

# 珠海淇澳岛红树林和芦苇湿地底栖硅藻群落比较

徐承超, 杨晓莹, 卢亮, 张杰龙, 黎运钦, 刘蔚秋\*

(中山大学生命科学院, 广州 510275)

**摘要:** 研究了珠海淇澳岛红树林湿地和芦苇湿地 2007 年 3 月至 2008 年 1 月间底栖硅藻群落的结构及其动态特征。结果表明, 两种湿地共有底栖硅藻 28 属 113 种(变种), 其中红树林中检出 23 属 95 种(变种), 明显高于芦苇湿地的 21 属 42 种(变种)。底栖硅藻的丰度为 14.3 ~ 553.5 cells cm<sup>-3</sup>, 不同样地和采样期的多样性指数和均匀度指数不同, 但红树林湿地高于芦苇湿地。两种湿地底栖硅藻群落的属种结构存在显著差异, 红树林湿地中多以羽纹藻类, 如布纹藻属(*Gyrosigma*)、斜纹藻属(*Pleurosigma*)和羽纹藻属(*Pinnularia*)等占优势, 而芦苇湿地主要以中心藻类, 如圆筛藻属(*Coscinodiscus*)和小环藻属(*Cyclotella*)等占优势。相似性分析显示, 样地基质对底栖硅藻群落的影响大于季节变化的影响。

**关键词:** 底栖硅藻; 生物多样性; 红树林; 芦苇湿地; 群落结构

中图分类号: Q948.881.4

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2010)03-0217-07

## Comparison of Benthic Diatom Assemblages from Mangrove and Reed Wetland in Qi'ao Island, Zhuhai, Guangdong Province, China

XU Cheng-chao, YANG Xiao-ying, LU Liang, ZHANG Jie-long, LI Yun-qin, LIU Wei-qiu\*

(School of Life Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

**Abstract:** The structure, species composition and seasonal dynamics of benthic diatom assemblages in two kinds of wetland, mangrove and reed wetland, in Qi'ao Island, Zhuhai were investigated from March 2007 to January 2008. Samples of surface sediment layer (5 cm) were collected and detected under microscope. There were 113 taxa benthic diatom belonging to 28 genera, of which 95 taxa in mangrove and 42 taxa in reed wetland. Abundance of benthic diatoms ranged from 14.3 to 553.5 cells cm<sup>-3</sup>. The diversity indices and evenness index varied greatly in different sites and sampling time, but those in mangrove were higher than those in reed wetland. Species composition significantly differed in the two sites. Pennales, such as species from *Gyrosigma*, *Pleurosigma* and *Pinnularia* were dominant in the mangrove, while Centrales dominated in the reed wetland, such as *Cyclotella* and *Coscinodiscus*. Analysis of similarity indicated that the effects of site sediment were more important than that of season.

**Key words:** Benthic diatoms; Biodiversity; Mangrove; Reed wetland; Community structure

底栖藻类是浅水水体中重要的初级生产者, 在水体食物链中起着重要作用<sup>[1]</sup>, 研究表明大陆架底部单位面积叶绿素 a 含量高于其上覆水体叶绿素 a 的总和<sup>[2]</sup>, 浅海海岸带底栖硅藻的光合作用还能显著改变间隙水的 pH、氧化还原电位, 并影响其营养

流的动态<sup>[3-4]</sup>。红树林是生长于热带和亚热带沿海潮间带的一类特殊植被, 是陆地生态系统与海洋生态系统的过渡地带, 具有高度的生物多样性, 在生产、生活及多样性保护上具有十分重要的意义, 是目前研究得最为深入的湿地类型之一。对红树林

收稿日期: 2009-06-11 接受日期: 2009-11-17

基金项目: 国家自然科学基金-广东省联合基金项目(U0633002); 国家人才培养基金(基地)项目(J0730638)资助

作者简介: 徐承超(1986.12 ~ ), 现在新加坡国立大学攻读博士学位, 博士期间的研究方向为细胞生物学, email: xcc2009@126.com

\* 通讯作者 Corresponding author, email: liuweiqiu1970@yahoo.com.cn

底栖硅藻群落的结构和动态进行深入研究并与其他类型湿地进行比较,有助于全面了解红树林生态系统的物质循环和能量流动规律,阐释其高多样性和高生产力的维持机理,但是,迄今为止相关的研究很少,且研究结果之间存在差异<sup>[5-8]</sup>。目前在我国华南沿海,除红树林湿地外,还分布有较大面积的互花米草(*Spartina alterniflora*)和芦苇(*Phragmites communis*)湿地<sup>[9]</sup>,但尚未见有对其底栖硅藻与红树林的比较研究报道。由于红树林中的底泥松软,泥层深厚,因此我们推测这一特征将有助于其维持较高的底栖硅藻物种多样性和数量。

本文对珠海淇澳岛天然红树林及其邻近的芦苇湿地中底栖硅藻群落进行为期一年的调查,对两种湿地中底栖硅藻群落物种多样性及群落密度,以及底栖硅藻的种类组成进行了比较,探讨了红树植物对底栖硅藻物种组成的影响,为红树林等湿地的生物多样性保护研究提供科学依据。

