

象山港潮间带底栖硅藻的分布及其与环境关系探讨

吴 瑞^{1,2}, 蓝东兆², 高亚辉¹, 陈长平¹, 兰彬斌²

(1. 厦门大学生命科学学院, 福建 厦门 361005; 2. 国家海洋局第三海洋研究所, 福建 厦门 361005)

摘要: 于 2005 年 5 月和 11 月对浙江省象山港潮间带底栖硅藻进行采样调查, 分析了底栖硅藻的种类组成、丰度、优势种、多样性及群落结构的季节变化和平面分布特征, 并讨论了底栖硅藻与水温、营养盐、潮汐等环境因子之间的关系。共鉴定硅藻 33 属 124 种。硅藻数量分布随季节变化明显, 春季细胞丰度高于秋季。主要优势种为柱状小环藻 (*Cyclotella stylonum*), 春、秋季平均占总细胞数的 25.8%。种类的季节变化反应硅藻对水温的适应性, 潮汐、盐度、pH 值对底栖硅藻组成影响并不明显。秋季营养元素含量升高, 多样性指数降低。

关键词: 象山港; 养殖; 潮间带; 硅藻; 种类组成

中图分类号: Q 949.270

文献标识码: A

文章编号: 1000-8160(2008)04-0445-07

底栖微藻是海洋潮间带滩涂生境的主要初级生产者, 以底栖硅藻为主要组成部分^[1,2], 是海洋动物幼虫和幼体的直接饵料, 也是一些经济软体动物的主要饵料^[3,4], 其数量分布和变动直接或间接地影响到海洋渔业资源的变动。而潮间带作为许多海洋生物繁衍生息的重要场所, 是海洋滨海湿地生态系统的主要组成部分^[5]。因此, 深入开展潮间带底栖硅藻分布及其生态环境的基础研究, 对水产养殖业的合理布局和资源管理都有重要意义。

象山港位于浙江省北部, 是东北-西南向的、深入内陆的狭长海湾, 三面环山, 单向通海。总面积为 563 km², 其中水域面积约占 70%, 滩涂面积约占 30%^[6]。港内涂面平坦, 环境稳定, 适宜贝类、藻类增殖, 是浙江省最重要的水产养殖基地之一。近年来养殖规模不断扩大, 仅海水网箱养殖就占全省网箱的一半以上, 此外还有大量的浅海牡蛎、滩涂贝类等水产品养殖以及围塘养虾等。在带来经济效益的同时, 养殖业的盲目发展也带来了生态平衡破坏、水质恶化、赤潮发生、病害蔓延等一系列问题^[6]。因此, 为保证象山港水产养殖生态与环境的协调发展, 加强养殖环境生态的基础研究就显得尤为重要。

自浙江省海岸带综合调查以来^[7], 许多学者对象山港浮游植物分布特征、潮间带底栖动物生态进行了详细研究^[8-14], 但对潮间带硅藻的分布研究较少。因此, 我们对象山港潮间带硅藻种类组成、数量分布及季节性变化做了初步研究, 并探讨了硅藻的动态分布与环境因子之间的关系, 以对该海湾潮间带生态学的内容作一补充。

1 材料与方法

1.1 样品的采集

于 2005 年 5 月 (春季) 和 11 月 (秋季) 采自浙江省象山港两个支港——铁港和黄墩港 (北纬 29°25′04″~29°25′12″, 东经 121°27′31″~121°31′08″) 的潮间带断面。其中铁港断面按高 (A1)、中 (A2)、低 (A3) 潮区设立 3 个取样站, 黄墩港断面设中 (B1)、低 (B2) 潮区 2 个取样站 (图 1)。各站位采集 1 cm 以上的表层沉积物, 分装于聚乙烯袋中, 冷冻保存, 带回实验室进行分析测定。

1.2 粒度样制备、测试及分析标准

粒度分析样品经除有机质、去钙胶结物和洗盐后过筛, 粗粒部分 (> 2mm) 用筛析法获得, 细粒部分用

收稿日期: 2007-10-17

基金项目: 欧盟第六框架与发展中国家合作项目资助课题 (NCO-CT-2004-510706)

