

文章编号: 1674-7054(2016)02-0177-08

海南黎安湾浮游植物群落特征及其对环境因子的响应

王超超¹ 陈新² 班贵媛² 唐敏²

(1. 海南大学 农学院, 海口 570228; 2. 海南大学 材料与化工学院, 海口 570228)

摘要: 运用 PRIMER v6 分析海南岛南部黎安湾内浮游植物群落短期变化特征, 通过 Brag-Curits 相似性测定, 建立等级相似性矩阵, 分别用 CLUSTER, BEST 分析浮游植物群落结构与环境因子的关系, 结果表明: 黎安湾内共有浮游植物 48 属 98 种, 丰度范围为 $7.92 \times 10^5 \sim 7.5 \times 10^6$ cells \cdot L⁻¹, 其中, 硅藻门占总量的 93% ~ 99%, 甲藻门占 0 ~ 5%。优势种有小环藻 (*Cyclotella* sp.)、柔弱根管藻 (*Rhizosolenia delicatula*)、海链藻 (*Tharassiosira* sp.)、菱形海线藻 (*Tharassionema nitzschioides*)、丹麦细柱藻 (*Leptocylindrus danicus*)、尖刺菱形藻 (*Nitzschia pungens*)、刚毛根管藻 (*Rhizosolenia setigera*)、中肋骨条藻 (*Skeletonema costatum*)、圆筛藻 (*Coscinodiscus* sp.)、脆根管藻 (*Rhizosolenia fragilissima*)、盒形藻 (*Biddulphia* sp.) 等。浮游植物种类和数量随时间出现明显变化, 2014-11-03—2014-11-15, 黎安湾浮游植物群落结构相似度较高, 但养殖区和非养殖区之间未呈现显著差异。浮游植物群落结构主要与透明度、盐度以及叶绿素 *a* 相关; 此外, 浮游植物群落结构短期变化受到热带潟湖独特的环境及当地即时的气候变化影响。

关键词: 浮游植物群落; PRIMER; 黎安湾

中图分类号: X 835; P 714.5 文献标志码: A DOI: 10.15886/j.cnki.rdswwb.2016.02.007

黎安湾位于海南岛东南部, 是海南省唯一没有地表径流的半封闭性潟湖, 也是我国唯一生长珊瑚的热带潟湖^[1-2], 湾内生物资源丰富, 集成了珊瑚、海草床、红树林等多个生态体系, 优越的自然资源为其旅游业和渔业的发展提供了良好的自然条件。由于潟湖形成了相对独立的海洋生态单元, 具有较独特的生态特征, 国内对于热带潟湖这一特殊地理结构的海洋生态和生物群落研究较少, 相关研究的重点主要集中在潟湖的形成演变、潮汐通道形成和演化、沉积体系及环境治理等方面^[3-4]。浮游植物是海洋生态系统中的主要初级生产力和海洋食物链的基础环节。国内对海洋浮游植物的研究大多集中在黄海和渤海, 以及南海北部, 对海南岛南部近岸海域浮游植物鲜有研究。1998年, 戴明等调查了海南岛南部海域浮游植物物种^[5], 柯志新等^[6]、黄凯旋等^[7]分别对三亚珊瑚礁保护区、海南岛北部海口湾和南部陵水新村湾的浮游植物群落进行了研究, 目前, 对于黎安湾热带潟湖浮游植物群落的系统研究尚未见报道。为此, 笔者对黎安湾的海洋浮游植物生态环境和资源进行了较全面的调查研究, 旨在为该地区的海洋环境保护和可持续性发展提供依据。

1 材料与方法

1.1 采样位点及时间 黎安湾是典型的热带潟湖, 入水口小, 湾内面积大, 最宽处约 2.82 km, 长度约 4.39 km,

收稿日期: 2015-11-06

基金项目: 国家自然科学基金项目“南海养殖海域特征性污损动物群落形成及变化规律研究”(31360105)和“热带海洋污损生物群落与附着基底关联的量化研究”(31160098); 海南省自然科学基金项目“新型网衣材料的研制及其海洋防污性能研究”(313104); 海南大学研究生处“海南各类资源考察”项目(中西部高校提升综合实力项目)

作者简介: 王超超(1988-), 女, 海南大学农学院 2013 级硕士研究生, E-mail: 497345734@qq.com

通信作者: 唐敏(1972-), 女, 副教授, 研究方向: 水生生物和生态毒理, E-mail: 1251054716@qq.com

最大深度约 8.0 m。采样位置为表层水,在潟湖内选取 6 个采样站位(图 1)。Y1, Y2, Y3 位于贝类养殖区, F1, F2, F3 为非养殖区。从 2014-11-01 开始隔天采样, 7 d 后每周采样, 连续进行 3 周。

