

象山港底栖硅藻群落结构特征

吴 瑞^{1,2}, 高亚辉^{2*}, 蓝东兆^{3*}, 兰彬斌³, 方 琦³

1 厦门大学生命科学学院, 福建厦门 361005

2 海南省海洋与渔业科学院, 海南海口 570125

3 国家海洋局第三海洋研究所, 福建厦门 361005

摘 要 于2005年5月(春季)和11月(秋季)对浙江省象山港海域底栖硅藻进行采样调查, 分析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, 并讨论底栖硅藻与水温、盐度等环境因子之间的关系。共鉴定硅藻46属179种, 硅藻种类数在春季共有46属164种, 秋季减少到22属52种。种类组成以广温种为主, 其次是暖水种和温水种。主要优势种有柱状小环藻(*Cyclotella stylonum*)、琼氏圆筛藻(*Coscinodiscus jonesianus*)等。细胞丰度范围在(0.007~6.851)×10³个/g之间, 平均值为1.522×10³个/g。春季硅藻丰度较高, 平均值为2.974×10³个/g, 秋季为0.071×10³个/g。不同站位间硅藻的分布也表现出显著的差异, 硅藻细胞丰度最高值位于港顶部鱼排密集区9号站位, 春季细胞丰度值为6.851×10³个/g, 秋季细胞丰度值为0.143×10³个/g。硅藻丰度较高的有位于鱼排区的3号、4号、5号、7号站位, 其余较低。硅藻群落多样性指数和均匀度春季较高, 秋季降低。底栖硅藻数量分布随季节变化明显, 与盐度关系不大。

关键词 象山港; 养殖; 底栖硅藻; 群落结构

中图分类号 Q948.1

文献标识码 A

The Benthic Diatom Community of the Xiangshan Bay

WU Rui^{1,2}, GAO Yahui^{2*}, LAN Dongzhao^{3*}, LAN Binbin³, FANG Qi³

1 School of Life Sciences, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361005, China

2 Hainan Academy of Ocean and Fisheries Sciences, Haikou, Hainan 570125, China

3 Third Institute of Oceanography, SOA, Xiamen, Fujian 361005, China

Abstract The samples for the present study were collected from the surface sediments in the Xiangshan Bay, Zhejiang Province in May 2005 and November 2005 and were observed under a light microscope. The species composition, abundance, community structure and diversity were investigated. A total of 179 taxa belonging to 46 genera of diatom were identified. The result showed that the ecotypes of diatom were mostly eurytopic species, next were warm water species and temperate species. The most dominant species were *Cyclotella stylonum* and *Coscinodiscus jonesianus*. The seasonal variation of diatom abundance was remarkable. The cell abundance of diatoms was higher in spring (2.974×10³ cells/g) than autumn (0.071×10³ cells/g). The number of species varies with change of season, demonstrating the adaptability of diatoms to the temperature of water. The species diversity of benthic diatom was lower in autumn than spring.

Key words Xiangshan Bay; Aquaculture; Benthic diatom; Community characteristic

doi 10.3969/j.issn.1000-2561.2016.03.002

底栖微藻(Microphytobenthos)是生活在水—底界面上能进行光合作用的微型藻类, 是近海主要的初级生产者, 近海水域底栖微藻的生物量甚至超过上层水中浮游植物的生物量^[1], 以底栖硅藻为主要组成部分, 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^[2-3]。因此, 深入底栖硅藻群落结构特征的基础研究, 对水产养殖业的合理布局有重要意义。

象山港地处浙江省中部沿海, 是东北—西南向

的狭长的半封闭海湾, 港内平均水深 20 m 左右, 流域面积 1 740 km²^[4], 是浙江省最重要的水产养殖基地之一。象山港海域的网箱养殖业自 1992 年以来有了较快的发展, 不可避免地带来很多污染, 对生态环境造成直接威胁。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, 探索生物与环境因子之间的关系及其影响因素就显得尤为重要。自浙江省海岸带综合调查以来^[5], 许多学者对象山港浮游植物生态、生理特

