

徐闻珊瑚礁区浮游植物的季节变化*

张才学 孙省利 谢伟良 谢少英 詹冬玲 张瑜斌 张际标 陈春亮

(广东海洋大学海洋资源与环境监测中心 湛江 524088)

提要 2006 年 8 月—2007 年 4 月对广东省徐闻珊瑚礁区的浮游植物进行了周年的季节调查, 结果共检出浮游植物 262 种(包括变种和变型): 春季 82 种、夏季 117 种、秋季 119 种、冬季 141 种, 其中硅藻门 67 属 252 种, 甲藻门 5 属 8 种, 蓝藻门 1 属 2 种。优势种共有 37 种: 春季 8 种、夏季 7 种、秋季 9 种、冬季 13 种, 几乎全为广温广盐性沿岸种类, 群落结构具有亚热带和沿岸性特征, 主要优势种为太平洋海链藻 *Thalassiosira pacirica*、中肋骨条藻 *Skeletonema costatum*、奇异菱形藻 *Nitzschia paradoxa f. rhombus* 和细弱海链藻 *Thalassiosira subtilis* 等, 没有全年广布优势种; 四季均出现的种类共有 24 种, 全为硅藻, 各季节间共有种类数在 42—61 种, Jaccard 种类相似性指数范围在 0.256—0.310, 季节更替明显。多样性指数和均匀度平均值分别为 4.02 和 0.59, 物种非常丰富; 浮游植物细胞密度在 $(5.35—12.87) \times 10^4$ cells/L 之间, 冬季最高, 夏季次之, 秋季最低, 属双峰型变化, 但与一般亚热带春、秋季出现密度高峰不一致。叶绿素 *a* 含量与浮游植物密度存在着极显著的正相关, 而细胞密度、叶绿素 *a* 含量与各营养盐之间不存在明显的相关性。从浮游植物吸收 N、P 的配比分析, N 为春、夏、秋 3 季的营养限制因子, P 为冬季的营养限制因子, 但从 N、P 的绝对值看, N 和 P 都是全年的营养限制因子, 因此其水质营养类型属于亚热带贫营养型。在南北方向上, 4 个季节活性磷酸盐在各断面的含量依次均为 B>D>A>E>C, 这可能与该海区的流场特征及海底沉积物有关。

关键词 徐闻珊瑚礁, 浮游植物, 群落组成, 多样性指数, 季节变化

中图分类号 Q948.1

珊瑚礁是热带海洋中特有的海洋生态系统, 其特殊的海流系统和礁栖环境孕育着极高的生物生产力和生物多样性, 初级生产力比热带敞海高几十倍至几百倍, 被誉为“蓝色沙漠中的绿洲”。珊瑚礁在全球海洋中所占面积虽不足 0.25%, 但超过 1/4 的已知海洋鱼类靠珊瑚礁提供食物和繁殖场所。而珊瑚礁的生长非常缓慢(1—2cm/a), 并且对环境的变化较敏感, 温、盐度和透明度的变化、CO₂ 浓度的升高、上升流或富营养水侵袭、沉积物覆盖、珊瑚疾病或灾害、淡水径流或污染物排放和人类压力等都会影响着其生长, 甚至生存(王国忠, 2004; Pokley, 1999; Pennisi, 1998)。联合国环境规划署提供的数据表明, 目前, 由于全球变暖、海洋污染和人类对鱼类等资源的野蛮捕捞, 全世界的珊瑚礁有 11% 遭灭顶之灾, 16% 已不能

发挥生态功能, 60% 正面临着严重的威胁(张全跃, 2004)。保护珊瑚礁已成为保护人类生存环境、实施可持续发展战略的重要组成部分。

徐闻珊瑚礁位于雷州半岛西南部, 地处热带北缘, 西濒北部湾, 南临琼州海峡, 是唯一的中国大陆沿岸现代珊瑚礁, 2004 年 8 月尹建强等曾对该区进行过浮游植物的调查(尹建强等, 2006), 但有关该区浮游植物的季节演替情况未见报道。本文对该区的浮游植物及环境因子进行了周年的季节调查, 以期为进一步研究和保护珊瑚礁提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 样品的采集与分析