## 1 研究方法

### 1.1 研究地概况

珠海市位于珠江口的西南部,位于 21°48' ~ 22°27'N, 113°3' ~ 114°18'E,属南亚热带季风气候区,阳光充足,雨量充沛,全年无霜。淇澳岛位于珠海市东部,面积 24 km<sup>2</sup>,岛屿四周的土壤主要是滨海沙土和滨海盐渍沼泽土,适合红树植物生长,历史上其四周曾生长着茂密的红树林,1984 年淇澳岛分布有红树林 1.09 km<sup>2</sup>,主要物种为秋茄(*Kandelia candel*)和老鼠簕(*Acanthus ilicifolius*)等,但由于围海造田和围垦养殖及桥梁码头建设等原因,红树林分布面积不断减少,至 1998 年仅为 0.32 km<sup>2</sup><sup>[10]</sup>。自 1999 年开始淇澳岛陆续引种了海桑(*Sonneratia caseolaris*)、无瓣海桑(*S. apetala*)、木榄(*Bruguiera gymnorhiza*)等 10 余种红树植物,目前形成了以无瓣海桑和海桑为主的红树林植被<sup>[9]</sup>。

### 1.2 样品采集和处理

从 2007 年 3 月至 2008 年 1 月,每两个月分别在淇澳岛秋茄红树林湿地及芦苇湿地内采集底泥样品,两样地均位于淇澳岛大围湾大坝附近,两样地相隔约 150 m,水文特征较相似。其中红树林以秋茄为主,伴生植物为老鼠簕、桐花树(*Aegiceras corniculatum*)、水黄皮(*Pongamia pinnata*)和白花鱼藤(*Derris alborubra*)等;芦苇湿地中芦苇高约 2 m。采样时分别在各样地直径为 2 m 的圆周内取 3 个样

品,用直径 5 cm PVC 塑料管插入基质,用胶塞塞住上端,拔出后取下塞子,将管中底泥从下端挤出,取表层 5 cm 样品。样品用 40 目和 400 目套筛重叠冲洗,两筛之间的部分用蒸馏水冲洗收集<sup>[11]</sup>,用 4% 甲醛固定,用虹吸法浓缩至 100 mL,每个样地的 3 个样品作为 1 个混合样品处理,以消除硅藻分布的斑块性的影响<sup>[5]</sup>。

### 1.3 样品鉴定与计数

将样品充分震荡混匀后,每次取 0.1 mL 于浮游植物计数框中,于显微镜 400 放大倍数下定量镜检,每个混合样品至少检出 200 个硅藻个体,换算成 1 cm<sup>3</sup> 土壤中的藻类密度<sup>[11]</sup>。种类鉴定主要参考国内有关硅藻资料文献<sup>[12-15]</sup>。

### 1.4 多样性分析

多样性指数采用 Shannon-Wiener 多样性指数和 Simpson 指数<sup>[16]</sup>。

Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ ):  $H' = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$ ;

Simpson 指数( $S_p$ ):  $S_p = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2$ ,式中  $P_i$  为第  $i$  物种的个体比例, $S$  为总的物种数。

物种丰富度( $D$ )采用 Marglef 物种丰富度指数<sup>[17]</sup>, $D = (S-1)/\log_2(N)$ ,式中  $S$  为硅藻的物种数, $N$  为所有物种的个体总数。

均匀度指数( $J'$ )采用 Pielou 公式计算<sup>[18]</sup>, $J' = H'/\ln S$ ,式中  $H'$  为 Shannon-Wiener 多样性指数, $S$  为群落中的物种数。

### 1.5 相似性系数

底栖硅藻群落的相似性系数分别用 Sorenson 系数和 Bray-Curtis 系数进行测度<sup>[19]</sup>。

Sorenson 系数( $CS$ ):  $CS = 2c/(a+b)$ ,其中  $c$  为两个样品共有种数; $a$  为样品 A 的物种数; $b$  为样品 B 的物种数。

Bray-Curtis 系数( $CC$ ):  $CC = 2jN/(aN + bN)$ ,其中  $aN$  为样品 A 中底栖硅藻的总密度; $bN$  为样品 B 中底栖硅藻的总密度; $jN$  表示样地 A( $jNa$ )和样地 B( $jNb$ )共有种中密度较低值之和,即  $jN = \sum \min(jNa, jNb)$ 。

## 2 结果和分析

### 2.1 群落结构及季节变化

两种湿地共检出硅藻 28 属 113 种(变种),其中红树林中检出 23 属 95 种(变种),芦苇湿地 21 属 42

种(变种)。红树林中优势属有斜纹藻属(*Pleurosigma*)、布纹藻属(*Gyrosigma*)、小环藻属(*Cyclotella*)、圆筛藻属(*Coscinodiscus*)、羽纹藻属(*Pinnularia*)、舟形藻属(*Navicula*)、卵形藻属(*Cocconeis*)、菱形藻属(*Nitzschia*)等,而芦苇湿地的优势属多为中心藻纲的小环藻属和圆筛藻属,羽纹藻纲的种类及数量相对较少(附录及表1)。