收稿日期 2015-05-15

修回日期 2015-11-28

基金项目 欧盟第六框架与发展中国家合作项目“海岸带复合系统中的生态海水养殖研究”(No. INCO-CT-2004-510706); 国家自然科学基金(No. 41476116)。

作者简介 吴 瑞(1964年—), 女, 博士, 高工; 研究方向: 海洋生态。*通讯作者(Corresponding author): 高亚辉(GAO Yahui), E-mail: gaoyh@xmu.edu.cn; 蓝东兆(LAN Dongzhao), E-mail: Landz@public.xm.fj.cn。

征、初级生产力等进行了详细研究^[6-10]，但对海域底栖硅藻的分布研究较少。因此，在前人研究的基础上对底栖硅藻进行了调查，分析其种类组成、数量分布及季节变化特征。

1 材料与方 法

1.1 材 料

于 2005 年 5 月和 11 月采自浙江省象山港海底

表泥，共设 9 个站点，其中 1、2、3、6、7 号位于象山港主港内，4 号位于主港和支港铁港交汇处，8 号位于主港和支港黄墩港交汇处，5 号和 9 号位于铁港和黄墩港内。1 号和 6 号无生产活动，2 号是捕鱼区，3、4、5、7 号站点有少量鱼排，5 号站点北侧是大片牡蛎养殖区，8 号两侧是牡蛎养殖区，9 号四周全是鱼排(图 1)。采集 1 cm 以上的表泥，分装于聚乙烯袋中，冷冻保存，带回实验室进行分析测定。

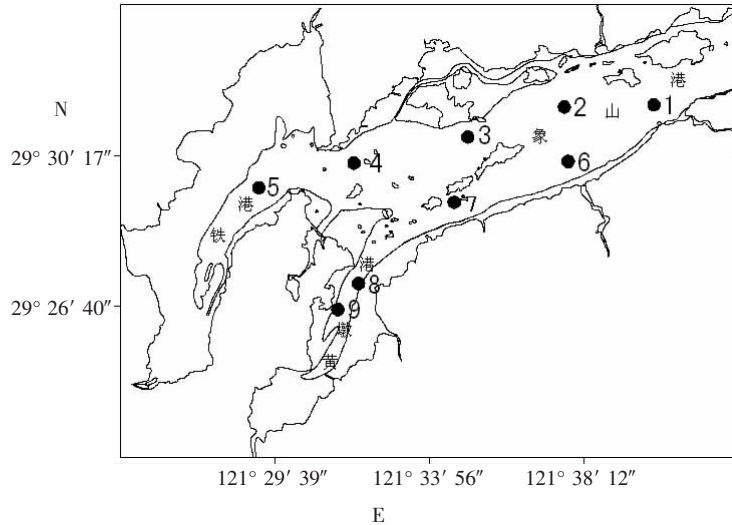


图1 采样站点

Fig. 1 Sampling stations

1.2 方 法

1.2.1 营养元素的测定及评价方法 氮、磷营养盐指标均为同步调查测站的值，测定依据国家《海洋调查规范》^[11]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，本研究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》^[12]。其中，总氮、总磷主要污染物评价标准分别为总氮≤0.055%，总磷≤0.060%。

硅藻样品的处理、观察与统计：根据Håkansson^[13]的方法进行，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 1~2 h 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 300 个，统计样品中硅藻的数量，用细胞个数/g 表示。绝对丰度为每克沉积物硅藻个数，计算公式为绝对丰度/(个/g)=[N×(S/s)]×(V/v)×1 000/W，N 为观察的硅藻的壳体数，S 为样品总行数，s 为观察行数，V 为总体积，v 为盖玻片滴溶液的体积，W 为样品干重。占总细胞丰度的比例为各种藻在每个样品中各种硅藻的百分含量^[14]。

1.2.2 群落特征指数计算方法 公式^[15]如下：

Shannon-Wiener 多样性指数(H')

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$$

均匀度(J')