2006 年 8 月—2007 年 4 月在徐闻灯楼角珊瑚礁

* 广东省科技计划项目, 2006B36501009 号。张才学, 讲师, E-mail: zhangcx@gdou.edu.cn

通讯作者: 孙省利, 教授, E-mail: xingsun@126.com

收稿日期: 2008-01-23, 收修改稿日期: 2008-03-15

区进行了4个季节的浮游植物调查,根据珊瑚礁的分布及地形和底质(赵焕庭等, 2002),共设置了5个调查断面(图1),定性样品的采集是用浅水型浮游生物网自底至表进行垂直拖网,定量样品是用采水器采集表层水样1L于塑料瓶中,各加入体积分数为5%的福尔马林和1%的鲁哥氏液固定,在实验室静置沉淀24h,浓缩至50ml,于显微镜下进行定性分析和定量分析。叶绿素 a 样品是用采水器采集500ml表层水样于塑料瓶中,加入2.5ml浓度为10g/L的 $MgCO_3$ 悬浮液固定,用 $0.45\mu m$ 的醋酸微孔滤膜抽滤后,于4℃的冰箱内用丙酮(9+1)溶液萃取24h,然后在8000 r/min的转速下离心20min,取上清液于紫外-可见分光光度计分别在750nm、664nm、647nm、630nm波长下测定其吸光值。无机营养盐的测定方法分别为:靛酚蓝分光光度法测氨氮、萘乙二胺分光光度法测亚硝酸盐、紫外分光光度法测硝酸盐、硅钼蓝分光光度法测活性硅酸盐、磷钼蓝分光光度法测活性磷酸盐(国家海洋局, 1991)。

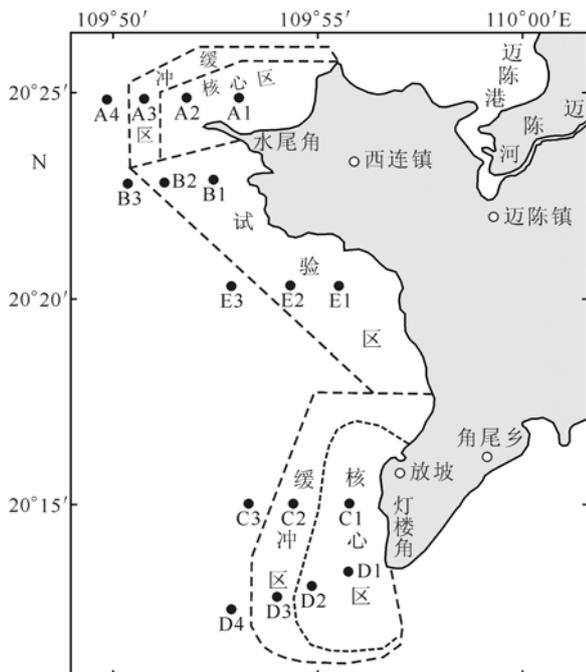


图1 徐闻珊瑚礁采样站

Fig.1 Sampling stations at Xuwen Coral Reef

1.2 统计方法

多样性指数(国家海洋局, 1991) $H' = -\sum_{i=1}^s P_i \log_2 P_i$, 式中, s 为物种数, P_i 为第 i 种在全部采样中的比例($P_i = n_i \cdot N^{-1}$, n_i 为第 i 种的个体数, N 为

所有种的个体总数)。

均匀度(国家海洋局, 1991) $J = H' \cdot (\log_2 S)^{-1}$, 式中, H' 为前式的多样性指数值, S 为样品中总种类数。

优势度(Sun *et al.*, 2004) $Y = (n_i \cdot N^{-1}) \cdot f_i$, 式中, n_i 为第 i 种的总个体数, N 为所有物种的总个体数, f_i 为第 i 种在各站位出现的频率, 以 $Y > 0.02$ 作为优势种。

Jaccard 相似系数(Jaccard, 1908) $P = c \cdot (a + b - c)^{-1}$, 式中, a 、 b 为两不同季节浮游植物种类数, c 为两不同季节的共有种类数。

