

# 福建浮宫红树林区的硅藻组成研究

吴祥恩, 李超, 龚凌 (厦门大学海洋与地球学院 福建厦门 361005)

**摘要** [目的]初步分析了福建九龙江浮宫红树林区的硅藻组成。[方法]此次研究分析鉴定了浮宫红树林区6个表层样和1个柱状样的硅藻属种组成。[结果]①浮宫红树林沉积硅藻植物群属种多样性强,共鉴定出硅藻34属103种(含不定种),大部分为中心纲的圆筛属;②红树林区底泥中硅藻数量丰富。[结论]沉积硅藻种群以浮游的海水种和咸水半咸水种为主,说明浮宫红树林处于以海水作用为主的沉积环境中。

**关键词** 硅藻;红树林;丰度

中图分类号 S714 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2013)07-02985-04

## Study on Diatom Composition of Mangrove Region at Jiulong River Estuary, Fujian Province

WU Xiang-en et al (College of Ocean and Earth Sciences, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361005)

**Abstract** [Objective] Diatom composition of mangrove region at Jiulong river estuary, Fujian Province was preliminarily studied. [Method] We analysed and identified 6 surface sediment samples and 1 core sample, which are located in the Fugong mangrove. [Result] The diatom assemblages are diverse and a total of one hundred and three diatom species and varieties belonging to 34 genera were identified which are dominated by *Coscinodiscus*. [Conclusion] The diatom assemblages are dominated by marine planktonic species and brackish planktonic species indicating that the seawater plays more important role in the sedimentary environment of Fugong mangrove.

**Key words** Diatoms; Mangrove; Abundance

红树林区拥有丰富的饵料和适宜的栖息环境,是许多海洋动物发育生长的重要场所,浮游植物是红树林生态系统初级生产者之一,在食物链中占有重要地位<sup>[1]</sup>。而硅藻在红树林区的浮游植物中处于优势地位<sup>[2-6]</sup>。

近年来,硅藻在古环境恢复、推断海陆变迁和海平面变化中发挥着重要的作用。国际上已开展了大量关于淡水湖泊和开放的大洋环境中沉积硅藻的研究。中国从20世纪80年代起就对东海、黄海、渤海、南海的表层沉积硅藻进行了系统的研究<sup>[7-13]</sup>,但对河口和浅海地区,特别是红树林区的沉积硅藻种群的研究还很少<sup>[14-16]</sup>。

该研究主要是为了了解九龙江浮宫红树林区沉积物中硅藻的群落结构,丰富和补充红树林生态系统基础资料,同时通过对比前人的研究成果分析硅藻种群分布的沉积环境指示意义,为今后利用硅藻恢复古环境提供科学依据。

### 1 研究区概况

九龙江口红树林分布于福建省龙海市的东部、福建省第二大江——九龙江入海口的滩涂潮间带。该地属于南亚热带海洋性气候,气候温暖,雨量充足,年平均气温21℃,年降水量1371.3mm,年平均相对湿度86%,年日照时数2719h,年活动积温为7503~7897℃,无霜期231~366d。此地海拔0~3m,地势低洼开阔,湿地资源丰富,生态环境典型且具代表性,被列为国家第一批重点保护湿地<sup>[17]</sup>。

### 2 材料与方法

2012年5月在九龙江浮宫红树林区退潮后采集了6个表层沉积物样品(0~5cm)和1个柱状样(60cm)柱状样按5cm等间距取样,共获取18个硅藻样品,具体站位见表1和图1。

表1 样品站位表

样品	经度(E)	纬度(N)	中值粒径(Φ)	采样位置
FG-S1	117°55'32.3"	24°23'39.9"	5.86	潮间带
FG-S2	117°55'31.0"	24°23'36.8"	6.74	潮间带
FG-S3	117°55'27.2"	24°23'36.4"	6.41	潮间带
FG-S4	117°55'22.0"	24°23'35.5"	6.34	潮间带
FG-S5	117°55'18.7"	24°23'35.5"	6.39	潮间带
FG-S6	117°55'31.4"	24°23'38.1"	6.70	潮间带
FG-C1	117°55'31.4"	24°23'38.1"	-	潮间带