1.2 样品采集及观察 浮游植物水样的采集使用 1.0 L 采水器, 鲁哥试剂固定水样。在沉淀器中沉淀 48 h, 用虹吸管小心吸出上清液, 剩余约 30 mL 转入定量瓶中, 用虹吸出来的少许上清液冲洗 3 次沉淀器, 一并转入定量瓶。加 4% 终体积的甲醛固定液, 再沉淀 24 h, 虹吸出上清液, 剩余 10~20 mL 溶液转入离心管内保存待用^[8]。使用显微镜(Olympus BH-2) 观察浮游生物样品, 进行物种鉴定^[9-15], 并计数。采样方法和样品室内处理分析参照文献^[16]。

1.3 环境参数测定 根据文献^[17]测定海水温度、盐度、pH、透明度; 溶解氧使用便携式溶氧仪(JPBJ-608) 进行现场测定; 水样低温黑暗保存, 采用文献^[18]的方法测定营养盐和叶绿素 *a* 含量。

1.4 数据处理 采用香农-威纳(Shannon-Wiener) 多样性指数(H')、皮诺(Pielou) 均匀度指数(J)、优势度(Y) 对浮游植物群落结构特征进行统计分析, 计算公式如下:

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

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

$$Y = (n_i / N) \times f_i ,$$

式中: P 为第 i 种的个体数与样品中的总个数的比值, S 为采集样品中的物种总数, n_i 为第 i 种的总个体数, N 为采集样品中所有物种的总个体数, f_i 为第 i 种在各站位出现的频率。

1.5 多元统计分析 运用 PRIMER v6 分析养殖区和非养殖区浮游植物群落结构。浮游植物细胞个体数量的矩阵先经 4 次方根转换后, 通过 Bray-Curits 相似性测定, 建立等级相似矩阵, 再分别使用 CLUSTER, BEST 分析浮游植物群落结构及其与环境因子的关系。

2 结果与分析

2.1 浮游植物种类组成 所获样品经初步鉴定, 发现共有浮游植物 98 种, 隶属 5 门 48 个属, 其中, 变种 9 个, 变型 2 个(表 1)。硅藻和甲藻类占绝对优势, 优势种有小环藻(*Cyclotella* sp.)、柔弱根管藻(*Rhizosolenia delicatula*)、海链藻(*Tharassiosira* sp.)、菱形海线藻(*Tharassionema nitzschioides*)、丹麦细柱藻(*Leptocylindrus danicus*)、尖刺菱形藻(*Nitzschia pungens*)、刚毛根管藻(*Rhizosolenia setigera*)、中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)、圆筛藻(*Coscinodiscus* sp.)、脆根管藻(*Rhizosolenia fragilissima*)、盒形藻(*Biddulphia* sp.) 等。

黎安湾浮游植物群落呈现出热带海湾生态特点, 生态类型以广温广布和热带暖水型类群为主。广温广布种有根管藻属、中肋骨条藻、菱形海线藻和丹麦细柱藻等; 暖水种有海洋原多甲藻、膝沟藻、热带骨条藻和叉角藻等。

2.2 浮游植物丰度变化特征 从图 2 可知, 浮游藻类细胞丰度范围为 $7.9 \times 10^5 \sim 7.5 \times 10^6$ cells · L⁻¹, 在养殖区和非养殖区丰度随时间变化趋势在前半个月类似, 在 2014-11-01 较高, 2014-11-03 降低, 2014-11-05 升高, 2014-11-07 略有下降, 但是 2014-11-15 养殖区继续下降, 而非养殖区出现上升, 但 2014-11-22 急速下降, 达到最低值, 2014-12-01 均上升, 非养殖区上升到月初水平, 非养殖区上升到 2014-11-05 的丰度值。