不同月份底栖硅藻种类组成波动较大,绝大多数种仅出现于某些月份。在红树林中各次采样中均出现的种仅有明壁圆筛藻(*Coscinodiscus debilis*)、琼氏圆筛藻(*Coscinodiscus jonesianus*)、盐生斜纹藻(*Pleurosigma salinarum*)和簇生布纹藻薄喙变种(*Gyrosigma fasciola* var. *tenuirostris*);而芦苇湿地有小环藻(*Cyclotella* sp.)、中心圆筛藻(*Coscinodiscus centralis*)、明壁圆筛藻和具边线形圆筛藻(*Coscinodiscus marginato-lineatus*),其中明壁圆筛藻

在两地均为优势种。底栖硅藻的密度随季节而波动(表1),红树林3月、7月和11月的底栖硅藻密度较高,为100 cells cm<sup>-3</sup>左右,而5月、9月和1月较低,为15~35 cells cm<sup>-3</sup>。芦苇湿地中底栖硅藻的密度在3月、5月、7月和1月均低于红树林,但9月和11月高于红树林,特别是11月的密度急剧上升至553 cells cm<sup>-3</sup>。

由表2可见,在6次取样中,有5次红树林底栖藻类的属种数高于芦苇湿地,仅2007年9月低于芦苇湿地。除2007年9月硅藻群落的属种数急剧下降外,红树林底栖硅藻属种数较稳定,波动不大。而芦苇湿地中则除2007年11月硅藻属种数较高外,其余各次的属种数均较低(表2)。2007年11月的硅藻种类主要为圆筛藻属、直链藻属及楔针藻属(*Synedrosphenia*),与其他取样明显不同。

表1 淇澳岛湿地底栖硅藻的丰富度(cells cm<sup>-3</sup>)Table 1 Abundance (cells cm<sup>-3</sup>) of benthic diatoms in wetland of Qi'ao Island

属 Genera	M3	M5	M7	M9	M11	M1	L3	L5	L7	L9	L11	L1
明盘藻属 <i>Hyalodiscus</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	56.7	0.0
小环藻属 <i>Cyclotella</i>	1.5	3.7	11.2	0.0	3.1	0.0	13.1	4.8	4.1	2.6	1.9	0.4
圆筛藻属 <i>Coscinodiscus</i>	8.7	8.6	15.0	8.7	18.7	15.3	18.8	15.0	9.5	58.0	138.9	13.3
辐柄藻属 <i>Actinoptychus</i>	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0
直链藻属 <i>Melosira</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	169.4	0.0
漂流藻属 <i>Planktoniella</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0
盒形藻属 <i>Biddulphia</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.8	0.0
斜纹藻属 <i>Pleurosigma</i>	17.0	4.4	3.4	1.5	7.8	1.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0
布纹藻属 <i>Gyrosigma</i>	17.5	2.8	7.1	3.1	20.7	3.1	1.1	0.3	0.3	0.0	13.4	0.0
双肋藻属 <i>Amphipleura</i>	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
胸隔藻属 <i>Mastogloia</i>	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
双壁藻属 <i>Diploneis</i>	1.0	0.2	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0
美壁藻属 <i>Caloneis</i>	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
粗纹藻属 <i>Trachyneis</i>	10.7	1.2	6.5	0.0	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
羽纹藻属 <i>Pinnularia</i>	19.9	3.0	13.9	0.0	8.8	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.4
舟形藻属 <i>Navicula</i>	4.9	1.9	13.9	1.0	19.7	1.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.6	0.4
唐氏藻属 <i>Donkinia</i>	1.5	0.2	0.0	0.0	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0
双眉藻属 <i>Amphora</i>	0.0	0.0	1.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.6	0.0
桥湾藻属 <i>Cymbella</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0
异极藻属 <i>Gomphonema</i>	4.4	0.5	1.0	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
针杆藻属 <i>Synedra</i>	3.4	2.3	5.1	0.0	5.8	1.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.9
楔形藻属 <i>Licmophora</i>	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	1.9	0.0	0.0
楔针藻属 <i>Synedrosphenia</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	140.1	0.4
卵形藻属 <i>Cocconeis</i>	10.2	1.4	12.6	0.0	11.2	1.4	0.4	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0
菱板藻属 <i>Hantzschia</i>	3.4	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
菱形藻属 <i>Nitzschia</i>	0.0	3.7	6.1	0.5	3.4	1.0	0.0	0.7	0.3	0.0	10.2	0.0
棍形藻属 <i>Bacillaria</i>	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	6.4	0.0
双菱藻属 <i>Surirella</i>	2.4	0.2	0.7	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
未鉴定 Unidentified	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
合计 Total	107.8	35.2	99.5	15.8	104.3	26.9	34.4	20.7	14.3	66.3	553.5	15.9

M: 红树林 Mangrove; L: 芦苇湿地 Reed wetland. 字母后的数字表示月份 The numbers followed M and L stand for months. 下同 The same as following Tables.