注:FG-C1未测定中值粒径。

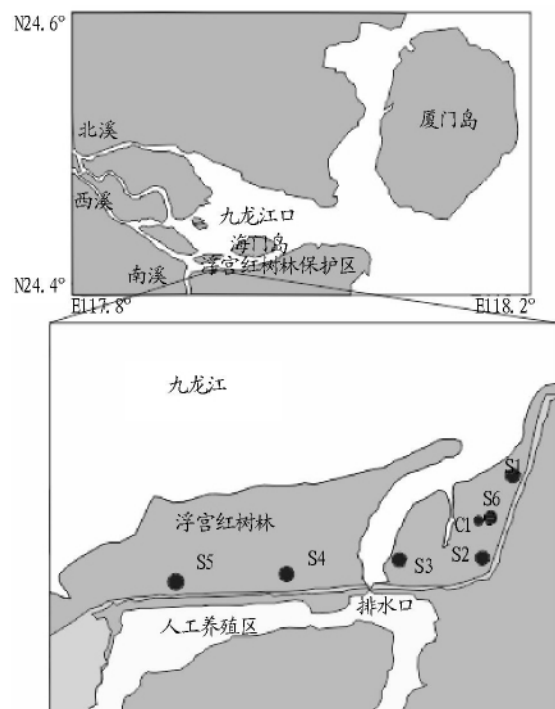


图1 采样站位图

2.1 鉴定与统计 每个样品称取5g,用15μm的绢筛进行过滤,收集绢筛上的样品于试管中,用重液浮选3次倒入烧

**基金项目** 国家自然科学基金项目“红树林湿地底栖动物多样性和环境效应机制研究”(41176089)。

**作者简介** 吴祥恩(1987-),男,福建宁德人,硕士研究生,研究方向:环境地质, E-mail: wuxiangen87@gmail.com。

**收稿日期** 2013-03-01

杯;将浮选完的样品倒入 15 μm 的绢筛,先用醋酸冲洗,洗去残留的重液,再用水冲洗;将绢筛中的样品移入有刻度的小塑料试管,静置 4 h 后,定容至 2~5 ml,再制片。将制好的硅藻固定片在尼康 E400 生物显微镜下观察硅藻壳体,放大倍数为 400~1 000 倍。每个样品鉴定和统计硅藻壳体不少于 300 个。

**2.2 绝对丰度及相对丰度的计算** 绝对丰度为每克沉积物硅藻个数,计算公式为:

$$\text{绝对丰度} // \text{个/g} = [N \times (S/s) \times (V/v)] \times 1\ 000/W$$

$N$  为观察的硅藻壳体数,  $S$  为样品盖玻片总行数,  $s$  为实际观察行数,  $V$  为总体积,  $v$  为盖玻片滴溶液的体积,  $W$  为样品干重。相对丰度为各分类单位(主要为种)在每个样品中所统计的各类硅藻的百分含量。

硅藻的鉴定分类主要参考金德祥等<sup>[18-21]</sup>的硅藻系统分类书籍。

### 3 结果与分析

**3.1 表层样的硅藻种群特征** 表层样总共鉴定出硅藻 24 属 88 种。参照沈国英<sup>[22]</sup>对于种群优势度  $Y$  的定义,  $Y = n_i/N \cdot f_i$ ,  $n_i$  为第  $i$  种的个体数,  $f_i$  为该种在各个站位出现的频率,  $N$  为每个种出现的总个体数;  $Y > 0.02$  的种类为优势种。表层样硅藻优势种及优势度见表 2。

表 2 表层样硅藻优势种及优势度

优势种	优势度	生态习性	优势种	优势度	生态习性
琼氏圆筛藻	0.183 1	浮游 海水种	中心圆筛藻	0.038 7	浮游 海水种
具槽直链藻	0.129 2	底栖 海水种	离心海链藻	0.032 3	浮游 海水种
细弱圆筛藻	0.077 4	浮游 半咸水	辐射列圆筛藻	0.022 2	浮游 咸水种
柱状小环藻	0.077 0	浮游 半咸水	多束圆筛藻	0.021 6	浮游 咸水半咸水
环状辐裊藻	0.075 6	底栖 海水种	条纹小环藻	0.020 8	浮游 半咸水
小眼圆筛藻	0.072 1	浮游 海水种	线性圆筛藻	0.020 4	浮游 海水种
波状辐裊藻	0.049 2	底栖 海水种			