作者简介: 吴瑞 (1964~), 女, 博士生。

通讯作者: 蓝东兆, 教授, E-mail Landz@public.xm.fj.cn

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

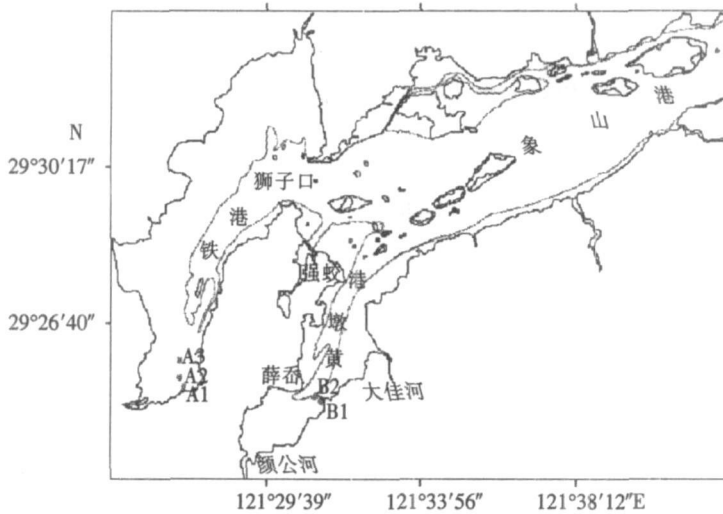


图 1 采样站点

Fig.1 Sampling stations

Mastersizer 2000型激光粒度仪测定. 分析标准采用《海洋调查规范》^[15], 粒度分组间距为 1Φ, 其中标准偏差 1.00~2.00 范围为分选差, 2.00~4.00 为分选很差.

1.3 营养元素的测定及评价标准

氮磷营养盐指标为同步调查测站的值, 测定依据国家《海洋调查规范》^[15]提供的方法进行. 对沉积物总氮、总磷的环境评价目前尚无统一的标准, 本文的评价方法和标准采用《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》^[16]. 其中, 沉积物中总氮、总磷主要污染物评价标准分别为总氮 ≤ 0.05%, 总磷 ≤ 0.06%.

1.4 硅藻样品的处理、观察与统计

根据 Håkansson(1984)的方法进行^[17], 所有样品先用 10% HCl 去除钙质, 用蒸馏水洗净后加入 30% H₂O₂ 在恒温 60℃ 下煮 1~2h 直至沉积物呈灰白色, 以去除沉积物中的有机质, 洗净后用 Naphrax 胶制片, 在 OLYMPUS BX51 型光镜下进行硅藻鉴定. 每个样品统计不少于 300 个壳面, 壳体完整程度达 1/2 以上者方可参与计数. 统计样品中硅藻的数量, 用细胞个数 /g 表示.

群落特征指数计算公式^[18]如下:

$$\text{Shannon-W iener 多样性指数 } (H') : H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$$

$$\text{均匀度 } (J') : (J') = \frac{H'}{\log_2 S}$$

$$\text{优势度 } (Y) : Y = \frac{n_i}{N} \cdot f_i$$

式中, N 为采集样品中所有物种的总个体数, S 为采集样品中的物种总种, n_i 为第 i 种的总个体数; $P_i = n_i / N$ 为第 i 种在样品中的数量比率; f_i 为该种在各样品中出现的频率, Y 值大于 0.02 的种类为优势种.

2 结果

2.1 潮间带环境因子的季节变化

2.1.1 表层沉积物类型 研究区沉积物主要由粉砂和粘土组成, 粉砂含量为 37.05% ~ 66.78%, 粘土的含量为 20.18% ~ 33.67%. 根据 Folk 沉积物类型划分方案得出, 沉积物类型以粘土质粉砂 (YT) 为主, 只有 B2 站位有变化, 春季为砂质粉砂 (ST), 秋季也变为粘土质粉砂 (YT), 即粘土含量增加. 从标准偏差范围 (1.44~3.77) 上看, 两断面沉积物属分选差和很差等级, 说明该区水动力较弱, 沉积物是处于低能平稳水流条件下沉积形成的.