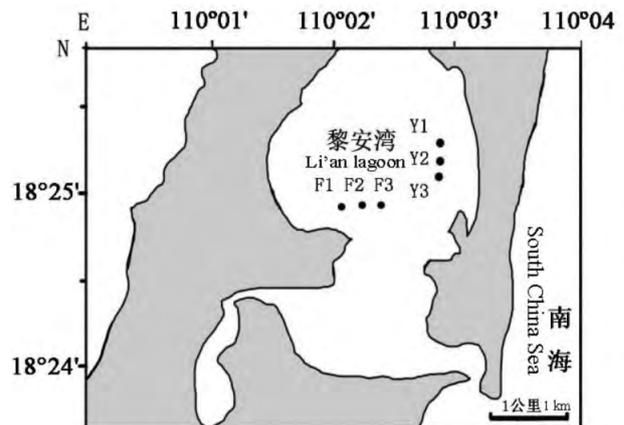


图 1 采样点位图

Fig. 1 Location of sampling sites at Li'an Lagoon

表 1 海南黎安湾浮游植物名录
Tab. 1 List of phytoplankton at Li'an Lagoon

浮游植物		Phytoplankton	
硅藻	<i>Bacillariophyta</i>	十字奇异藻	<i>Perissonoë cruciata</i>
热带骨条藻	<i>skeletonema tropicum</i>	黄蜂双壁藻近椭圆变种	<i>Diploneis crabro</i> var. <i>subelliptica</i>
中肋骨条藻	<i>Skeletonema costatum</i>	小盘藻属	<i>Minidiscus</i> sp.
丹麦细柱藻	<i>Leptocylindrus danicus</i>	海链藻属	<i>Thalassiosira</i> sp.
锤状中鼓藻	<i>Bellerochea malleus</i>	范氏冠盘藻	<i>Stephanodiscus hantzschii</i>
小环藻	<i>Cyclotella</i> sp.	甲藻	<i>Pyrrophyta</i>
粗根管藻	<i>Rhizosolenia robusta</i>	海洋原甲藻	<i>Protoperidinium micans</i>
脆根管藻	<i>Rhizosolenia fragilissima</i>	海洋原多甲藻	<i>Protoperidinium oceanicum</i>
柔弱根管藻	<i>Rhizosolenia delicatula</i>	反曲原甲藻	<i>Protoperidinium redfieldii</i>
笔尖根管藻粗颈变种	<i>Rhizosolenia styliformis</i> var. <i>latissima</i>	叉状角藻	<i>Ceratium furca</i>
翼根管藻纤细变型	<i>Rhizosolenia alata</i> f. <i>gracillima</i>	大角角藻	<i>Ceratium macroceros</i>
钝根管藻半刺变型	<i>Rhizosolenia hebetata</i> f. <i>semispina</i>	具尾鳍角藻	<i>Dinophysis caudata</i>
中华根管藻	<i>Rhizosolenia sinensis</i>	勇士鳍藻印度变种	<i>Dinophysis miles</i> var. <i>indica</i>
透明根管藻	<i>Rhizosolenia hyaline</i>	长崎裸甲藻	<i>Gymnodinium mikimotoi</i>
刚毛根管藻	<i>Rhizosolenia setigera</i>	条纹环沟藻	<i>G. intriatum</i>
楔形藻属	<i>Licmophora agardh</i>	螺旋环沟藻	<i>G. spirale</i>
海链藻属	<i>Tharassiosira</i> sp.	球形多甲藻	<i>Peridinium globulus</i>
菱形海线藻小型变种	<i>Tharassionema nitzschioides</i> var. <i>parva</i>	长顶多甲藻	<i>Peridinium longipes</i>
菱形海线藻	<i>Tharassionema nitzschioides</i>	亚梨形多甲藻	<i>Peridinium subpyriforme</i>
伏氏海毛藻	<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>	平行多甲藻	<i>Peridinium parallellum</i>
窄隙角毛藻	<i>Chaetoceros affinis</i> var. <i>affinis</i>	叉分多甲藻	<i>Peridinium divergens</i>
盒形藻属	<i>Biddulphia</i> sp.	厚甲多甲藻	<i>Peridinium crassipes</i>
中国盒形藻	<i>Biddulphia sinensis</i>	锥状斯克里普藻	<i>Scrippsiella trochoidea</i>
活动盒形藻	<i>Biddulphia mobiliensis</i>	具刺膝沟藻	<i>Gonyaulax spinifera</i>
长角盒形藻	<i>Biddulphia longicuris</i>	春膝沟藻	<i>Gonyaulax verior</i>
泰晤士扭鞘藻	<i>Streptotheca tamesis</i>	米氏凯伦藻	<i>K. mikimotoi</i>
嘴端井字藻	<i>Eunotogramma rostratum</i>	塔玛亚历山大藻	<i>Alexandrium tamarense</i>
星脐圆筛藻	<i>Coscinodiscus assteromphalus</i> var. <i>asteromphalus</i>	链状亚历山大藻	<i>Alexandrium catenella</i>
孔圆筛藻窄隙变种	<i>Coscinodiscus perforatus</i> var. <i>pavillardi</i>	埃氏角藻	<i>Ceratium ehrenbergii</i>
蛛网星脐藻	<i>Asteromphalus arachna</i>	梭甲藻原变种	<i>Ceratium fusus</i> var. <i>fuscus</i>
尖刺菱形藻	<i>Nitzschia pungens</i>	具毒似翼藻	<i>Gambierdiscus toxicus</i>
丹麦曲壳藻	<i>Achnanthes danica</i>	血红哈卡藻	<i>Akashiwo sanguinea</i>
克氏曲壳藻	<i>Achnanthes clevei</i>	夜光藻	<i>Noctiluca scintillans</i>
短柄曲壳藻原变种	<i>Achnanthes bravipes</i>	蓝藻	<i>Cyanophyta</i>
针杆藻属	<i>Synedra</i> sp.	中央席藻海生变种	<i>Phormidium naveanum</i> var. <i>marina</i>
平滑针杆藻	<i>Synedra laevigata</i>	绿藻	<i>Chlorophyta</i>
舟型斜纹藻	<i>Pleurosigma sinensis</i>	束生刚毛藻	<i>Cladophora fascicularis</i>
短纹脆杆藻	<i>Fragilaria brevistriata</i>	扁藻	<i>Platymonas</i> sp.
透明脆杆藻	<i>Fragilaria hyaline</i>	金藻	<i>Chrysophyta</i>
平滑双眉藻	<i>Amphora laevis</i>	单鞭金藻	<i>Chromulina</i> sp.
粗纹藻不活动变种	<i>Trachyneis aspera</i> var. <i>residua</i>		