表层样的硅藻优势种都属于中心纲,各个优势种的百分含量如图 2。由表 2 和图 2 可以看出,其中琼氏圆筛藻和具槽直链藻具有明显的优势,优势度都达到了 0.100 0 以上;从生态习性上看,浮游硅藻占整个表层样的 63% 左右。这和支崇远等<sup>[13]</sup>人在 2005 年研究厦门岛沿岸的沉积硅藻生态栖性分布情况得出的水浅地方底栖硅藻含量普遍大于浮游硅藻的结论相反,这说明了红树林区的生态环境和沉积环境具有其独特性。在利用硅藻分析红树林环境时,不仅应该考虑到水深的影响,还应该充分考虑到水流方向、水流速度、地貌类型等因素的影响。此外,表层沉积硅藻的海水种占整个硅藻总数的 79%,咸水半咸水种占 20.7%,淡水种的百分含量不到 1%,例如粗糙桥弯藻(*Cymbella aspera*)、椭圆双壁藻(*Diploneis elliptica*)和尖布纹藻(*Gyrosigma acuminatum*)等,这说明了浮宫红树林既受到九龙江入海河流的影响,又受到海水潮汐的周期性作用。从咸淡水种的比例上可以看出,浮宫红树林受海水的作用要大于受九龙江淡水的作用。值得一提的是,有些种类出现的频率较高,是因为丰度较低,最终优势值也较低,例如爱氏辐环藻(*Actinocyclus ehrenbergii*)、星脐圆筛藻(*Coscinodiscus asteromhalus*)、离

心圆筛藻(*Coscinodiscus excentricus*)、卵形菱形藻(*Nitzschia cocconeiformis*)、蜂窝三角藻(*Triceratium favus*)和卵形褶盘藻(*Tryblioptychus cocconeiformis*)等。

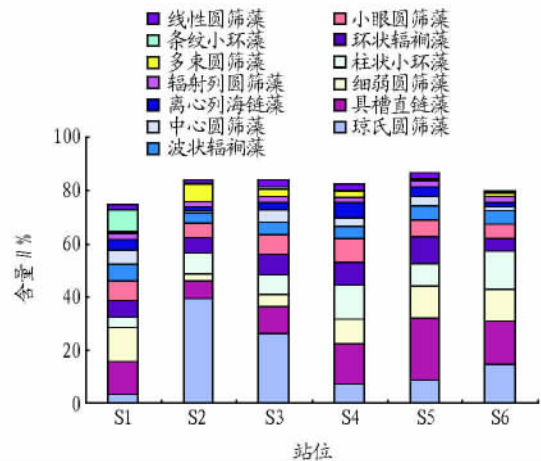


图 2 浮宫红树林表层样硅藻优势种百分含量变化

表层样的硅藻丰度变化范围  $20 \times 10^3 \sim 47 \times 10^3$  个/g,各站位丰度见图 3。丰度最低值出现在 S1 处,为  $20 \times 10^3$  个/g,这可能是由于 S1 处靠近红树林外围,红树林比较稀疏,水动力比较强,不利于硅藻的沉降保存,这可以从 S1 站位的粒径较其他站位大以及镜下具有大量破碎的硅藻反映出来;丰度最高值位于 S3 处,为  $47 \times 10^3$  个/g,从站位图可以看到, S3 附近是一个人工养殖区的排放口,每天都有大量的养殖水排放下来,形成了比较特殊的沉积环境,造成硅藻丰度的高值区,具体原因有待于进一步的理化性质调查和分析。除了 S3 处,其他站位硅藻的丰度变化幅度不大, S2、S4、S5 和 S6 都位于红树林内部,受其他水流的影响较小,处于比较稳定的生态环境中。