2.1.2 表层沉积物 TN、TP 的分布 各调查站位表层沉积物中 TN、TP 含量的变化范围分别是: TN 为 0.027 7% ~ 0.090 3%; TP 为 0.022 8% ~ 0.062 7% (图 2)。TN 含量除 5 月份 A3、B1 站位未超过《规程》的规定外,其余大于《规程》的规定,出现超标现象; TP 含量除 11 月 B1、B2 站位超标,其余小于《规程》的规定 (图 3); TN、TP 季节上的变化,表现为 TN 和 TP 含量春季低、秋季高。从空间分布上看,除断面 A 春季 TN 变化规律不明显,各参数呈现由高潮带到低潮带、远离养殖区向靠近养殖区方向递增的分布规律。

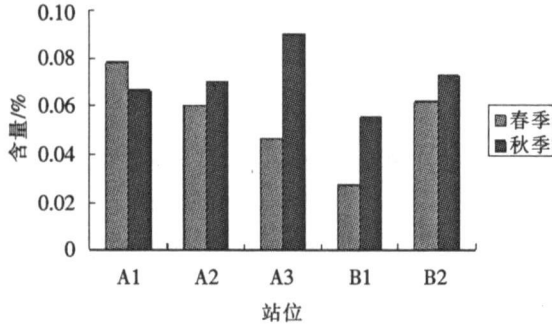


图 2 2005 年象山港潮间带总氮平面分布

Fig.2 Horizontal distributions of total nitrogen in the intertidal zones of the Xiangshan Bay,2005

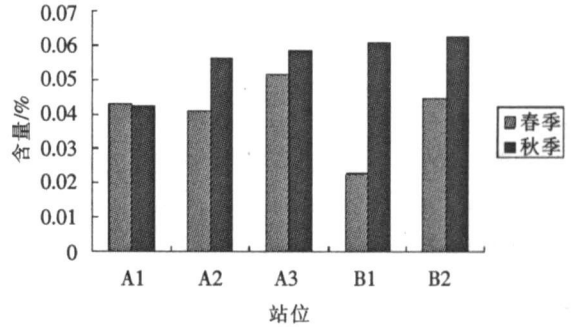


图 3 2005 年象山港潮间带总磷平面分布

Fig.3 Horizontal distributions of total phosphorus in the intertidal zones of Xiangshan Bay,2005

2.2 硅藻的种类组成

所有采集的样品中共计有硅藻 33 属 124 种 (包括变型与变种)。硅藻种类多样性随季节变化,随温度降低呈下降趋势。春季共有硅藻 29 属 98 种,秋季硅藻种类数减少到 26 属 69 种。根据温度的性质,象山港潮间带硅藻种类可分为广温种、温水种和暖水种。其中分布于我国沿岸的广温广布种如柱状小环藻 (*Cyclotella stlorum*)、波罗地海布纹藻 (*Gyrosigma balticum*)、念珠直链藻 (*Melosira moniliformis*) 等占到总种类数的一半以上,是潮间带底栖硅藻的常见种和优势种。温水种如弯菱形藻 (*Nitzschia sigma*)、芽形双菱藻 (*Surirella gamma*)、暖水种如沃氏双菱藻 (*Surirella voigtii*)、卵形褶盘藻 (*Tryblioptychus cocconeiformis*) 等占到总种类数的三分之一左右。调查海滩硅藻种类数的平面分布表现为黄墩港中、低潮区的种类数高于铁港中低、潮区 (表 1)。位于黄墩港 B2 站位种类数最多,位于铁港内的 A1 站位种类数最少。同一站位种类多样性的变化也表现相同的规律,即春季高于秋季。

表 1 象山港潮间带底栖硅藻总种类数平面分布和季节分布

Tab 1 Horizontal and seasonal distribution of species number of benthic diatom in the intertidal zones of Xiangshan Bay

时间 \ 种类数	站位				
	A1	A2	A3	B1	B2
春季	21	35	31	45	43
秋季	28	21	22	24	44
全年	41	51	43	56	69