表 2 淇澳岛湿地底栖硅藻属种数(2007.3~2008.1)

Table 2 Number of species and genera of benthic diatoms in wetlands of Qi'ao Island from Mar. 2007 to Jan. 2008

月份 Month	属数 Number of genera		种数 Number of species	
	M	L	M	L
3	15	5	38	11
5	18	5	49	6
7	16	5	51	6
9	6	8	14	15
11	13	17	53	30
1	11	5	25	10

## 2.2 生物多样性

由表 3 可见,红树林底栖硅藻的多样性以 5 月和 11 月最高,而 9 月和 1 月最低,7 月虽然物种数最高,但其多样性和均匀度并非最高。其中 9 月份由于底栖硅藻的属种数明显减少,导致其多样性指数低,而 1 月则是由于出现明显的优势种明壁圆筛藻,导致其均匀度指数为全年最低。芦苇湿地除

2008 年 1 月均匀度指数高于红树林外,其余采样期的多样性指数远低于红树林。虽然 2007 年 11 月芦苇湿地中底栖硅藻的丰度远高于红树林,但由于其种类少,优势种的优势度高,多样性指数仍低于红树林。

## 2.3 群落相似性

由表 4 可见,群落间 Bray-Curtis 指数平均值为 0.223,说明不同样品优势种存在较大变异,特别是芦苇 11 月份底栖硅藻与其余各次样品相似性极低,反映其群落中优势种与其他样品存在很大差异。Sorensens 指数平均值为 0.319,说明不同样品间不仅优势种数量差异较大,其种类组成亦存在较大差异。Bray-Curtis 指数的较高值(0.37~0.82)和 Sorensens 指数的较高值(0.35~0.59)均出现于同一位点不同次采样间,而不同位点间的相似性指数均低于此值,显示采样点对底栖硅藻的影响大于季节影响。

表 3 淇澳岛湿地底栖硅藻的多样性与均匀度(2007.3~2008.1)

Table 3 Diversity and evenness of benthic diatoms in wetlands of Qi'ao Island from Mar. 2007 to Jan. 2008

月份 Month	Shannon-Wiener 指数		Simpson 指数		均匀度指数		物种丰富度指数	
	Shannon diversity index		Simpson diversity index		Pielou evenness index		Marglef abundance index	
	M	L	M	L	M	L	M	L
3	3.15	1.65	0.94	0.73	0.87	0.69	5.48	1.96
5	3.47	1.59	0.96	0.76	0.89	0.82	9.34	1.35
7	3.30	1.48	0.94	0.72	0.84	0.76	7.53	1.55
9	2.30	1.59	0.87	0.65	0.87	0.59	3.27	2.31
11	3.48	2.31	0.96	0.85	0.88	0.68	7.76	3.18
1	2.26	1.76	0.77	0.76	0.70	0.76	5.06	2.25

表 4 淇澳岛湿地底栖硅藻 Bray-Curtis 相似性系数(A, 对角线下)及 Sorensen 相似性系数(B, 对角线上)

Table 4 Similarity coefficient of benthic diatoms using Bray-Curtis (A, below diagonal) and Sorensen (B, above diagonal) indices in wetlands of Qi'ao Island

	M3	M5	M7	M9	M11	M1	L3	L5	L7	L9	L11	L1
M3		0.53	0.54	0.35	0.59	0.41	0.20	0.14	0.14	0.26	0.18	0.25
M5	0.29		0.56	0.29	0.57	0.35	0.20	0.18	0.18	0.25	0.25	0.20
M7	0.37	0.33		0.34	0.69	0.45	0.19	0.14	0.14	0.27	0.30	0.23
M9	0.10	0.28	0.18		0.36	0.36	0.24	0.20	0.20	0.35	0.23	0.25
M11	0.33	0.35	0.56	0.19		0.54	0.16	0.10	0.10	0.24	0.31	0.25
M1	0.14	0.23	0.33	0.37	0.34		0.17	0.13	0.13	0.30	0.26	0.29
L3	0.11	0.32	0.26	0.16	0.13	0.12		0.59	0.59	0.46	0.44	0.38
L5	0.06	0.32	0.23	0.36	0.19	0.31	0.52		1.00	0.38	0.22	0.25
L7	0.06	0.34	0.15	0.25	0.12	0.15	0.56	0.82		0.46	0.22	0.25
L9	0.15	0.27	0.23	0.21	0.24	0.35	0.22	0.30	0.20		0.31	0.56
L11	0.03	0.03	0.04	0.03	0.07	0.04	0.07	0.06	0.04	0.05		0.40
L1	0.17	0.32	0.13	0.32	0.17	0.36	0.27	0.22	0.21	0.35	0.03	

$$\bar{x}_A = 0.223, \bar{x}_B = 0.319$$

### 3 讨论

在浅水湿地生态系统中底栖硅藻对于维持生态系统的功能具有重要意义<sup>[20-22]</sup>,本文对红树林和芦苇湿地中底栖硅藻一年内的群落结构及动态进行了较为系统的比较研究。