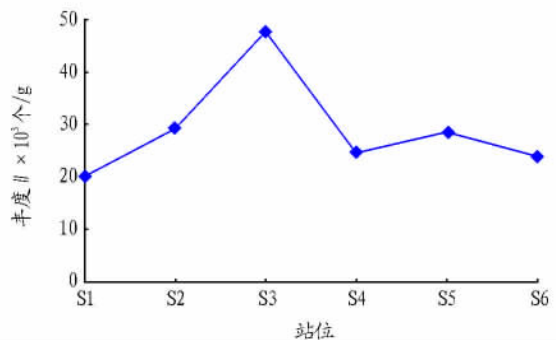


图 3 浮宫红树林表层样各站位硅藻丰度

**3.2 柱状样的硅藻种群特征** 12 个柱状样总共鉴定出硅藻 25 属 68 种,其中有 5 个不定种。从属种组成上,中心纲硅藻总共鉴定出 12 属 46 种,羽纹纲 13 属 22 种;但从数量上看,中心纲硅藻占到 95%,其中又以圆筛藻属占大部分,占中心纲的 46%。对柱状样硅藻进行优势度计算,计算结果见表 3。不同层位优势种百分含量变化见图 4。

从表 3 可以看出,整个柱状样的优势种也都是中心纲硅藻。从生态习性上看,柱状样中,浮游和底栖硅藻百分含量相当,分别占整个柱状样硅藻的 56% 和 44%;海水种占整个

柱状样硅藻总数的 72% 咸水半咸水种占 27.8% 淡水种硅藻占了不到 1% [如粗糙桥弯藻、大羽纹藻 (*Pinnularia major*) ]并在各个层位都检出外海暖水性种结节圆筛藻 (*Coscinodiscus nodulifer*) 和星脐圆筛藻 (*Coscinodiscus asteromhalus*)。这说明浮宫红树林处于以海水作用为主的沉积环境中。蓝东兆<sup>[11]</sup>在 1985 年对厦门港湾九龙江口浮宫附近柱状样上部沉积物硅藻进行鉴定得出分析结果: 0~0.95 m 段以淡水种占绝对优势,海水种和海水一半咸水种百分含量低于 10% 处于淡水作用强于海水作用的沉积环境。王开发等<sup>[23]</sup>人在 2003 年对浮宫附近潮间带表层沉积硅藻的鉴定分析结

果为:海水种占 32%~35%。可见浮宫附近海域海水种硅藻百分含量从 20 世纪 80 年代以来不断地增大,说明海水对厦门内湾的影响在过去的几十年有向陆地方向前进的趋势。

表 3 柱状样硅藻优势种及优势度

优势种	优势度	生态习性	优势种	优势度	生态习性
环状辐桐藻	0.148 2	底栖 海水种	辐射列圆筛藻	0.026 5	浮游 海水种
具槽直链藻	0.125 4	底栖 海水种	中心圆筛藻	0.026 4	浮游 海水种
柱状小环藻	0.091 9	浮游 半咸水	爱氏辐环藻	0.024 5	浮游 海水种
多束圆筛藻	0.085 0	浮游 咸水半咸水	琼氏圆筛藻	0.023 3	浮游 海水种
细弱圆筛藻	0.067 7	浮游 半咸水	减小圆筛藻	0.020 2	底栖 海水种
波状辐桐藻	0.039 1	底栖 海水种	离心列海链藻	0.019 3	浮游 海水种