2.3 硅藻丰度的季节变化和平面分布特征

2005 年象山港潮间带春秋季硅藻的丰度范围在 $(0.320 \sim 22.359) \times 10^3$ 个 /g 之间,平均值为 7.472×10^3 个 /g。春季硅藻丰度较高,平均值为 13.938×10^3 个 /g (图 4),秋季调查区气温较低,硅藻丰度降低,平均值仅为 1.006×10^3 个 /g (图 5)。不同站位间硅藻的分布也表现出显著的差异,A 断面 A1 站位丰度较高,平均为 11.596×10^3 个 /g。B 断面在牡蛎养殖区附近的 B2 站硅藻丰度较高,平均为 11.362×10^3 个 /g。由于 A 和 B 两个潮间带断面位于港顶,底质类型均为淤泥质潮滩,水动力条件和温、盐状况相似,所以底栖硅藻细胞丰度几乎相等,分别为 7.474×10^3 个 /g 和 7.469×10^3 个 /g。

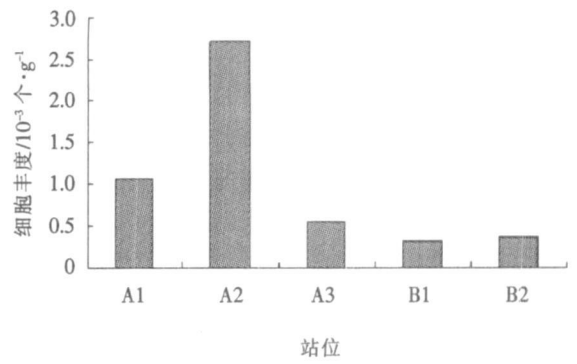
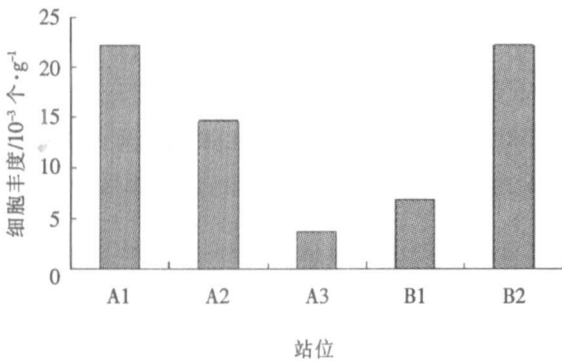


图 4 2005 年春季象山港潮间带硅藻的数量分布

图 5 2005 年秋季象山港潮间带硅藻的数量分布

Fig.4 Quantitative distribution of diatom in the intertidal zones of Xiangshan Bay in spring,2005

Fig.5 Quantitative distribution of diatom in the intertidal zones of Xiangshan Bay in autumn,2005

2.4 优势种的分布特征

调查期间象山港潮间带硅藻优势种如表 2 所示,春、秋季节既有交叉,又有演替.春季优势种有广温种柱状小环藻、念珠直链藻,温带种芽形双菱藻、弯菱形藻,暖水种沃式双菱藻,还有斜纹藻 (*Plerosigma* spp.) 等.沉积物平均硅藻细胞丰度分别为 7.871×10^3 、 2.662×10^3 、 17.314×10^3 、 4.396×10^3 、 6.436×10^3 、 3.518×10^3 个 /g.秋季由于水温降低,暖温性硅藻种类生长受到抑制,所有优势种均为广温种,如波罗地海布纹藻、长海毛藻 (*Thalassiothrix longissima*)、卵形菱形藻 (*Nitzschia cocconeiformis*).优势种平均细胞丰度分别为 2.032×10^3 、 0.932×10^3 、 0.852×10^3 、 0.094×10^3 个 /g.

表 2 2005 年春、秋季象山港潮间带底栖硅藻优势种

Tab 2 Dominant diatoms in the intertidal zones of Xiangshan Bay 2005

季节	种类	占总细胞丰度的比例 %	出现频度 %	优势度
春季	柱状小环藻	11.33	100	0.113
	念珠直链藻	4.30	100	0.043
	弯菱形藻	6.33	60	0.038
	斜纹藻	5.06	60	0.030
	芽形双菱藻	24.92	100	0.249
	沃式双菱藻	9.27	80	0.074
秋季	柱状小环藻	40.38	100	0.404
	波罗地海布纹藻	18.52	100	0.185
	卵形菱形藻	1.96	100	0.020
	长海毛藻	16.93	60	0.102