表2 黎安湾浮游植物优势种优势度
Tab. 2 Dominance of the dominant phytoplankton species

优势种 Dominant species	11-01		11-03		11-05		11-07		11-15		11-22		12-01	
	优势度 (Y) Degree of dominance	占总丰度百分比 Percentage of total abundance	优势度 (Y) Degree of dominance	占总丰度百分比 Percentage of total abundance	优势度 (Y) Degree of dominance	占总丰度百分比 Percentage of total abundance	优势度 (Y) Degree of dominance	占总丰度百分比 Percentage of total abundance	优势度 (Y) Degree of dominance	占总丰度百分比 Percentage of total abundance	优势度 (Y) Degree of dominance	占总丰度百分比 Percentage of total abundance	优势度 (Y) Degree of dominance	占总丰度百分比 Percentage of total abundance
小环藻 <i>Cyclotella</i> sp.	0.15	15.44	0.06	5.93	0.07	7.47	0.04	4.14	0.25	24.97	0.29	29.47	0.29	29.47
柔弱根管藻 <i>Rhizosolenia delicatula</i>	0.10	11.61	0.29	28.93	0.37	36.57	0.12	11.99	0.06	5.75	0.07	7.94	0.12	12.13
海链藻 <i>Thalassiosira</i> sp.	0.33	33.36	0.08	8.03	0.06	6.06	0.03	3.44	0.38	38.30	0.29	35.22	0.26	25.53
菱形海线藻 <i>Thalassionema nitzschioides</i>	0.02	2.51	0.07	6.54	0.08	8.1	0.07	7.15	0.07	7.39	0.04	4.67	0.04	4.67
丹麦细柱藻 <i>Leptocylindrus danicus</i>			0.25	25.34	0.11	13.06	0.39	38.99	0.07	7.39				
尖刺菱形藻 <i>Nitzschia pungens</i>			0.03	3.05	0.14	14.43	0.07	8.27	0.03	2.80				
刚毛根管藻 <i>Rhizosolenia setigera</i>			0.03	3.08	0.05	5.26	0.06	6.40						
中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i>			0.03	3.08	0.05	5.26	0.06	6.40	0.03	4.17	0.03	10.38	0.03	10.38
圆筛藻 <i>Coccolithus nodosus</i> sp.	0.12	12.42	0.02	1.58										
脆根管藻 <i>Rhizosolenia fragilissima</i>							0.03	3.34						
盒形藻 <i>Biddulphia</i> sp.									0.03	5.40				

从表 2 可知,黎安湾内浮游植物优势种明显(优势度 ≥ 0.02)。特别是小环藻、柔弱根管藻、海链藻、菱形海线藻、丹麦细柱藻、尖刺拟菱形藻和刚毛根管藻在调查期间的一半以上为优势种;在 1 个月内浮游植物优势种的优势度和种类都有一定的变化。2014-11-22 只有 2 个优势种,2014-11-01 和 2014-12-01 有 5 种,2014-11-05 和 2014-11-15 日有 7 种,2014-11-03、2014-11-07 有 8 种。2014-11-01 占总丰度百分比大于 10% 的有小环藻、柔弱根管藻、海链藻、圆筛藻;2014-11-03,2014-11-07 为柔弱根管藻、丹麦细柱藻;2014-11-05 有柔弱根管藻、丹麦细柱藻、尖刺拟菱形藻;2014-11-15 有小环藻、海链藻;2014-11-22 有海链藻;2014-12-01 有小环藻、海链藻、中肋骨条藻。