2 结果

2.1 浮游植物种类组成和数量变化

经定性分析和定量分析,共鉴定出浮游植物3门72属262种(郭玉洁等, 2003; 金德祥等, 1965, 1982; 程兆第等, 1993),其中硅藻门67属252种,占浮游植物种类数的96.2%;甲藻门5属8种,占浮游植物种类数的3.1%,蓝藻门1属2种,占浮游植物种类数的0.8%。

种类数以冬季最多,达141种,秋季次之,为119种,夏季117种,春季最少,仅有82种(表1)。在硅藻门中角毛藻属种类最多,共有41种,其次为圆筛藻属28种,菱形藻属和根管藻属各19种,曲舟藻属13种,舟形藻属10种,盒形藻属8种,三角藻属7种;在甲藻门中角藻属种类最多,有4种。4个季节均出现的广布种共有24种,全为硅藻,没有甲藻。各季节间共有种类数在42—61种, Jaccard 种类相似性指数范围在0.256—0.310(表2)。夏、冬季种类相似性指数最高,冬、春季次之,秋、冬季种类差异最大。季节间种类相似性指数较低,说明该海区浮游植物的季节更替明显。

细胞密度以冬季最大,平均为 12.87×10^4 cells/L,夏季次之,平均为 9.97×10^4 cells/L,秋季最低,平均仅为 5.35×10^4 cells/L,年平均密度为 8.92×10^4 cells/L。硅藻类占绝对优势,夏季占细胞总量的98.90%,秋季占细胞总量的99.63%,冬季和春季约占细胞总量的100%。

2.2 浮游植物的优势种群和季节演替

本次调查共采到37种优势种,其中夏季7种;秋季9种;冬季13种;春季8种(表3)。4个季节均为优势种的种类没有,3个季节均为优势种的种类仅有2种:有翼圆筛藻 *Coscinodiscus bipartitus*、奇异菱形藻 *Nitzschia paradoxa f. rhombus*。优势度最高的是春季的太平洋海链藻 *Thalassiosira pacirica*, 它和次优

表 1 浮游植物的种类组成和数量的季节变化
Tab.1 The seasonal changes in species composition and phytoplankton density

门类	春季			夏季			秋季			冬季		
	属	种	密度	属	种	密度	属	种	密度	属	种	密度
硅藻门	34	80	7.48	41	109	9.86	41	117	5.33	41	137	12.87
甲藻门	2	2	—	3	6	0.11	2	2	0.02	2	4	—
蓝藻门	—	—	—	1	2	—	—	—	—	—	—	—
合计	36	82	7.48	45	117	9.97	43	119	5.35	43	141	12.87

注: 密度单位为 $\times 10^4$ cells/L

表 2 季节间浮游植物种类相似性指数
Tab.2 The species Jaccard Index of phytoplankton between two seasons

项目	春/夏	春/秋	春/冬	夏/秋	夏/冬	秋/冬
各季节种数	82/117	82/119	82/141	117/119	117/141	119/141
共有种数	44	42	51	49	61	53
Jaccard index	0.284	0.264	0.297	0.262	0.310	0.256

势种中肋骨条藻 *Skeletonema costatum* 共占了细胞总量的 56.7%; 其次是夏季的太平洋海链藻, 它和次优势种中肋骨条藻共占了细胞总量的 63.2%; 秋季的第一优势种为奇异菱形藻 *Nitzschia paradoxa f. rhombus*, 其优势度为 0.217, 占细胞总量的 24.7%; 冬季的第一优势种为细弱海链藻 *Thalassiosira subtilis*, 其优势度为 0.137, 占细胞总量的 13.7%, 其它优势种的优势度都较低。

2.3 浮游植物多样性指数、均匀度和叶绿素 *a* 的变化

多样性指数与均匀度的平均值与 2004 年 8 月的调查结果(张全跃, 2004)(3.448 和 0.655)相比多样性指数稍高, 均匀度稍低, 但比华南沿岸海区(蔡文贵等, 2003)的都高, 说明调查海区浮游植物的群落结构较 2004 年的复杂和稳定, 也比华南沿岸海区的复杂和稳定。各季节浮游植物的多样性指数和均匀度的排序都为冬季 > 秋季 > 春季 > 夏季(表 4)。叶绿素 *a* 含量冬季最高, 夏季次之, 秋季最低, 在各站点之间没有明显的变化规律。