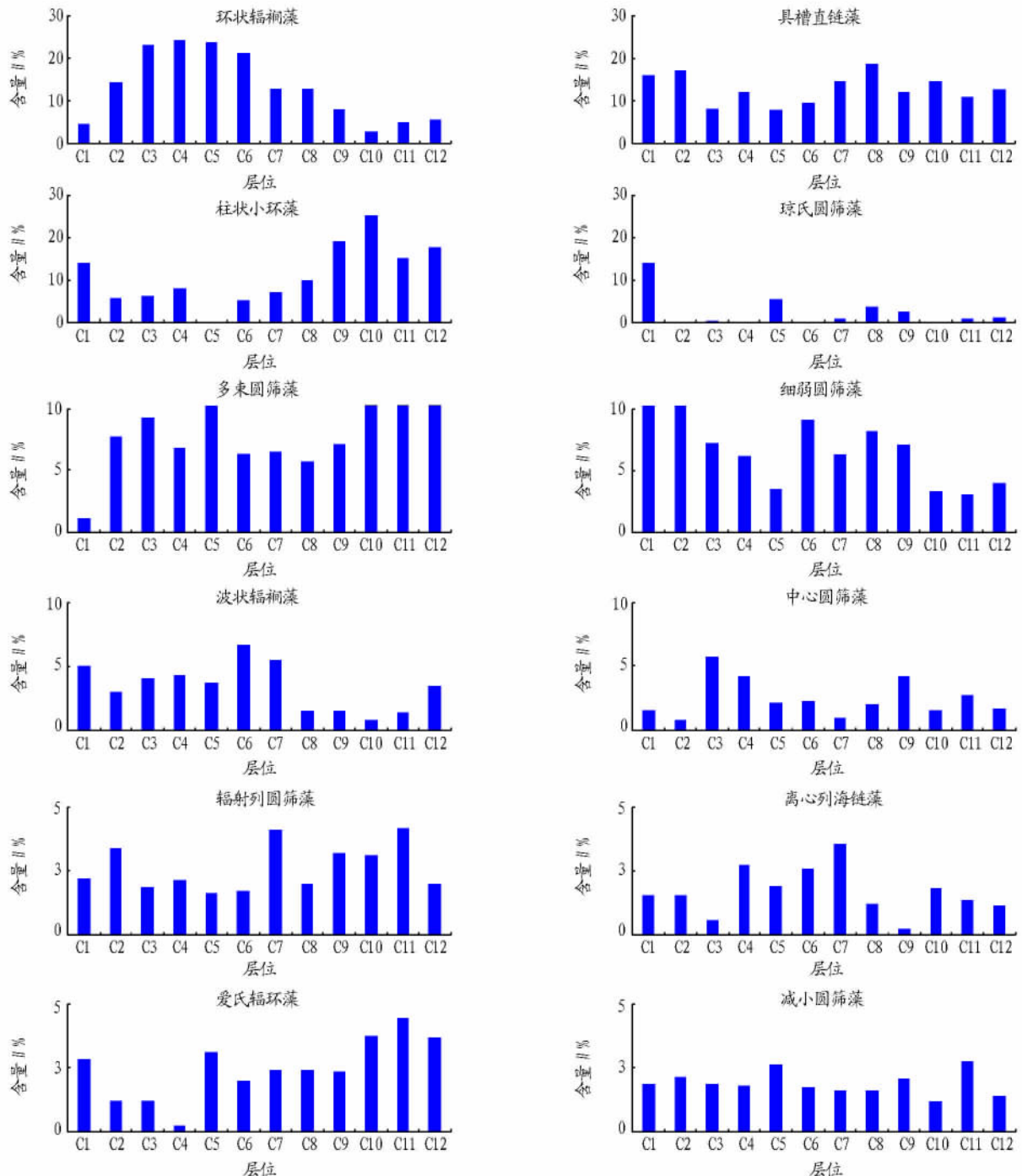


图 4 不同层位优势种百分含量变化

这也和蓝东兆<sup>[11]</sup>在文章中分析由于九龙江流域植被的破坏以及西溪闸和北溪闸、南溪闸的建立,减少了淡水流量和减缓了流速,造成海水向陆地方向前进的趋势相吻合。

计算柱状样硅藻的丰度,结果如图5。柱状样硅藻丰度变化范围为 $5.2 \times 10^3 \sim 37.0 \times 10^3$ 个/g;其中C3、C4和C5丰度比较大,都达到了 $30.0 \times 10^3$ 个/g以上,分别为 $31.0 \times 10^3$ 、 $37.0 \times 10^3$ 和 $36.0 \times 10^3$ 个/g,硅藻丰度的最低值出现在C8、C9和C10,分别为 $5.2 \times 10^3$ 、 $10.0 \times 10^3$ 和 $8.6 \times 10^3$ 个/g,之后C11和C12的丰度又恢复到平均丰度附近。和其他层位相比,C8、C9和C10层位的柱状小环藻和具槽直链藻的百分含量比较大,分别达到了10.4%、19.5%、25.9%和19.1%、12.3%、14.8%。具槽直链藻生态习性为半咸水或者海水生活,在潮间带和近岸海域广泛分布,属于底栖常见种,也经常出现在浮游植物群中,在大风浪的地方其含量较大<sup>[20]</sup>;而小环藻在砂质泥、泥质砂、粉砂质泥和泥质粉砂沉积物类型中比例较大,能适应高能量的沉积区<sup>[24]</sup>。这可能反映了当时的水动力较强,不利于硅藻的沉降保存,造成了C8、C9和C10的丰度值低。