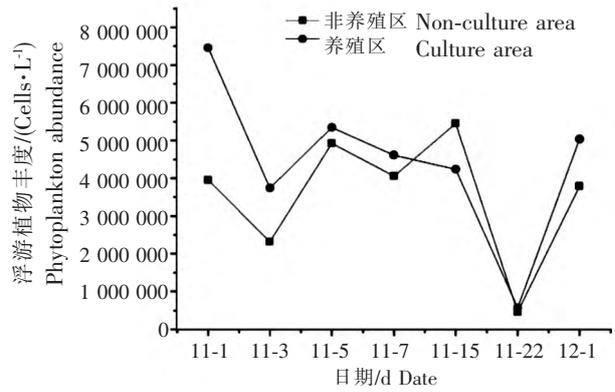


图 2 黎安湾浮游生物总丰度
Fig. 2 Total abundance of phytoplankton at Li'an Lagoon

2.3 生态特征值分析 从表 3 可知,浮游植物的多样性指数 H' 为 2.174 ~ 3.692,除了 2014-11-15,养殖区的浮游植物多样性均大于非养殖区。均匀度 J 为 0.495 ~ 0.797,除了 2014-11-15 和 2014-12-01 外,其他日期都是养殖海域浮游植物均匀度大于非养殖区。

表 3 黎安湾浮游植物多样性指数和均匀度
Tab. 3 Diversity and evenness index of phytoplankton at Li'an Lagoon

		日期 Date						
		11-01	11-03	11-05	11-07	11-15	11-22	12-01
多样性指数 H'Diversity index	养殖区 Culture area	3.409	3.692	2.93	3.017	2.561	2.944	3.035
	非养殖区 Non-culture area	2.174	2.982	2.551	2.724	2.795	2.379	2.758
均匀度 JEvenness index	养殖区 Culture area	0.695	0.694	0.639	0.677	0.627	0.720	0.743
	非养殖区 Non-culture area	0.495	0.650	0.590	0.653	0.670	0.643	0.797

2.4 浮游植物群落结构分析 用 PRIMER v6 软件中聚类分析 (CLUSTER) 分析浮游植物群落,发现 2014-11-05 和 2014-11-07 在养殖区内和养殖区附近海域的浮游植物群落结构的相似度高,达到 75% 以上;而 2014-11-22、2014-12-01 跟其余采样日期的群落结构差异较大,相似度仅为 42% (图 3)。

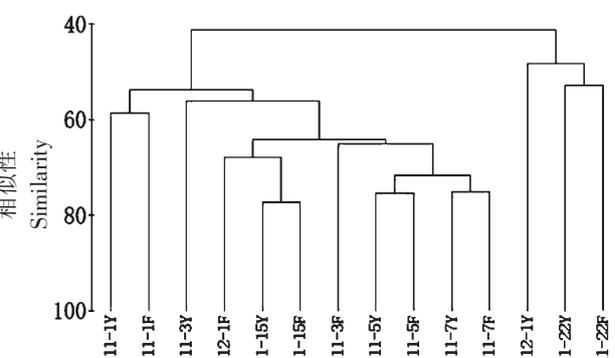


图 3 黎安湾浮游植物群落结构的 CLUSTER 图示
Fig. 3 Clustering dendrogram of the phytoplankton communities at Li'an Lagoon

2.5 浮游植物与生态因子相关性分析 从表 4 可知,黎安湾近岸海域的温度变化范围为 25.9 ~ 29.8 °C,盐度为 31 ~ 35,透明度为 2.24 ~ 5.7 m, pH 值为 7.91 ~ 8.38,溶解氧为 3.74 ~ 9.83 mg · L⁻¹,叶绿素 a 浓度为 2.79 ~ 18.13 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$,总磷为 0 ~ 0.8 mg · L⁻¹,亚硝酸盐氮为 0 ~ 0.11 mg · L⁻¹。