2.4 徐闻珊瑚礁区各站点表层海水的营养盐

在平面分布上, 四季营养盐从沿岸到外海都没有明显的变化规律; 在南北方向上, 四季活性磷酸盐在各断面的含量依次均为 $B > D > A > E > C$ 。春季无机氮和活性硅酸盐在各断面间无明显的变化规律; 夏季无机氮从北往南逐渐偏低; 活性硅酸盐在南北方向上, 呈现中间断面高, 向南向北逐渐变低。秋季无机氮从北往南逐渐偏低, 活性硅酸盐在南北方向上, E、C 断面最高, B 断面最低。冬季无机氮在南北

方向上, 呈现中间高两端低, 活性硅酸盐从北往南逐渐升高。在季节变化上, 无机氮和活性磷酸盐都是冬季最高, 秋季次之, 夏季最低; 而活性硅酸盐则是夏季最高, 秋季次之, 冬季最低(表 5)。

3 讨论

3.1 徐闻珊瑚礁区浮游植物的群落特征

徐闻珊瑚礁区浮游植物密度在冬季最高, 夏季次之, 秋季最低, 属双峰型变化, 与赖廷和等(2005)对北海近岸浮游植物研究的结果也是冬夏季出现密度高峰相一致, 但与一般亚热带春、秋季出现密度高峰不一致, 似乎密度高峰的出现时间提前了一个季节。这可能与北部湾潮流交换的海水都是来源于北部湾口外的热带海区有关。

在浮游植物群落中, 优势种类几乎全为广温、广盐沿岸性种类, 其中广温、广盐、广布优势种有奇异菱形藻、佛氏海毛藻、中肋骨条藻、条纹小环藻、具边圆筛藻、短角弯角藻; 广温广盐沿岸性优势种有旋链角毛藻、柔弱角毛藻、菱形海线藻、刚毛根管藻、长菱形藻、斯托根管藻、新月菱形藻; 温带沿岸性优势种有圆海链藻、窄隙角毛藻、细弱海链藻、脆根管藻、柔弱根管藻、中华半管藻、拟旋链角毛藻、扭链角毛藻、绕孢角毛藻、有翼圆筛藻。此外也有热带性种类热带骨条藻和半咸淡水种类皇冠盘藻小形变种。群落结构具有亚热带和沿岸性特征, 并受外海高温高盐的影响。优势种群由春、夏季的太平洋海链藻和中肋骨条藻演替至秋季的奇异菱形藻和冬季的细弱海链藻。

表 3 珊瑚礁区浮游植物的优势种
Tab.3 The dominant species of phytoplankton around the Coral Reef