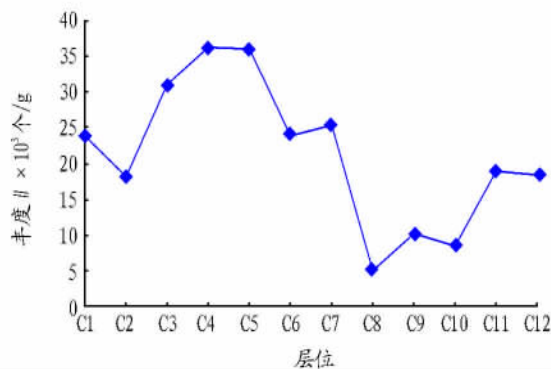


图5 浮宫红树林柱状样各层位硅藻丰度变化

#### 4 结论与讨论

**4.1 浮宫红树林沉积硅藻多样性** 此次浮宫红树林区沉积硅藻总共鉴定出硅藻34属103种,其中中心纲硅藻15属64种,包括5个不定种;羽纹纲19属39种,包括3个不定种;数量上,中心纲硅藻占到了95%,中心纲硅藻又以圆筛藻属为主,占中心纲硅藻的49%。该研究结果和其他地区红树林水体和沉积物中的硅藻的属种组成有所不同。例如,陈长平<sup>[25]</sup>对闽粤几个红树林区底栖硅藻进行研究,发现底栖硅藻的主要属种都是菱形藻属、舟形藻属和布纹藻属<sup>[26]</sup>;F. Sylvestre等<sup>[16]</sup>人对南美洲法属圭亚那河口红树林区硅藻的研究发现,成熟和幼年红树林硅藻的优势种既有菱形藻属和舟形藻属,又有圆筛藻属和小环藻属<sup>[16]</sup>;国外还有研究发现印度尼西亚地区红树林硅藻的优势种是双眉藻属、曲壳藻属、菱形藻属、褶盘藻属和双壁藻属<sup>[27]</sup>等。

**4.2 浮宫红树林沉积环境特征** 水体和沉积硅藻不仅受到温度、盐度、pH和营养盐的影响,还受到水流速度、水流方向和地质地貌因素的影响<sup>[14, 27-29]</sup>。具槽直链藻和小环藻对于强水动力环境具有较好的指示意义。此次研究区域的表层沉积硅藻和柱状样硅藻的优势种都是海水种和咸水半咸水种,淡水种的比例都不到1%,这和前人的研究结果相