表 4 海南黎安湾环境参数
Tab. 4 Environmental parameters at Lián Lagoon

采样日期 Sampling Date	温度 T / °C Temperature	透明度 / m Transparency	pH	盐度 Salinity	溶解氧 / (mg · L ⁻¹) DO	叶绿素 a / (μg · L ⁻¹) Chlorophyll a	总磷 / (mg · L ⁻¹) Total phosphorus	亚硝酸盐氮 / (mg · L ⁻¹) Nitrite nitrogen
11-01Y	29.00	2.2	8.13	35.00	9.83	10.46	0.01	0.02
11-03Y	27.40	3.6	8.28	32.00	6.90	9.06	0.00	0.05
11-05Y	27.50	3.2	8.11	31.00	4.59	17.43	0.02	0.01
11-07Y	29.80	2.6	8.38	31.50	8.17	9.06	0.08	0.11
11-15Y	26.30	2.6	8.04	34.00	5.37	18.13	0.03	0.01
11-22Y	27.50	5.2	7.93	35.00	4.74	2.79	0.05	0.00
11-31Y	26.80	4.4	7.91	35.00	4.72	6.27	0.07	0.01
11-01F	28.17	2.6	8.12	35.00	8.44	9.06	0.23	0.01
11-03F	27.80	3.7	8.22	32.00	6.41	9.06	0.03	0.02
11-05F	27.00	3.2	8.12	32.00	3.84	13.95	0.02	0.01
11-07F	28.23	2.7	8.36	31.50	6.53	10.46	0.00	0.01
11-15F	25.90	2.8	7.83	34.00	4.30	16.04	0.00	0.01
11-22F	26.50	5.0	7.79	35.00	3.74	2.79	0.02	0.03
11-31F	27.00	5.7	8.07	35.00	4.49	4.19	0.00	0.04

通过 PRIMER v6 BEST 分析,显示透明度、盐度和叶绿素 *a* 与浮游植物群落结构的相关系数最高,为 0.541。

3 讨论

3.1 浮游植物丰度、种类及群落结构的变化特点 黎安湾浮游植物丰度为 $7.9 \times 10^5 \sim 7.5 \times 10^6$ cells · L⁻¹, 高于海南岛以南海域的年平均值^[5], 也高于新村湾 2012 年秋季和 2011 年 1~2 月测到的浮游植物丰度^[7,19]。这可能与黎安湾独特的地理结构有关,黎安湾形成口小腹大的潟湖,使得湾内水环境不易受到外界风浪、海流的影响而相对稳定^[20-21],湾内存在网箱养殖,投喂饵料和贝类排泄物都增加了水体营养盐含量,环境较适宜浮游植物的生长;此外,有些调查在网采过程中可能会因为漏掉许多微小型藻类从而影响结果。2014-11-22 养殖区和非养殖区的丰度降低到 7.9×10^5 cells · L⁻¹, 为本次调查研究的最低值,考虑当时的气候因素,推测主要因采样当天的骤雨所致,短时间内大量的降雨改变了潟湖表层水的理化性质和水动力条件,导致表层浮游植物数量明显减少,浮游植物群落结构也发生改变。在以往调查中也曾观察到降雨影响浮游植物丰度的类似研究结果^[22-23]。

优势种海链藻属、丹麦细柱藻、菱形海线藻、中肋骨条藻属于链状硅藻和群体硅藻,这种结构可增加细胞对营养盐的吸收^[24]。中肋骨条藻是嗜氮性硅藻^[25],在 2014-11-15 和 2014-12-01 成为优势种,具体原因还不清楚,可能与降雨导致陆源较多营养盐进入水体有关^[26]。通过控制营养盐含量来调节浮游植物群落结构,可能对维持黎安湾浮游植物群落的健康和平衡以及预防赤潮是一种有效的策略。

PRIMER 是大型多元统计软件,主要以等级相似性为基础分析多元数据,功能强大,在海洋群落结构、功能和生物多样性的研究方面应用广泛^[27-29],并成为海洋生态监测和环境评价领域中的重要数据分析工具^[30],但在我国使用 PRIMER 分析浮游生物群落结构的研究还较少^[31]。本研究中笔者采用 PRIMER 的聚类分析 (CLUSTER) 结果显示,2014-11-01—2014-11-15 群落结构相似度较高,而 2014-11-22 的群落结构跟其他时间的相差明显,在 2014-11-22 采样当天骤雨导致浮游植物的丰度大大降低;而 2014-11-01 和 2014-12-01 浮游植物群落结构差异也较大,可能原因是 11~12 月黎安湾经过了 8 d 的降雨,环境参数尤其是温度、盐度发生了较大改变所致。

3.2 浮游植物群落结构与生态因子的相关性 海洋浮游植物群落通常受到多个生态因子的综合影响,PRIMER 软件中的 BEST 可进行多元数据的综合分析,以获得多个环境参数和群落结构的相关性。BEST 分析结果显示,黎安湾浮游植物群落结构主要与叶绿素 *a*、透明度和盐度相关性高。叶绿素 *a* 是很多浮游