季节	物种	出现频度	占细胞总量百分比(%)	优势度	
夏季	太平洋海链藻 <i>Thalassiosira pacirica</i>	1.00	33.3	0.333	
	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i>	1.00	29.9	0.299	
	热带骨条藻 <i>Skeletonema tropicum</i>	1.00	6.7	0.067	
	窄隙角毛藻 <i>Chaetoceros affinis</i> var. <i>affinis</i>	0.75	5.8	0.044	
	有翼圆筛藻 <i>Coscinodiscus bipartitus</i>	0.63	3.9	0.025	
	圆海链藻 <i>Thalassiosira rotula</i>	0.69	3.4	0.023	
	皇冠盘藻 <i>Stephanodiscus astraes</i> var. <i>astraes</i>	0.75	2.7	0.020	
秋季	奇异菱形藻 <i>Nitzschia paradoxa</i> f. <i>rhombus</i>	0.88	24.7	0.217	
	长菱形藻 <i>Nitzschia longissima</i>	0.88	9.6	0.084	
	佛氏海毛藻 <i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>	1.00	6.8	0.068	
	菱形海线藻 <i>Thalassionema nitzschioides</i>	1.00	6.7	0.067	
	皇冠盘藻小形变种 <i>Stephanodiscus astraes</i> var. <i>minutula</i>	0.63	4.3	0.027	
	条纹小环藻 <i>Cyclotella striata</i> var. <i>striata</i>	0.63	3.9	0.025	
	短线脆杆藻 <i>Fragilaria brevistriata</i>	0.56	3.9	0.022	
	具边圆筛藻 <i>Coscinodiscus marginatus</i>	0.56	3.6	0.020	
	舟形斜纹藻 <i>Pleurosigma</i> sp.	0.56	3.6	0.020	
	冬季	细弱海链藻 <i>Thalassiosira subtilis</i>	1.00	13.7	0.137
奇异菱形藻		0.94	9.0	0.085	
脆根管藻 <i>Rhizosolenia fragilissima</i>		0.94	6.3	0.059	
柔弱角毛藻 <i>Chaetoceros debilis</i>		0.75	6.1	0.046	
斯托根管藻 <i>Rhizosolenia stolterfothii</i>		1.00	5.6	0.056	
旋链角毛藻 <i>Chaetoceros curvisetus</i>		1.00	6.1	0.061	
圆海链藻		0.94	6.3	0.059	
中华半管藻 <i>Hemiaulus sinensis</i>		1.00	2.9	0.029	
拟旋链角毛藻 <i>Chaetoceros pseudocurvisetus</i>		1.00	3.6	0.036	
短角弯角藻 <i>Eucampia zodiacus</i>		1.00	2.8	0.028	
薄壁几内亚藻 <i>Guinardia flaccida</i>		0.94	2.6	0.024	
菱形海线藻		1.00	3.3	0.033	
有翼圆筛藻		0.94	2.2	0.021	
春季		太平洋海链藻	1.00	41.4	0.414
		中肋骨条藻	1.00	15.2	0.152
		细弱海链藻	0.81	5.5	0.045
		奇异菱形藻	0.75	4.3	0.032
	长菱形藻	0.88	4.2	0.037	
	新月菱形藻 <i>Nitzschia closterium</i>	0.75	3.1	0.024	
	扭链角毛藻 <i>Chaetoceros tortosimus</i>	0.75	3.1	0.024	
	有翼圆筛藻	0.75	2.7	0.020	

表 4 各季节浮游植物的多样性、均匀度和叶绿素 a 含量
Tab.4 Diversity index, evenness and Chl-a concentration of phytoplankton in different seasons

项目	夏季	秋季	冬季	春季	平均
多样性指数	3.11	4.66	4.85	3.45	4.02
均匀度	0.45	0.68	0.68	0.54	0.59
叶绿素 a ($\mu\text{g/L}$)	2.41	0.66	4.40	0.92	2.10

表 5 珊瑚礁区各季节表层海水的营养盐含量
Tab.5 The nutrient concentration of surface seawater in different seasons

季节	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	PO ₄ ³⁻ -P	SiO ₃ ²⁻ -Si	N/P	Si/P	Si/N
夏季	0.006	0.022	0.011	0.009	1.074	4.33	119.33	27.54
秋季	0.003	0.059	0.006	0.012	0.926	5.67	77.17	13.62
冬季	0.005	0.412	0.134	0.014	0.128	39.36	9.14	0.23
春季	0.004	0.038	0.016	0.010	0.191	5.80	19.10	3.29

注: 营养盐数据单位为 mg/L, 右边三列数据为比值

对珊瑚礁区浮游植物的群落结构分析还发现, 该海区浮游植物种类组成主要是硅藻, 春季几乎全为硅藻, 只在定性样品中发现 2 种甲藻; 夏季硅藻占了细胞总量的 98.9%, 甲藻占 1.1%; 秋季硅藻占了细胞总量的 99.6%, 甲藻仅占 0.4%; 冬季几乎全为硅藻, 只在定性样品中发现 4 种甲藻。

红海束毛藻和铁氏束毛藻一般生长在热带、亚热带贫营养盐海域。这次调查的结果与尹健强在 2004 年 8 月调查时也发现这两个种, 说明该海区还是属于贫营养型海域, 没有受到营养盐的严重污染。