比,浮宫附近海域海水种硅藻的百分含量有不断增大的趋势,从以淡水作用为主的沉积环境转变成以海水作用为主的沉积环境。

#### 参考文献

- [1] 林鹏. 中国红树林生态系[M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [2] 陈坚, 范航清, 陈成英. 广西英罗湾红树林区水体浮游植物种类组成和数量分布的初步研究[J]. 广西科学院学报, 1993, 9(2): 31-33.
- [3] 陈长平, 高亚辉, 林鹏. 红树林区硅藻研究进展[J]. 海洋科学, 2002, 26(3): 17-19.
- [4] 刘玉, 陈桂珠. 深圳福田红树林区硅藻群落结构和生态学研究[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 1997, 36(1): 102-106.
- [5] DAMROY S. Studies on mangrove ecology of Chouldari area South Andaman [J]. J Andaman Sci Assoc, 1995, 11(1/2): 29-33.
- [6] ROY S D. Mangrove ecology of Alexandra Island and Manjera area of South Andaman [J]. J Andaman Sci Assoc, 1995, 11(1/2): 58-61.
- [7] 王开发, 孙煜华. 东海沉积物粉藻类组合[M]. 北京: 海洋出版社, 1986: 28-62, 86-91.
- [8] 王开发, 蒋辉, 冯文科. 南海北部表层沉积硅藻及其与环境关系[J]. 热带海洋, 1988, 7(3): 19-25.
- [9] 王开发, 蒋辉, 支崇远, 等. 东海表层沉积硅藻组合和环境关系研究[J]. 微生物学报, 2001, 18(4): 379-384.
- [10] 刘师成, 金德祥, 蓝东兆. 南海及东海近岸海域表层沉积硅藻[J]. 海洋学报, 1984(5): 927-945.
- [11] 蓝东兆. 厦门港湾底质中的硅藻组合特征及其沉积环境[J]. 台湾海峡, 1985, 4(1): 68-78.
- [12] 蓝东兆, 陈承惠, 陈峰. 九龙江岩心中的硅藻特征及其地质意义[J]. 台湾海峡, 1999(3): 283-290.
- [13] 支崇远, 王开发, 蓝东兆, 等. 台湾海峡表层沉积硅藻栖性生态类型及其分布[J]. 同济大学学报, 2005(7): 971-975.
- [14] ADMIRAAL W. Salinity tolerance of benthic estuarine diatoms as tested with a rapid polarographic measurement of photosynthesis [J]. Marine Biology, 1977, 38: 11-18.
- [15] GRANT J, BATHMANN U V, MILLS E L. The interaction between benthic diatom fills and sediment transport [J]. Estuary Coast Shelf Science, 1986, 23: 225-238.
- [16] SYLVESTRE F, GUIRAL D, DEBENAY J P. Modern diatom distribution in mangrove swamps from the Kaw Estuary (French Guiana) [J]. Marine Geology, 2004, 208: 281-293.
- [17] 薛志勇. 福建九龙江口红树林生存现状分析[J]. 福建林业科技, 2005, 32(3): 190-193.
- [18] 金德祥, 程兆第, 林均民, 等. 中国海洋底栖硅藻类(上卷)[M]. 北京: 海洋出版社, 1982.
- [19] 蓝东兆, 程兆第, 刘师成. 南海晚第四纪沉积硅藻[M]. 北京: 海洋出版社, 1995.
- [20] 郭玉洁, 钱树本. 中国海藻志(第五卷)硅藻门(第一册)中心纲[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [21] ROUND F E, CRAWFORD R M, MANN D G. The Diatoms: biology and morphology of the genera [M]. London: Cambridge University Press, 1990.
- [22] 沈国英, 施并章. 海洋生态学[M]. 3版. 北京: 科学出版社, 2010.
- [23] 王开发, 支崇远, 陶明华. 厦门附近潮滩表层沉积剖面硅藻组合研究[J]. 海洋通报, 2003(5): 15-19.
- [24] 张金鹏. 福建中部近岸海域晚全新世沉积硅藻研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2009.
- [25] 陈长平. 闽粤沿海几个红树林区硅藻的生态分布和6种重金属对底栖硅藻胞外产物的影响[D]. 厦门: 厦门大学, 2004.
- [26] HORTON B P, ZONG Y Q, HILLIER C, et al. Diatoms from Indonesian mangroves and their suitability as sea-level indicators for tropical environments [J]. Marine Micropaleontology, 2007, 63: 155-168.
- [27] ADMIRAAL W. Tolerance of estuarine benthic diatoms to high concentrations of ammonia, nitrite ion, nitrate ion and orthophosphate [J]. Marine Biology, 1977, 43: 307-315.
- [28] ADMIRAAL W, PELETIER H. Sulphide tolerance of benthic diatoms in relation to their distribution in an estuary [J]. British Phycological Journal, 1979, 14: 185-196.
- [29] BLANCHARD G F, GURARINI J M, GROS P. Seasonal effect on the relationship between the photosynthetic capacity of intertidal microphytobenthos and temperature [J]. J Phycol, 1997, 33(5): 723-728.