本研究从红树林中共检出底栖硅藻 95 种及变种,而与其近邻的芦苇湿地仅检出底栖硅藻 42 种及变种,远低于红树林。红树林底栖硅藻的各多样性指数亦高于后者,显示与芦苇湿地相比,红树林底栖硅藻群落发育较好,具有较高的多样性。但底栖硅藻的丰度剧烈波动,且呈不同的波动格局,红树林中底栖硅藻的丰度在 1~7 月高于芦苇湿地,而在 9~11 月低于芦苇湿地。Nagumo & Hara<sup>[7]</sup>对日本南部红树林底栖硅藻的研究显示其多样性高于无红树林的泥滩,而 Chen 等<sup>[8]</sup>的研究结果表明福建红树林底栖硅藻密度与多样性均低于附近无红树林地区,并认为这与红树林中存在较多的捕食者及较低的光照有关。目前尚未见有关于芦苇湿地与红树林底栖硅藻比较的研究,由于芦苇湿地中底泥处较荫蔽,光照条件与裸露泥滩存在较大差别,而其底泥较红树林中的硬,不利于硅藻的运动和生长,导致底栖硅藻的多样性较低。但由于类似的研究极少,难以进行更广泛的比较,为深入研究沿海湿地底栖硅藻群落的特征及规律,相关数据的积累是非常必要的。

红树林与芦苇湿地种类组成的差异明显,红树林中有较多的羽纹藻纲的类群,而芦苇湿地中则较多中心藻纲的类型,羽纹藻纲的种类及数量都较少。Sylvestre 等<sup>[6]</sup>认为底栖硅藻可以指示基质的稳定性,运动性较强的布纹藻属和菱形藻属是流动泥相的指示者,舟形藻则是红树林稳定基质的指示者,在幼龄的红树林中,既有菱形藻也有舟形藻。我们的研究表明,红树林底泥中布纹藻、羽纹藻、舟形藻均为优势类型,与 Sylvestre 等报道的幼龄红树林中的底栖硅藻群落较接近。芦苇湿地中以圆筛藻和小环藻等大洋性种类为优势类群,反映其受海洋影响大,而缺少可运动的类型可能会影响其在底泥中分布的深度。对 1~5 cm 处不同层次基质中叶绿素 a 含量的研究结果表明(未发表数据),芦苇湿地中底栖藻类主要集中于表层 1 cm,1 cm 以下处藻类极少,而在红树林中底栖藻类的生物量虽然也随深度的增加而降低,但其总体分布明显深于芦

苇,仍有一部分藻类可分布到 1 cm 以下深度。由此可见,底栖硅藻种类组成的差异还会影响其垂直分布格局特征。

对底栖硅藻群落结构的相似性分析显示底栖硅藻群落随样点及时间的变异均较大,与前人的结果一致<sup>[5,11,23]</sup>。但样地间的差异大于同一样地不同时间的差异,Siqueiros 等<sup>[5]</sup>对墨西哥亚热带海湾中红树林底栖硅藻的研究结果与此类似,由此可见,在浅海湿地生态系统中,基质环境对底栖硅藻的影响大于季节的影响。

为重点研究个体较大的种类,本研究选用了过筛法,因此本文所研究的硅藻仅限于不能通过 400 目筛网(孔径 37  $\mu\text{m}$ )的个体较大的种类,因此底栖硅藻的密度不高,为 14~553 cells  $\text{cm}^{-3}$ ,远低于其他的研究报道<sup>[5,24]</sup>。张永靖等<sup>[11]</sup>在研究沙蚕养殖环境中底栖硅藻时同样采用过筛法,其密度为 627~6982 cells  $\text{cm}^{-3}$ ,这一方面是由于本研究取样时是取表层 5 cm 的样品,张永靖等<sup>[11]</sup>是取表层 2 cm 的泥样,而底栖硅藻大多生活于表层 1~2 cm 范围内;另一方面两者的密度相差 10 倍以上,而采样厚度仅相差 2.5 倍,说明即使考虑到取样差异,本研究样地底栖硅藻密度仍低于沙蚕养殖基地底栖硅藻的密度。由于个体较小的微型底栖硅藻在底栖硅藻群落中占有重要地位,不同类型动物在捕食硅藻时亦有各自的偏好,为全面了解底栖硅藻群落特征以及与其他研究者的工作进行比较,在后续工作中将对不同大小硅藻进行全面研究。

总之,受潮水 and 环境变化的影响,沿海湿地底栖硅藻群落的种类组成和数量都不稳定,处于波动状态,但基质环境对底栖硅藻的影响比季节的影响大,而红树林中的基质松软深厚,为底栖硅藻的生长提供了良好的条件,使其无论在物种多样性上还是在分布深度等方面都高于芦苇湿地。作为初级生产者之一,红树林中丰富的底栖硅藻为底栖动物提供了丰富而多样的食物来源,是维持红树林总体高生物多样性和高生产力的基础之一。

#### 参考文献

- [1] Galdean N, Callisto M, Barbosa F A R. Biodiversity assessment of benthic macroinvertebrates in altitudinal lotic ecosystems of Serra Do Cipo (MG, Brazil) [J]. Rev Brasil Biol, 2001, 61(2): 239-248.
- [2] Cahoo L B, Redman R S, Tronzo C R. Benthic microalgal biomass in sediments of Onslow Bay North Carolina [J]. Estuar Coast Shelf Sci, 1990, 31: 805-816.
- [3] Sundbäck K, Granéli W. Influence of microphytobenthos on the