多样性指数在 3.11—4.85 之间, 平均为 4.02, 显示物种非常丰富(陈清潮等, 1994)。

通过相关性分析, 各季节叶绿素 *a* 含量与浮游植物平均密度存在着极显著的正相关, 其相关系数 $r = 0.973, P < 0.05$ 。

3.2 浮游植物与营养盐的关系

从图 2 和表 5 可见, 全年无机氮含量变化范围在 0.039—0.551mg/L 之间, 冬季最高, 夏季最低, 与一般亚热带海区营养盐在冬季积累、夏季被大量消耗相一致, 由于氮的浓度在 0.26—1.3mg/L 时, 藻类生长受到限制(王骥, 1990), 因此, 无机氮(DIN, Dissolved Inorganic Nitrogen)为珊瑚礁区四季的营养限制因子, 尤其是春、夏、秋 3 季均低于浮游植物生长受限制的最低值。在浮游植物体内磷化合物几乎在全部代谢过程中(尤其是在能量转换过程中)起着重要作用, 若磷的浓度低于 0.050mg/L 时, 就会限制浮游植物的增殖(胡明辉等, 1989)。珊瑚礁区磷酸盐含量全年在 0.009—0.014mg/L, 各个季节都较低, 表现出明显的 P 限制。硅酸盐含量全年在 0.128—1.074mg/L, 很多学者研究发现硅藻中 Fragilariaceae 的物种对磷的需求很低(吸收半饱和常数 $k_s = 0.003—0.02 \mu\text{mol/L}$), 但对 Si 的需求较高($k_s = 1.5—19.7 \mu\text{mol/L}$); 而中心硅藻纲的物种对磷的需求较高($k_s = 0.13—0.25 \mu\text{mol/L}$), 对 Si 的需求较低($k_s = 0.12—1.44 \mu\text{mol/L}$) (Kilham, 1984; Sommer, 1983; Tilman, 1981; Utermöhl, 1958), 因此硅不

成为营养限制因子。在浮游植物的生长过程中其生长所需的 $N : P = 16 : 1$ (Redfield, 1958), 高于此值, P 为营养限制因子; 低于此值, N 为营养限制因子。徐闻珊瑚礁区春、夏、秋季 N 与 P 比值都低于此值, 从浮游植物吸收 N、P 的配比分析, N 为此 3 个季节的营养限制因子, 而冬季的 N 与 P 比值都高于此值, P 为冬季的营养限制因子。

从营养盐在珊瑚礁区的分布发现, 在南北方向上, 四季活性磷酸盐在各断面的含量依次均为 $B > D > A > E > C$, 这可能与该海区的流场特征及海底沉积物有关, 有待于进一步研究。

但分别对 4 个季节的细胞密度、叶绿素 *a* 含量与各营养盐进行统计和相关性分析发现, 细胞密度、叶绿素 *a* 含量与各营养盐之间不存在明显的相关性。

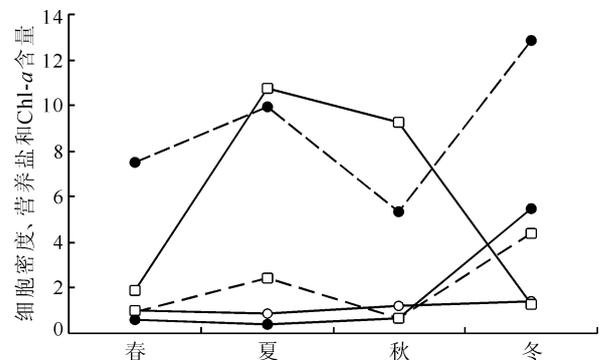


图 2 浮游植物密度、叶绿素 *a* 和营养盐的季节变化
Fig.2 The seasonal changes in cell density, Chl-*a* and nutrient concentration

--- 细胞密度($\times 10^4$ cells/L), — — DIN 含量($\times 10$ mg/L),
— — PO₄³⁻ 含量($\times 100$ mg/L), — □ — SiO₃²⁻ 含量($\times 10$ mg/L),
- - □ - - 叶绿素 *a* 含量($\mu\text{g/L}$)