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

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 结果与分析

2.1 环境因子的季节变化

2.1.1 氮、磷的分布 从图 2 可见，5 月 TN 0.047%~0.058%，TP 0.029%~0.095%；11 月 TN 0.062%~0.115%，TP 0.025%~0.127%。TN 含量 5 月份 1、4、6、8 号站点未超过《规程》的规定外，

其余站位均大于《规程》的规定，出现超标现象。TP 含量 9 号站位 5 月、11 月及 2、6 号站位 11 月超标。各站位表泥中营养元素明显表现为春季低、秋季高的变化趋势。

2.1.2 温度、盐度 采样期间表层沉积物上覆水体的水温变化范围在 15~20.1 ℃，5 月平均水温 19.0 ℃，11 月平均水温 16.5 ℃。盐度变化范围是 22.05~26.77，5 月平均 25.75，11 月平均 23.75。

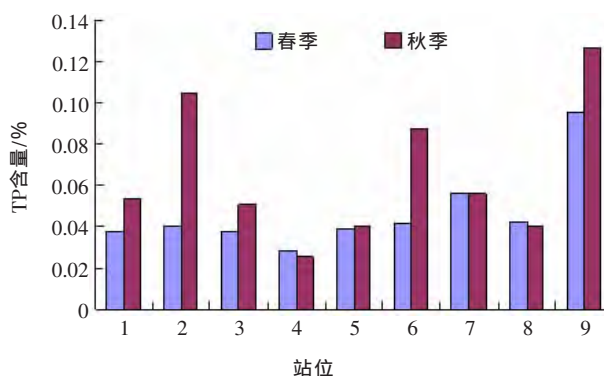
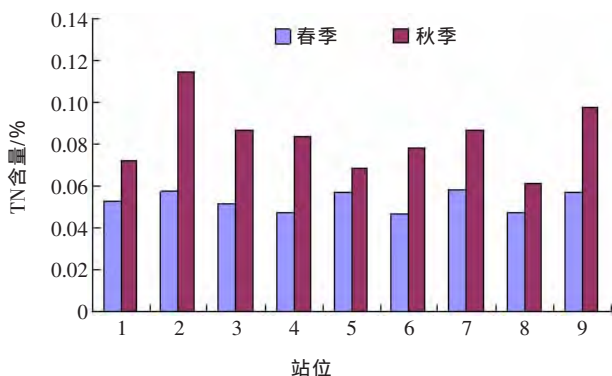


图2 总氮、总磷平面分布
Fig. 2 Horizontal distributions of total nitrogen and total phosphorus

2.2 种类组成及生态类群

所有采集的样品中共计有硅藻 46 属 179 种(包括变种和变形)(表 1)，硅藻种类多样性随季节变化。5 月(春季)硅藻共有 46 属 164 种，11 月(秋季)硅藻种类数减少到 22 属 52 种。圆筛藻属(*Coscinodiscus*)、菱形藻属(*Nitzschia*)的种类多样性最高，其中圆筛藻属出现了 30 个种和变种，菱形藻属出现了 13 个种和变种。根据硅藻的生态特点，可划分为广温广布种、暖水种和温水种 3 个生态类群。其中广温广布种代表种有柱状小环藻、琼氏圆筛藻等，在 5 月和 11 月出现较多，成为象山港海

域底栖硅藻的主要优势类群，占总种类数的三分之二。其次是暖水种，代表种有卵形褶盘藻、舌形圆筛藻、大斜纹藻等。温水种有库氏圆筛藻、弓束圆筛藻等，一般在较低水温时出现，春秋季调查期间，仅出现少量个体。调查海域底栖硅藻种类数的平面分布表现为非养殖区比养殖区种类数多，非养殖区的 1 号和 6 号站位，硅藻种类数高达 80 种和 73 种，其余站位不同程度的养殖和捕捞活动，种类数从 37~62 种不等。各站位种类季节变化比较明显，5 月(春季)种类多样性高于 11 月(秋季)(表 2)。