- nutrient flux between sediment and water: A laboratory study [J]. *Mar Ecol Progr Ser*, 1988, 43: 63–69.
- [4] Seitzinger S P. The effect of pH on the release of phosphorus from Potomac Estuary sediments: Implications for blue-green blooms [J]. *Estuar Coast Shelf Sci*, 1991, 33: 409–418.
- [5] Siqueiros B D A, Castrejón E S. Structure of benthic diatom assemblages from a mangrove environment in a Mexican subtropical Lagoon [J]. *Biotropica*, 1999, 31(1): 48–70.
- [6] Sylvestre F, Guiral D, Debenay J P. Modern diatom distribution in mangrove swamps from the Kaw Estuary (French Guiana) [J]. *Mar Geogr*, 2004, 208: 281–293.
- [7] Nagumo T, Hara Y. Species composition and vertical distribution of diatoms occurring in a Japanese mangrove forest [J]. *Jpn Soc Phycol*, 1990, 38(4): 333–343.
- [8] Chen C P, Gao Y H, Lin P. Biomass, species composition and diversity of benthic diatoms in mangroves of the Houyu Bay, China [J]. *Acta Oceano Sin*, 2005, 24(2): 141–150.
- [9] Li X(黎夏), Liu K(刘凯), Wang S G(王树功). Mangrove wetland changes in the Pearl River Estuary using remote sensing [J]. *Acta Geogr Sin(地理学报)*, 2006, 61(1): 26–34.(in Chinese)
- [10] Zheng S F(郑松发), Zheng D Z(郑德璋), Dai G R(戴光瑞), et al. Rational reservation and utilization of mangrove wetland in Qi Ao Island, Zhuhai City [J]. *Guangdong For Sci Techn(广东林业科技)*, 1999, 15(4): 36–41.(in Chinese)
- [11] Zhang Y J(张永靖), Tong L J(童丽娟), Zheng Z S(郑周数), et al. The biochemical compositions in *Perinereis aibuhitensis* Grube related to abundance of benthic meiofauna in aquacultural environments [J]. *Fish Sci(水产科学)*, 2005, 24(2): 5–8.(in Chinese)
- [12] 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: 20–230.
- [13] 金德祥, 程兆第, 林均民, 等. 中国海洋底栖硅藻类(上卷) [M]. 北京: 中国海洋出版社, 1982: 1–323.
- [14] 金德祥, 程兆第, 刘师成, 等. 中国海洋底栖硅藻类(下卷) [M]. 北京: 中国海洋出版社, 1992: 3–436.
- [15] 郭玉洁, 钱树本. 中国海藻志(第五卷第一册) [M]. 北京: 科学出版社, 2003: 1–493.
- [16] Ma K P(马克平), Liu Y M(刘玉明). Measurement of biotic community diversity I: Measurement of  $\alpha$  diversity (II) [J]. *Chin Biodiv(生物多样性)*, 1994, 2(4): 231–239.(in Chinese)
- [17] Margalef R. Information theory in ecology [J]. *Gen Syst*, 1957, 3: 37–71.
- [18] Pielou E C. An Introduction to Mathematical Ecology [M]. New York: Wiley-Interscience, 1969: 1–268.
- [19] Ma K P(马克平), Liu C R(刘灿然), Liu Y M(刘玉明). Measurement of biotic community diversity II: Measurement of  $\beta$  diversity [J]. *Chin Biodiv(生物多样性)*, 1995, 3(1): 38–43.(in Chinese)
- [20] Baird M E, Middleton J H. On relating physical limits to the carbon: nitrogen ratio of unicellular algae and benthic plants [J]. *J Mar Sys*, 2004, 49: 169–175.
- [21] Sundbäck K, Linares F, Larson F, et al. Benthic nitrogen fluxes along a depth gradient in a microtidal fjord: The role of denitrification and microphytobenthos [J]. *Limnol Oceanogr*, 2004, 49(4): 1095–1107.
- [22] Kristensen E, Bouillon S, Dittmar T, et al. Organic carbon dynamics in mangrove ecosystems: A review [J]. *Aquat Bot*, 2008, 89: 201–219.
- [23] Facca C, Sfriso A. Epipellic diatom spatial and temporal distribution and relationship with the main environmental parameters in coastal waters [J]. *Estuar Coast Shelf Sci*, 2007, 75: 35–49.
- [24] MacIntyre H L, Geider R J, Miller D C. Microphytobenthos: the ecological role of the ‘secret garden’ of unvegetated, shallow-water marine habitats: I. Distribution, abundance and primary production [J]. *Estuaries*, 1996, 19(2A): 186–201.
- 附录: 淇澳岛湿地底栖硅藻名录(2007年3月~2008年1月)
- 种名后所附标记为硅藻出现的位点, 其中 L 和 M 分别代表芦苇湿地和红树林湿地, 后面的数字表示样品采集的月份, 若后面无数字表示该湿地所有样品中均有此种出现。
- 细弱明盘藻 *Hyalodiscus subtilis* Vailey M1, L11
- 小环藻 *Cyclotella* sp. M3, M5, M7, M11, L3, L5, L7, L9, L11, L1
- 星脐圆筛藻 *Coscinodiscus asteromphalus* Ehrenberg M9, M11, M1, L9, L11, L1
- 明壁圆筛藻 *C. debilis* Grove M, L
- 琼氏圆筛藻 *C. jonesianus* (Grev.) Ostenfeld M, L3, L9, L11, L1
- 中心圆筛藻 *C. centralis* Ehrenberg M5, M7, L3, L5, L7, L9, L11
- 格氏圆筛藻 *C. granii* Grouh M11, L11, L1
- 细弱圆筛藻 *C. subtilis* var. *subtilis* Ehrenberg M7, L3, L9, L11, L1
- 孔圆筛藻 *C. perforates* Ehrenberg L9
- 孔圆筛藻窄隙变种 *C. perforatus* var. *pavillardii* (Forti) Hustedt M3
- 具边圆筛藻 *C. marginatus* Ehrenberg L3, L11
- 具边线形圆筛藻 *C. marginato-lineatus* A. Schmidt M5, M7, M9, M11, M1, L3, L5, L7, L9, L11
- 蛇目圆筛藻 *C. argus* Ehrenberg L9
- 辐射圆筛藻 *C. radiates* Ehrenberg L11
- 非洲圆筛藻 *C. africanus* Janisch L11
- 圆筛藻 *Coscinodiscus* sp. M5, M9, M11
- 环状辐辏藻 *Actinoptychus annulatus* (Wall.) Grunow M7, M1, L11
- 直链藻 sp.1 *Melosira* sp.1 L11
- 直链藻 sp.2 *Melosira* sp.2 L11
- 美丽漂流藻 *Planktoniella formosa* Qian et Wang L11
- 正盒形藻 *Biddulphia biddulphiana* Smith L11
- 盐生斜纹藻 *Pleurosigma salinarum* Grunow M, L9
- 端尖斜纹藻 *P. acutum* Norman M3, M5, M11
- 微小斜纹藻 *P. minutum* Grunow M5
- 长斜纹藻 *P. elongatum* W. Smith M11, M1
- 中型斜纹藻 *P. intermedium* W. Smith M11, M1
- 斜纹藻 sp.1 *Pleurosigma* sp.1 M3, M5, M7, M9, M11
- 斜纹藻 sp.2 *Pleurosigma* sp.2 M5, M7, M11
- 斜纹藻 sp.3 *Pleurosigma* sp.3 M11
- 波罗的海布纹藻 *Gyrosigma balticum* (Ehrenberg) Cleve M3, M5,