4 结论

徐闻珊瑚礁区浮游植物共 2 门 72 属 262 种, 其中硅藻门 67 属 252 种, 占浮游植物种类数的 96.2%; 甲藻门 5 属 8 种, 占浮游植物种类数的 3.1%, 蓝藻门 1 属 2 种, 占浮游植物种类数的 0.8%。

种类数以冬季最多, 达 141 种, 秋季次之, 为

119种,夏季117种,春季最少,仅有82种。浮游植物种类组成主要是硅藻,冬、春季几乎全为硅藻,仅在定性样品中发现少数几种甲藻,夏、秋季硅藻分别占了细胞总量的98.9%和99.6%。浮游植物密度在冬季最高,夏季次之,秋季最低,属双峰型变化,与一般亚热带春、秋季出现密度高峰不一致。

4个季节均出现的种类有24种,全为硅藻,没有甲藻。各季节间共有种类数在42—61种,Jaccard种类相似性指数范围在0.256—0.310。夏、冬季种类相似性指数最高,冬、春季次之,秋、冬季种类差异最大。季节间种类相似性指数较低,说明该海区浮游植物的季节更替明显。

优势种共有37种:夏季7种、秋季9种、冬季13种、春季8种,没有全年广布优势种,优势度最高的是春季的太平洋海链藻,达0.414,次之是夏季的太平洋海链藻和中肋骨条藻,分别达0.333和0.299,之后是秋季的奇异菱形藻0.217和冬季的细弱海链藻0.137,其他优势种的优势度都很低。

多样性指数与均匀度的年平均值分别为4.02和0.59,物种非常丰富。

叶绿素 a 含量与浮游植物密度存在着极显著的正相关,其相关系数 $r=0.973$, $P<0.05$,而细胞密度、叶绿素 a 含量与各营养盐之间不存在明显的相关性。

从浮游植物吸收N、P的配比分析,N为春、夏、秋季的营养限制因子,P为冬季的营养限制因子,但从N、P的绝对值看,N和P都是全年的营养限制因子。徐闻珊瑚礁区水质营养类型属于亚热带贫营养型。

在南北方向上,四季活性磷酸盐在各断面的含量依次均为 $B>D>A>E>C$,这可能与该海区的流场特征及海底沉积物有关。

参 考 文 献

- 王 骥, 1990. 水生生物生产力. 见: 刘建康主编. 东湖生态学研究(一), 中国科学院东湖生态系统试验站论文集. 北京: 科学出版社, 167—197
- 王国忠, 2004. 全球气候变化与珊瑚礁问题. 海洋地质动态, 20(1): 8—13
- 尹健强, 黄 晖, 黄良民等, 2006. 雷州半岛灯楼角珊瑚礁区的浮游植物. 海洋通报, 25(2): 8—14
- 张全跃, 2004. 保护珊瑚礁. 大自然, 4: 27—28
- 陈清潮, 黄良民, 尹健强等, 1994. 南海群岛海区浮游动物多样性研究//中国科学院南沙综合科学考察队. 南海群岛及其邻近海区海洋生物多样性研究 I. 北京: 海洋出版社, 42—50
- 国家海洋局, 1991. 海洋监测规范. 北京: 海洋出版社, 727—728
- 金德祥, 程兆第, 林均民著, 1982. 中国海洋底栖硅藻类(上). 北京: 海洋出版社, 1—323
- 金德祥, 陈金环, 黄凯歌著, 1965. 中国海洋浮游硅藻类. 上海: 上海科学技术出版社, 1—228
- 赵焕庭, 王丽荣, 宋朝景等, 2002. 雷州半岛灯楼角珊瑚岸礁的特征. 海洋地质与第四纪地质, 22(2): 35—40
- 胡明辉, 杨逸萍, 徐春林等, 1989. 长江口浮游植物生长的磷酸盐限制. 海洋学报, 11(4): 439—443
- 郭玉洁, 钱树本, 2003. 中国海藻志 硅藻门 中心硅藻纲. 北京: 科学出版社, 11—447
- 程兆第, 高亚辉, 刘师成, 1993. 福建沿岸微型硅藻. 北京: 海洋出版社, 1—91
- 赖廷和, 邱绍芳, 2005. 北海近岸水域浮游植物群落结构及数量周年变化特征. 海洋通报, 24(5): 27—32
- 蔡文贵, 李纯厚, 贾晓平等, 2003. 粤西海域浮游植物种类动态变化及多样性. 海洋环境科学, 22(4): 34—37
- Jaccard P, 1908. Nouvelles recherches sur la distribution florale. Bull Soc Vaud Sci Nat, 44: 223—270
- Kilham S S, 1984. Silicon and phosphorus growth kinetics and competitive interactions between *Stephanodiscus minutus* and *Synedra* sp.. Int Ver Theor Angew Limnol Verh, 22: 435—439
- Pennisi E, 1998. New threat seen from carbon dioxide. Science, 279: 989
- Pokley P, 1999. Global warming "could kill most coral reefs by 2100". Nature, 400: 98
- Redfield A C, 1958. The biological control of chemical factors in the environment. Am Sci, 46: 205—222
- Sommer U, 1983. Nutrient competition between phytoplankton in multi species chemostat experiments. Arch Hydrobiol, 96: 399—416
- Sun J, Lju D Y, Xu J *et al*, 2004. The netz-phytoplankton community of the Central Bohai Sea and its adjacent waters in spring 1999. Acta Ecologica Sinica, 24(9): 2003—2016
- Tilman D, 1981. Test of resource competition theory using four species of Lake Michigan algae. Ecology, 62: 802—815
- Utermöhl H, 1958. Zur vervollkommnung der quantitativen phytoplankton methodik. Trans Int Verein Theor Appl Limnol, 9: 1—38