植物进行光合作用的最主要色素,常用来反映此类浮游植物的丰度大小;透明度与海水及其中悬浮物对透入光的吸收和散射效应相关,常用来度量海水能见度,研究表明透明度与浮游植物关系密切,当海水中的主要悬浮物为浮游植物时,海水透明度主要与叶绿素 a 相关^[32]。黎安湾是一个典型的热带潟湖,与外界的水交流程度低,局部的盐度受降雨的影响较大,当盐度发生较大变化时,对盐度适应范围较窄的浮游藻类会减少甚至消失,而适合此盐度的浮游植物相应增加,因此,盐度对浮游植物群落结构的影响较大。在台湾海峡中北部海域也发现盐度对浮游植物群落结构的类似影响^[33]。此外,有关研究还表明,水温、铵氮、亚硝酸盐、磷酸盐和硅酸盐也会影响浮游植物群落^[34-36],但在本次调查期间,这些因子变化幅度不大,对浮游植物群落结构变化的影响有限。

参考文献:

- [1] 顾志峰,王清印,王爱民,等. 企鹅珍珠贝(*Pteria penguin*) 在海南黎安港的生长特征[J]. 海洋与湖沼,2009,40(4): 423-429.
- [2] 蒋增杰,方建光,王爱民,等. 海南黎安港纳潮量及海水交换规律研究[J]. 海南大学学报(自然科学版),2009,27(3): 261-264.
- [3] 冯金良. 七里海潟湖的形成与演变[J]. 海洋湖沼通报,1998(2): 6-11.
- [4] 王世俊,李春初,田向平. 海南岛小海沙坝-潟湖-潮汐通道体系自动调整及恶化[J]. 应用海洋学报,2003,22(2): 248-253.
- [5] 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): 23-30,109-113.
- [6] 柯志新,黄良民,谭焯辉,等. 三亚珊瑚礁分布海区浮游生物的群落结构[J]. 生物多样性,2011,19(6): 696-701.
- [7] 黄凯旋,张云,欧林坚,等. 海南岛南北近岸海湾浮游生物对尿素的生物可利用性比较研究[J]. 海洋科学,2014,38(10): 76-82.
- [8] B. Г. 波戈罗夫,李冠国. 海洋浮游生物调查方法的标准化[J]. 海洋与湖沼,1957,1(1): 1-10.
- [9] 郑重,李少菁,许振祖. 海洋浮游生物学[M]. 北京: 海洋出版社,1984.
- [10] 郭玉洁,钱树本. 中国海藻志·第五卷: 硅藻门[M]. 北京: 科学出版社,2003.
- [11] 程兆第,高亚辉. 中国海藻志·第五卷: 硅藻门(第三册)[M]. 北京: 科学出版社,2012.
- [12] 丁兰萍. 中国海藻志·第四卷: 绿藻门[M]. 北京: 科学出版社,2013.
- [13] 黄宗国,林茂. 中国海洋生物图谱·第一册[M]. 北京: 海洋出版社,2012.
- [14] 金德祥,程兆第,林钧民,等. 中国海洋底栖硅藻类[M]. 北京: 海洋出版社,1982.
- [15] 杨世民,董树刚. 中国海域常见浮游硅藻图谱[M]. 山东: 中国海洋大学出版社,2006.
- [16] 国家海洋局. 海洋调查规范[M]. 北京: 中国标准出版社,2007: 30-35.
- [17] 国家海洋局. 海洋监测规范[M]. 北京: 中国标准出版社,2008: 76-95.
- [18] 陈宇炜,陈开宁,胡耀辉. 浮游植物叶绿素 a 测定的“热乙醇法”及其测定误差的探讨[J]. 湖泊科学,2006,18(5): 550-552.
- [19] 韦昌用,王大鹏,张益峰,等. 新村湾珍珠贝养殖区浮游植物现状调查分析[J]. 南方农业学报,2014,(7): 1286-1290.
- [20] Shen P P, Tan Y H, Huang L M, et al. Occurrence of brackish water phytoplankton species at a closed coral reef in Nansha Islands, South China Sea[J]. Marine Pollution Bulletin, 2010, 60(10): 1718-1725.
- [21] Yang W F, Huang Y P, Chen M, et al. Carbon and nitrogen cycling in the Zhubi coral reef lagoon of the South China Sea as revealed by ^{210}Po and ^{210}Pb [J]. Marine Pollution Bulletin, 2011, 62: 905-911.
- [22] 王为民. 2012年夏季暴雨前后胶州湾浮游植物群落的变化[D]. 青岛: 中国海洋大学,2013.
- [23] 王伟. 强降雨对胶州湾生源要素的补充作用及浮游植物丰度和种群结构的影响[D]. 青岛: 中国海洋大学,2013.
- [24] Logan B E, Alldredge A L. Potential for increased nutrient uptake by flocculating diatoms[J]. Marine Biology, 1989, 101: 443-450.
- [25] 刘东艳. 胶州湾浮游植物与沉积物中硅藻群落结构演替的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学,2004.
- [26] 陈春华,李巧香. 海口湾的台风及其对海水水质的影响机制分析[J]. 海洋学报,2002,24(2): 59-65.
- [27] Kerstin S S, Alexander D, Michael L. Verifying a biotope classification using benthic communities an analysis towards the implementation of the European Marine Strategy Framework Directive[J]. Marine Pollution Bulletin, 2014, 78(1/2): 137-137.