优势种指优势度 $Y > 0.02$ 的种类

2.5 多样性指数和均匀度

调查区底栖硅藻的多样性指数如图 6 所示,其值介于 2~4.17,平均值为 3.16.黄墩港高于铁港,高值区位于 B2 站位,尽管 A1 站位细胞丰度值存在高值区,但 Shannon-Wiener 多样性指数却是低值区,因为此处的硅藻春季形成了以芽形双菱藻、秋季形成了以柱状小环藻为单一优势种的群落结构(其细胞丰度分别占春秋总细胞丰度的 15.58% 和 14.2%).底栖硅藻的均匀度指数如图 7 所示,其值介于 0.42~0.77,平均值为 0.63.各站位的多样性指数和均匀度均表现为春季高于秋季,由于春季出现的硅藻种类较多,优势种的数量占硅藻总量相对低,为 61.2%.秋季的硅藻种类组成较为简单,优势种的数量占到硅藻总量的 77.8%,主要优势种柱状小环藻在总细胞丰度的比例高达 40% 以上,因此秋季硅藻群落多样性指数和均匀度降低.

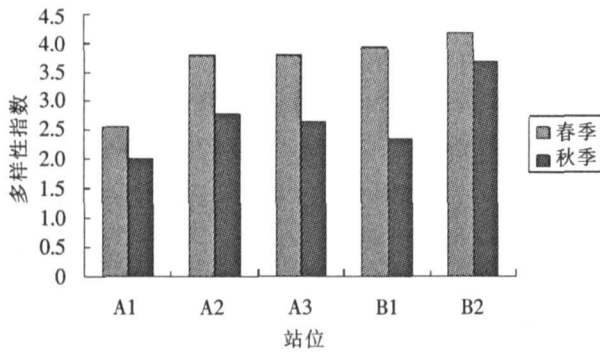
图6 2005年象山港潮间带硅藻的多样性指数 H'

Fig.6 Diversity index of diatoms in the intertidal zones of Xiangshan Bay, 2005

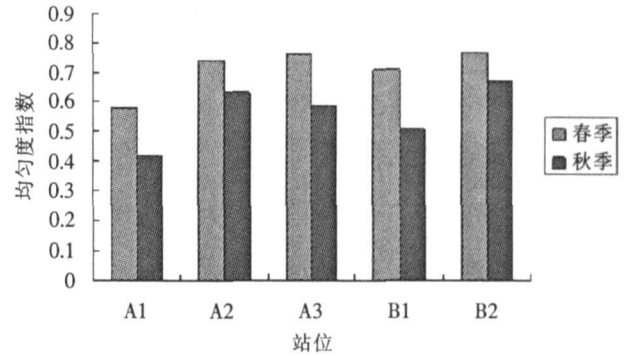
图7 2005年象山港潮间带硅藻的均匀度指数 J'

Fig.7 Evenness index of diatoms in the intertidal zones of Xiangshan Bay, 2005

3 讨论

3.1 潮间带底栖硅藻种类组成及丰度动态变化与温度有关

温度是影响底栖硅藻种类组成和数量分布的主要因子之一^[19-21]。象山港属亚热带季风气候区,具有四季分明的气候条件,水温受气温和水团的影响也有较大的季节变化^[7]。春季(平均水温为 19.6℃)的优势种除广温性质的柱状小环藻、念珠直链藻,还有温水种芽形双菱藻和暖水种沃氏双菱藻等。秋季(平均水温为 15.5℃)优势种只有广温种柱状小环藻、波罗地海布纹藻、卵形菱形藻等,表明了温度对暖、温性硅藻的限制性,使秋季硅藻丰度值下降。

3.2 潮汐、盐度、pH值对底栖硅藻种类组成和数量变化影响不大

有学者在对浙江省海岛潮间带生态研究中发现:不同潮区生物种类的多样性与种类的抗干燥能力有关,生物种类的丰度存在自高潮区向低潮区明显递增的趋势^[22]。比较两个潮间带断面不同潮区底栖硅藻种类组成和数量变化,断面 B 的硅藻种类多样性和硅藻丰度值的垂直变化表现为低潮区 > 中潮区。断面 A 的不同潮区硅藻种类和细胞丰度变化没有明显的规律,种类多样性中潮区 > 低潮区 > 高潮区,而细胞丰度是高潮区 > 中潮区 > 低潮区。原因是象山港是一狭长半封闭海湾,而断面 A 伸入港顶,水动力弱,潮间带滩面平缓,滩涂为泥质,滩面在海水退潮时仍能保持较大的湿度,能保证硅藻生长所需要的水分和营养盐。所以对高潮区细胞丰度值没有造成多大影响。分析两个断面不同潮区硅藻种类多样性,发现有不少种类特别是优势种如柱状小环藻、念珠直链藻、芽形双菱藻、波罗地海布纹藻、卵形菱形藻在各潮区的每个站位均有分布,其它优势种如沃氏双菱藻在各潮区出现频度也较高。所以,从本次调查结果看,潮汐对象山港潮间带底栖硅藻的分布的影响不十分明显。