SEASONAL CHANGES OF THE PHYTOPLANKTON IN XUWEN CORAL REEF AREA

ZHANG Cai-Xue, SUN Xing-Li, XIE Wei-Liang, XIE Shao-Ying, ZHAN Dong-Ling, ZHANG Yu-Bin,
ZHANG Ji-Biao, CHEN Chun-Liang

(Monitoring Center of Ocean Resource and Environment, Guangdong Ocean University, Zhanjiang, 524088)

Abstract Seasonal investigation on phytoplankton community was carried out in Xuwen Coral Reef Area of Guangdong, China, from August 2006 to April 2007. Of the total 262 species (including varieties and forms) found in this area, 82 occurred in spring, 117 in summer, 119 in autumn, and 141 in winter. Taxonomically, 252 species in 67 genera were Bacillariophyta, 8 species 5 genera were Pyrrophyta and 2 species 1 genus were Cyanophyta. 37 dominant species were scrutinized, of which 8 species in spring, 7 in summer, 9 in autumn and 13 in winter. All the dominant species were eurythermic and euryhaline characteristic of sub-tropic community structure along seashore. The majority of dominant species were *Thalassiosira pacirica*, *Skeletonema costatum*, *Nitzschia paradoxa*, and *Thalassiosira subtilis*. No dominant species spread widely in all seasons, while 24 Bacillariophyta species occurred in all seasons, and 42—61 common species in two seasons. The Jaccard similarity coefficient ranges 0.256—0.310, implying obvious seasonal succession. The average diversity index and evenness are 4.02 and 0.59, respectively, indicating more abundant species appeared in this area. The density of phytoplankton ranges $(5.35—12.87) \times 10^4$ cells/L with the maximum in winter, followed by summer, spring and autumn in a descending order. The scenario is particular as phytoplankton in other sub-tropic areas often bloom in spring or autumn. The concentration of chlorophyll-*a* is closely related to the density of phytoplankton, but no correlation was found among the density, chlorophyll-*a* concentration, and nutrient salt content. In terms of absorption proportion, element N was the nutritional limiting factors in spring, summer and autumn, while element P in winter. However, both became the nutritional limiting factors in all years in term of absolute absorption. Therefore, the water quality was of subtropical oligotrophic type. The order of concentration of phosphate in four seasons decreased from south to north as the result of marine currents and sedimentation.

Key words Xuwen Coral Reef, Phytoplankton, Community composition, Shannon-Weaver index, Seasonal change