- [28] Tomassetti P, Gennaro P, Lattanzi L, et al. Benthic community response to sediment organic enrichment by Mediterranean fish farms: Case studies [J]. *Aquaculture*, 2016, 450: 262 – 272.
- [29] Chen Y, Cheung S G, Shin P K S. A baseline study of benthic community associated with Amphioxus Sand in subtropical Hong Kong [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2013, 72(1): 274 – 280.
- [30] 周红, 张志南. 大型多元统计软件 PRIMER 的方法原理及其在底栖群落生态学中的应用 [J]. *青岛海洋大学学报(自然科学版)*, 2003, 33(1): 58 – 64.
- [31] 吴荣君, 李瑞香, 朱明远. 应用 PRIMER 软件进行浮游植物群落结构的多元分析 [J]. *海洋与湖沼*, 2006, 37(4): 316 – 321.
- [32] 李宝华, 傅克付. 南黄海浮游植物与水色透明度之间相关关系的研究. 渤海海水透明度与水色的研究 [J]. *黄渤海海洋*, 1999, 17(3): 73 – 79.
- [33] 王雨, 林茂, 林更铭, 等. 浙闽沿岸流消退时期的浮游植物群落结构特征 [J]. *海洋通报*, 2011, 30(2): 220 – 225.
- [34] 戴明, 刘华雪, 廖秀丽, 等. 初秋南沙群岛海域网采浮游植物群落特征及其与环境因子的关系 [J]. *应用生态学报*, 2013, 24(12): 3553 – 3560.
- [35] 郭术津, 李彦翘, 张翠霞, 等. 渤海浮游植物群落结构及与环境因子的相关性分析 [J]. *海洋通报*, 2014, 33(1): 95 – 105.
- [36] 高瑜, 江志兵, 杜萍, 等. 乐清湾春季浮游生物群落和环境因子分布特征 [J]. *水生态学杂志*, 2012, 33(6): 82 – 89.

Characteristics of Phytoplankton Communities and Their Response to Environmental Factors at Lián Lagoon in Hainan

WANG Chaochao¹, CHEN Xin², BAN Guiyuan², TANG Min²

(1. College of Agronomy, Hainan University; 2. Faculty of Materials Science and Chemical Engineering, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China)

Abstract: Phytoplankton are significant producers in marine ecosystem, and are also important indicators in marine environmental monitoring work. The temporal variation of phytoplankton communities at Lián Lagoon in Hainan was investigated, and total 98 species belonging to 48 genera were identified at the lagoon. The phytoplankton abundance ranged from 7.92×10^5 cells \cdot L⁻¹ to 7.5×10^6 cells \cdot L⁻¹, and Bacillariophyta accounted for 93% ~ 99% of the total, while Pyrrophyta was 0 ~ 5%. The dominant species were *Cyclotella* sp., *Rhizosolenia delicatula*, *Tharassiosira* sp., *Tharassionema nitzschioides*, *Leptocylindrus danicus*, *Nitzschia pungens*, *Rhizosolenia setigera*, *Skeletonema costatum*, *Coscinodiscus* sp., *Rhizosolenia fragilissima* and *Biddulphia* sp. et al. It was found that the species composition and abundance of phytoplankton communities showed obviously different patterns within a month. PRIMER v6 CLUSTER identified an apparent similarity of phytoplankton communities from the samples during the period from November 3 to 15, 2014, but without significant difference between the culture area and the non-culture area. PRIMER v6 BEST analysis indicated that water pellucidity, salinity and chlorophyll *a* were significantly correlated to the phytoplankton communities. Meanwhile, the phytoplankton community structure was also influenced by the distinctive tropical lagoon environment and the local instant weather.

Keywords: phytoplankton community; Lián Lagoon; PRIMER