盐度和 pH 变化范围小,春季盐度平均 24.82,秋季平均 23.14;春季 pH 平均 8.20,秋季平均 7.91。因此,盐度和 pH 值对底栖硅藻的影响不大。

3.3 营养元素对硅藻的影响

总氮和总磷等是营养要素,其指标可反映海洋滩涂环境的富营养化程度^[23]。春季 TN、TP 平均值 0.055%、0.04%。多数站位 TN 超标,TP 未超标;秋季 TN、TP 平均值 0.071%、0.056%,所有站位 TN 超标,B 断面 TP 超标。说明象山港潮滩富营养化,春季主要是氮污染,秋季氮、磷污染。一般认为,污染环境多样性指数低^[24-25]。本次调查秋季营养元素各项指标较春季高,说明富营养化程度的增大,引起秋季硅藻多样性指数降低。

Rawson (1956)认为藻类在指示环境时,优势种的个体数量较种类数具有更大的意义^[26]。分析优势种的个体数,春季优势种占到总细胞数量的 61%,秋季占到 77.8%,其中柱状小环藻在春、秋季平均达 25.8%。其它主要优势种芽形双菱藻在春季占到总细胞数的 24.92%,波罗地海布纹藻在秋季占总细胞的 18.52%。有研究认为养殖区富营养化会引起硅藻少数优势种大量繁殖^[27]。本研究区在 5~11月之间,正是养殖生物

大量繁殖期,由于水动力较弱,滩涂养殖废水等污染物无法顺利排出海湾,而在潮滩淤积,使底栖硅藻优势种个体所占比例增大。

由于硅藻生长周期短,而且潮间带底栖硅藻的细胞丰度的变化及种类演替受到环境条件变化的影响很大,因此今后对象山港潮间带群落特征动态变化与环境因子之间的关系还需要作长期细致调查。

参考文献:

- [1] Dewinder B, Staats N, Stal L J *et al* Carbohydrate secretion by phototrophic communities in tidal sediments [J]. *Journal of Sea Research* 1999, 42: 131~ 146
- [2] Smith D J Underwood G J C. Exopolymer production by intertidal epipellic diatoms [J]. *Limnol Oceanogr* 1998, 43(7): 1578~ 1591.
- [3] 尤仲杰,王一农,徐海军. 泥螺 *Bullacta exarata* (Philippi) 生态的初步观察 [J]. 浙江水产学院学报, 1994, 13(4): 245~ 250
- [4] 陈品健. 尖刀蛭食性和食料的研究 [J]. 台湾海峡, 1998, 17(增刊): 39~ 43.
- [5] 郑成兴,李荣冠,江锦祥,等. 泉州湾岩相潮间带底栖生物生态研究iv. 物种多样性与分布特征 [J]. 生物多样性, 2004, 12(6): 594~ 610.
- [6] 宁修仁,胡锡钢. 象山港养殖生态和网箱养鱼的养殖容量研究与评价 [M]. 北京: 海洋出版社, 2002
- [7] 浙江省海岸带和海涂资源综合调查报告编写委员会. 浙江省海岸带和海涂资源综合调查报告 [M]. 北京: 海洋出版社, 1988
- [8] 范明生,邵晓明,蔡如星,等. 象山港、三门湾潮间带生态学研究iv. 种类组成与分布 [J]. 东海海洋, 1996, 14(4): 27~ 34.
- [9] 邵晓明,蔡如星,王海明,等. 象山港、三门湾潮间带生态学研究 ④数量组成与分布 [J]. 东海海洋, 1996, 14(4): 35~ 41
- [10] 邵晓明,蔡如星,王海明,等. 象山港、三门湾潮间带生态学研究 ⑥群落结构 [J]. 1996, 14(4): 43~ 48
- [11] 高爱根,杨俊毅,陈全震,等. 象山港养殖区与非养殖区大型底栖生物生态比较研究 [J]. 水产学报, 2003, 27(1): 25~ 31
- [12] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志 (第五分册) [M]. 北京: 海洋出版社, 1993.
- [13] 徐兆礼,顾新根,王云龙,等. 象山港赤潮期浮游生物生态特征的分析 [J]. 海洋通报, 1992, 11(5): 46~ 52
- [14] 张海波,蔡燕红,项有堂. 象山港水域浮游植物与赤潮生物种群动态研究 [J]. 海洋通报, 2005, 24(1): 92~ 96
- [15] 国家海洋局 GB/T13909-92 海洋调查规范: 海洋地质地球物理调查 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1993.
- [16] 第二次全国海洋污染基线调查领导小组办公室. 第二次全国海洋污染基线调查技术规程 [M]. 北京: 海洋出版社, 1997.
- [17] Håkansson H. The recent diatom succession of Lake Havsjöarna, south Sweden [C] // Mann D G. *Proceedings of the Seventh International Diatom Symposium* Koeltz Koenigstein 1984: 411~ 429.
- [18] 沈国英,施并章. 海洋生态学 (第二版) [M]. 北京: 科学出版社, 2002: 158~ 163.
- [19] 朱根海,陈国通,杨俊毅,等. 南麂列岛潮间带的微小型底栖藻类 [J]. 东海海洋, 1994, 12(2): 16~ 28.
- [20] 朱根海,陈国通,杨俊毅,等. 南麂列岛海域微小型底栖藻类生态研究 [J]. 东海海洋, 1996, 14(2): 26~ 34.
- [21] 朱根海,王旭,王春生,等. 南麂列岛国家海洋自然保护区微、小型藻类生态研究 ③. 数量分布 [J]. 东海海洋, 1998, 16(2): 22~ 28.
- [22] 邵晓阳,尤仲杰,蔡如星,等. 浙江省海岛潮间带生态学研究v. 生物种类组成与分布 [J]. 浙江海洋学院学报 (自然科学版), 1999, 18(2): 112~ 120.
- [23] 薛超波,王国良,金珊. 海洋滩涂贝类养殖环境的研究现状 [J]. 生态环境, 2004, 13(1): 116~ 118.
- [24] Odum E P (孙儒泳译). *The Foundation of Ecology* [M]. Beijing: People Education Press, 1981.
- [25] Reynolds C S. *The Ecology of Freshwater Phytoplankton* [M]. London: Cambridge University Press, 1984.
- [26] Ravson D W. Algae indicators of trophic lake types [J]. *Limnol Oceanogr* 1956, 1: 18~ 25.
- [27] 李雪松,梁君荣,陈长平,等. 泉州湾虾池浮游植物种类多样性研究 [J]. 厦门大学学报 (自然科学版), 2006, 45(增刊): 234~ 239.

Preliminary study on the distribution of benthic diatoms and their environments in intertidal zone of Xiangshan Bay

WU Ru^{1,2}, LAN Dong-zhao², GAO Ya-hui¹, CHEN Chang-ping¹, LAN Bin-bin²

(1. School of Life Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, China

2. Third Institute of Oceanography, SOA, Xiamen 361005, China)

Abstract The samples for the present study were collected seasonally from the intertidal zone of Xiangshan Bay, Zhejiang Province in May 2005 and November 2005 and were identified under the light microscope. The species composition, abundance, community structure and diversity were investigated. Furthermore, the relationships were discussed between its characteristics and the variation of environmental factors. As results, a total of 124 species belonging to 33 genera were identified. The seasonal variation of diatom abundance was remarkable. The abundance of diatoms was higher in spring than in autumn. The most dominant species were *Cyclotella stylum* (accounting for 25.8% of the total densities). The number of species varies with seasons, demonstrating the adaptability of diatoms to the water temperature. The tide, salinity and pH had no obviously influence on diatoms. Water eutrophication declined the species diversity in autumn.

Key words Xiangshan Bay; aquaculture; intertidal zones; diatom; species composition

(责任编辑: 霍湘娟)