- M11, L3, L11  
 波罗的海布纹藻中华变种 *G. batlicum* var. *sinensis* (Ehr.) Cleve M7  
 特里布纹藻 *G. terryanum* (Per.) Cleve M3, M5, M7, M11, M1  
 扭布纹藻 *G. distortum* (W. Sm.) Griffith et Henfrey M3, L3, L5, L7  
 粗毛布纹藻 *G. strigilis* (W. Sm.) Griffith et Henfrey M3, M7, M11, M1  
 斯氏布纹藻 *G. spencerii* (W. Sm.) Griffith et Henfrey M3, M7, M9, M11, L11  
 簇生布纹藻弧形变种 *G. fasciola* var. *arcuata* (Donkin) Cleve M5  
 簇生布纹藻薄喙变种 *G. fasciola* var. *tenuirostris* (Grun.) Cleve M  
 簇生布纹藻具槽变种 *G. fasciola* var. *sulcata* (Grun.) Cleve M11  
 结节布纹藻 *G. nodiferum* (Grun.) G. West M5  
 尖布纹藻 *G. acuminatum* (Kütz.) Rabenhorst M5, M11  
 尖布纹藻虫瘦变种 *G. acuminatum* var. *gallica* (Grun.) Cleve M5  
 刀形布纹藻 *G. scalpoides* (Rab.) Cleve M5, M7, M11, L11  
 柔弱布纹藻 *G. tenuissimum* (W. Sm.) Griffith et Henfrey M7  
 布纹藻 sp.1 *Gyrosigma* sp.1 M3, M7, M9, M11  
 布纹藻 sp.2 *Gyrosigma* sp.2 M3, M7, M9, M11  
 布纹藻 sp.3 *Gyrosigma* sp.3 M3  
 橙红双肋藻 *Amphipleura rutikans* (Trent.) Cleve M5  
 胸隔藻 sp. *Mastogloia* sp. M5  
 光亮双壁藻 *Diploneis nitescens* (Greg.) Cleve M3, L9  
 咖啡双壁藻 *D. coffaeiformis* (A. S.) Cleve M7  
 淡褐双壁藻 *D. fusca* (Greg.) Cleve M7  
 淡褐双壁藻海生变种 *D. fusca* var. *pelagi* (A. S.) Cleve M5  
 蜂腰双壁藻 *D. bombus* Ehrenberg M3  
 离生美壁藻 *Caloneis liber* (W. Sm.) Cleve M5  
 粗纹藻有角变种 *Trachyneis aspera* var. *angusta* (W. Sm.) Cleve M3, M5, M7, M11  
 美丽粗纹藻 *T. formosa* Meister M5  
 布氏粗纹藻 *T. brunii* Cleve M5  
 粗纹藻 sp. *Trachyneis* sp. M3  
 有角羽纹藻 *Pinnularia angulata* Cleve-Euler M3, M5, M7, M11, M1, L1  
 大形羽纹藻 *P. major* (Kütz.) Cleve L11  
 羽纹藻 sp.1 *Pinnularia* sp.1 M3, M5, M7, M11, M1  
 羽纹藻 sp.2 *Pinnularia* sp.2 M3, M5, M7, M11  
 羽纹藻 sp.3 *Pinnularia* sp.3 M3, M7, M11  
 十字舟形藻 *Navicula crucicula* (W. Sm.) Donkin M3  
 亚伦舟形藻 *N. yarrensis* Grunow M3, M5, M7, M11, L9, L1  
 直舟形藻 *N. directa* (W. Sm.) Ralfs L11  
 扁平舟形藻 *N. impressa* Grunow M5, M7  
 博利舟形藻 *N. bolleana* (Grun.) Cleve M5  
 克莱舟形藻线性变种 *N. clementis* var. *linearis* Brander et Hustedt M7  
 潘土舟形藻 *N. pantocsekiana* De Toni M7  
