[J]. 海洋湖沼通报, 2011, 2: 100-106.
- Xu Zongjun, Sun Ping, Zhu Mingyuan, et al. The preliminary study of net-phytoplankton community structure in north of South China Sea in spring[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2011, 2: 100-106.
- [23] 戴明, 巩秀玉, 刘华雪, 等. 2013 年春季南沙海域不同水团中网采浮游植物群落特征[J]. 南方水产科学, 2015, 11(5): 38-46.
- Dai Ming, Gong Xiuyu, Liu Huaxue, et al. Community characteristics of net phytoplankton in water masses in Nansha area during spring off 2013[J]. South China Fisheries Science, 2015, 11(5): 38-46.
- [24] Tyrrell T, Marañón E, Poulton A J, et al. Large-scale latitudinal distribution of *Trichodesmium* spp. in the Atlantic Ocean[J]. Journal of Plankton Research, 2003, 25(4): 405-416.
- [25] Capone D G, Zehr J P, Paerl H W, et al. *Trichodesmium*, a globally significant marine cyanobacterium[J]. Science, 1997, 276(5316): 1221-1229.
- [26] Bonnet S, Biegala I C, Dutrieux P, et al. Nitrogen fixation in the western equatorial Pacific: rates, diazotrophic cyanobacterial size class distribution, and biogeochemical significance[J]. Global Biogeochemical Cycles, 2009, 23(3): GB3012.
- [27] 张东声, 王春生, 王小谷, 等. 热带、亚热带太平洋和南印度洋束毛藻的大尺度分布研究[J]. 海洋学报, 2010, 32(4): 148-154.
- Zhang Dongsheng, Wang Chunsheng, Wang Xiaogu, et al. The large-scale distribution of *Trichodesmium* in the tropical and subtropical Pacific Ocean and the southern Indian Ocean[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2010, 32(4): 148-154.

Net phytoplankton community structure in the Y3 and M2 seamount zone in the Western Tropical Pacific

GUO Shu-jin^{1, 2, 3}, SUN Xiao-xia^{1, 2, 3, 4}, ZHENG Shan^{1, 2, 3}, LUO Xuan¹, ZHU Ming-liang^{1, 2, 3}, LIANG Jun-hua^{1, 2, 3}

(1. Jiaozhou Bay National Marine Ecosystem Research Station, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Laboratory for Marine Ecology and Environmental Science, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266237, China; 3. Center for Ocean Mega-Science, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 4. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Received: May 28, 2018

Key words: phytoplankton; community structure; species composition; cell abundance; seamount; Western Tropical Pacific

Abstract: Two cruises were carried out in the Y3 and M2 seamount zones of the western Pacific in winter 2014 and spring 2016, respectively. The net-phytoplankton community structure including species composition, dominant species composition, cell abundance, and diversity index, was studied. In total, 219 species belonging to 4 phyla and 50 genera were identified. The phytoplankton community was mainly composed of diatoms and dinoflagellates with 106 taxa in 30 genera of diatoms and 112 taxa in 17 genera of dinoflagellates; in addition, several species of Chrysophyta and Cyanophyta were observed. In both cruises, the dominant species found in the study area were mostly chain-form diatoms of the genera *Rhizosolenia*, *Hemiaulus*, and *Chaetoceros*. Other dominant species include *Planktoniella sol*, *Trichodesmium thiebautii*, and several species of the genus *Ceratium*. The phytoplankton

cell abundances ranged from 1.60 to 16.61 cells/L (mean=5.02±4.35 cells/L) in the Y3 seamount zone in winter, 2014 and 1.36 to 10.20cells/L (mean=4.12±2.44 cells/L) in the M2 seamount zone in spring, 2016. Moreover, in both cruises, it was found that diatoms dominated the distribution pattern of phytoplankton cell abundance. *Chaetoceros*, *Rhizosolenia*, *Ceratium*, and *Hemiaulus* were the four phytoplankton genera that contributed most to total phytoplankton cell abundance in the study area. The Shannon-wiener diversity index was also calculated, and it ranged from 3.95 to 4.69 (mean=4.30±0.23) in Y3 seamount zone in winter 2014 and 3.23 to 4.46 (mean= 3.83±0.34) in M2 seamount zone in spring 2016. This study can provide useful information for understanding the biological ecosystem in the western tropical Pacific seamount zones, and in the future, further studies should be carried out on the phytoplankton communities in this area.

(本文编辑: 罗 璇 丛培秀)