表1 底栖硅藻种类组成
Table 1 Species composition of diatom

中文名	拉丁学名	中文名	拉丁学名
短柄曲壳藻	<i>Achnanthes brevipes</i>	簇生布纹藻薄喙变种	<i>Gyrosigma fasciola</i> var. <i>tenuirostris</i>
爪哇曲壳藻	<i>Achnanthes javanica</i>	斜布纹藻	<i>Gyrosigma obliquum</i>
爪哇曲壳藻亚缩变种	<i>Achnanthes javanica</i> var. <i>subcontracta</i>	刀形布纹藻	<i>Gyrosigma scalproides</i>
爱氏辐环藻	<i>Actinocyclus ehrenbergii</i>	布纹藻	<i>Gyrosigma</i> sp.1
爱氏辐环藻厚缘变种	<i>Actinocyclus ehrenbergii</i> var. <i>crassa</i>	楔形半盘藻	<i>Hemidiscus cuneiformis</i>
爱氏辐环藻辣氏变种	<i>Actinocyclus ehrenbergii</i> var. <i>ralfsii</i>	可疑明盘藻	<i>Hyalodiscus ambiguus</i>
爱氏辐环藻优美变种	<i>Actinocyclus ehrenbergii</i> var. <i>tenella</i>	辐射明盘藻	<i>Hyalodiscus radiatus</i>
诺氏辐环藻	<i>Actinocyclus normani</i>	细弱明盘藻	<i>Hyalodiscus subtilis</i>
球状辐环藻	<i>Actinopterychus annulatus</i>	环纹娄氏藻	<i>Lauderia annulata</i>
华美辐环藻	<i>Actinopterychus splendens</i>	加利福尼亚楔形藻	<i>Licmophora californica</i>
波状辐环藻	<i>Actinopterychus undulatus</i>	爱氏楔形藻	<i>Licmophora ehrenbergii</i>
中等辐环藻	<i>Actinopterychus vulgaris</i>	楔形藻	<i>Licmophora flabellata</i>
翼茧形藻	<i>Amphiprora alata</i>	楔形藻	<i>Licmophora</i> sp.
茧形藻	<i>Amphiprora</i> sp.	松散直链藻	<i>Melosira incompta</i>
咖啡形双眉藻	<i>Amphora coffeaeformis</i>	冰岛直链藻	<i>Melosira islandica</i>
双眉藻	<i>Amphora</i> sp.	尤氏直链藻	<i>Melosira juergensii</i>

表1 底栖硅藻种类组成
Table 1 Species composition of diatom (continued)