 罗舟形藻 *N. rho* Cleve M11  
 舟形藻 sp.1 *Navicula* sp.1 M  
 舟形藻 sp.2 *Navicula* sp.2 M3, M11, M1  
 舟形藻 sp.3 *Navicula* sp.3 M11, M1  
 唐氏藻 sp. *Donkinia* sp. M3, M5, M11, L11  
 易变双眉藻 *Amphora proteus* Gregory M7, M11, L11  
 海洋双眉藻 *A. marina* Van Heurck L9  
 双眉藻 sp.1 *Amphora* sp.1 M7, M11  
 双眉藻 sp.2 *Amphora* sp.2 M7  
 边缘桥弯藻 *Cymbella affinis* Kützing L11  
 卡氏异极藻 *Gomphonema kasnakowi* Mereschkowsky M3, M5, M7, M11, M1  
 伽氏针杆藻 *Synedra gallionii* (Bory) Ehrenberg M3, M5, M7, M11, M1, L9, L1  
 透明针杆藻 *S. crystallina* (Ag.) Kützing M5  
 平片针杆藻簇生变种 *S. tabulata* var. *fasciculata* (Kütz.) Hustedt M7, M11  
 针杆藻 sp.1 *Synedra* sp.1 M3, M5, M7, M11  
 针杆藻 sp.2 *Synedra* sp.2 M11  
 楔形藻 *Licmophora flabellate* (Carm.) Agardh L9  
 楔形藻 sp. *Licmophora* sp. M7, M1  
 异极楔形藻 *Synedrosphenia gomphonema* (Jan. & Rab.) Hustedt L11, L1  
 假边卵形藻 *Cocconeis pseudomarginata* Gergory M3, M5, M7, M11, M1  
 假边卵形藻中形变种 *C. pseudomarginata* var. *intermedia* Grunow M3, M5, M7, M11  
 河口卵形藻 *C. fluminensis* (Grun.) Peragallo H. et M. M5, M7, M11, L11  
 细条卵形藻 *C. tenuistriata* Lin et Chin L3  
 盾卵形藻易变种 *C. scutellum* var. *varians* Lin et Chin M11  
 卵形藻 sp.1 *Cocconeis* sp.1 M7, M11, M1  
 卵形藻 sp.2 *Cocconeis* sp.2 M7, M11  
 卵形藻 sp.3 *Cocconeis* sp.3 M7, M11  
 双尖菱板藻 *Hantzschia amphioxys* (Ehr.) Grunow M3, M5  
 直菱板藻 *H. virgata* (Rop.) Grunow M3  
 盘形菱形藻维多变种 *Nitzschia tryblionella* var. *victoriae* Grunow M5, M7, M9  
 弯菱形藻 *N. sigma* (Kütz.) W. Smith M5, L5, L7  
 纤细菱形藻 *N. subtilis* Grunow L11  
 边缘菱形藻压缩变种 *N. marginulata* var. *subconstricta* Grunow M5  
 洛伦菱形藻 *N. lorenziana* Grunow M5, M7, M11  
 洛伦菱形藻密条变种 *N. lorenziana* var. *densestriata* (Per.) A. Schmidt M5  
 费氏菱形藻 *N. vidovichii* Grunow M11, M1  
 尖锥菱形藻 *N. acuminata* (W. Sm.) Grunow M7  
 菱形藻 sp.1 *Nitzschia* sp.1 M5, M7, M11, M1, L11  
 菱形藻 sp.2 *Nitzschia* sp.2 M7, M11  
 派格棍形藻 *Bacillaria paxillifera* (Muller) Hendey M3  
 奇异棍形藻 *B. paradoxa* Gmelin L3, L11  
 芽形双菱藻 *Surirella gemma* Ehrenberg M3, M5, M7  
 双菱藻 sp.1 *Surirella* sp.1 M1