中文名	拉丁学名	中文名	拉丁学名
婆海密花舟藻	<i>Anomoeoneis bohemica</i>	念珠直链藻	<i>Melosira moniliformis</i>
扇形星脐藻	<i>Asteromphalus flabellatus</i>	拟货币直链藻	<i>Melosira nummuloides</i>
长耳盒形藻	<i>Biddulphia aurita</i>	具槽直链藻	<i>Melosira sulcata</i>
长角盒形藻	<i>Biddulphia longicuris</i>	澳洲舟形藻	<i>Navicula australica</i>
美丽盒形藻	<i>Biddulphia pulchell</i>	龙骨舟形藻	<i>Navicula carinifera</i>
钝头盒形藻	<i>Biddulphia obtusa</i>	直舟形藻	<i>Navicula directa</i>
三齿盒形藻	<i>Biddulphia tridens</i>	钳状舟形藻	<i>Navicula forcipata</i>
盒形藻	<i>Biddulphi</i> sp.	颗粒舟形藻	<i>Navicula granulata</i>
长形美壁藻	<i>Caloneis elongata</i>	湖沼舟形藻	<i>Navicula lacustris</i>
长形美壁藻缢缩变种	<i>Caloneis elongata</i> var. <i>constricta</i>	海洋舟形藻	<i>Navicula marina</i>
尖顶马鞍藻	<i>Campylodiscus ecclesianus</i>	来那舟形藻	<i>Navicula raana</i>
柏氏角管藻	<i>Cerataulina bergoni</i>	亚伦舟形藻	<i>Navicula yarrensis</i>
大洋角管藻	<i>Cerataulina pelagica</i>	舟形藻	<i>Navicula</i> sp.1
角毛藻	<i>Chaetoceros</i> sp.1	舟形藻	<i>Navicula</i> sp.2
角毛藻	<i>Chaetoceros</i> sp.2	卵形菱形藻	<i>Nitzschia cocconeiformis</i>
角毛藻	<i>Chaetoceros</i> sp.	簇生菱形藻	<i>Nitzschia fasciculata</i>
假边卵形藻	<i>Cocconeis pseudomarginata</i>	颗粒菱形藻	<i>Nitzschia granulata</i>
盾卵形藻	<i>Cocconeis scutellum</i>	长菱形藻	<i>Nitzschia longissima</i>
盾卵形藻小形变种	<i>Cocconeis scutellum</i> var. <i>parva</i>	洛伦菱形藻密条变种	<i>Nitzschia lorenziana</i> var. <i>densestriata</i>
卵形藻	<i>Cocconeis</i> sp.	边缘菱形藻	<i>Nitzschia marginulata</i>
善美圆筛藻	<i>Coscinodiscus agapetos</i>	琴式菱形藻	<i>Nitzschia panduriformis</i>
狭线形圆筛藻	<i>Coscinodiscus anguste-lineatus</i>	奇异菱形藻	<i>Nitzschia paradoxa</i>
蛇目圆筛藻	<i>Coscinodiscus argus</i>	弯菱形藻	<i>Nitzschia sigma</i>
星脐圆筛藻	<i>Coscinodiscus asteromphalus</i>	弯菱形藻弯变种	<i>Nitzschia sigma</i> var. <i>sigmatella</i>
舌形圆筛藻	<i>Coscinodiscus blandus</i>	纤细菱形藻	<i>Nitzschia subtilis</i>
中心圆筛藻	<i>Coscinodiscus centralis</i>	盘形菱形藻	<i>Nitzschia tryblionella</i>
整齐圆筛藻	<i>Coscinodiscus concinnus</i>	菱形藻	<i>Nitzschia</i> sp.
弓束圆筛藻	<i>Coscinodiscus curvatus</i>	北方羽纹藻	<i>Pinnularia borealis</i>
弓束圆筛藻小形变种	<i>Coscinodiscus curvatus</i> var. <i>minor</i>	大形羽纹藻	<i>Pinnularia major</i>
离心列圆筛藻	<i>Coscinodiscus excentricus</i>	羽纹藻	<i>Pinnularia</i> sp.1
减小圆筛藻	<i>Coscinodiscus decrescens</i>	羽纹藻	<i>Pinnularia</i> sp.2
减小圆筛藻强大变种	<i>Coscinodiscus decrescens</i> var. <i>valida</i>	端尖斜纹藻宽形变种	<i>Pleurosigma acutum</i> var. <i>latum</i>
多束圆筛藻	<i>Coscinodiscus divisus</i>	艾希斜纹藻	<i>Pleurosigma aestuarii</i>
巨圆筛藻	<i>Coscinodiscus gigas</i>	宽角斜纹藻	<i>Pleurosigma angulatum</i>
琼氏圆筛藻	<i>Coscinodiscus jonesianus</i>	优美斜纹藻	<i>Pleurosigma decorum</i>
库氏圆筛藻	<i>Coscinodiscus kutzingii</i>	美丽斜纹藻	<i>Pleurosigma formosum</i>
线形圆筛藻	<i>Coscinodiscus lineatus</i>	大斜纹藻	<i>Pleurosigma major</i>
结节圆筛藻	<i>Coscinodiscus nodulifer</i>	舟形斜纹藻	<i>Pleurosigma naviculaceum</i>
暗色圆筛藻	<i>Coscinodiscus obscurus</i>	诺马斜纹藻	<i>Pleurosigma normanii</i>
小眼圆筛藻	<i>Coscinodiscus oculatus</i>	海洋斜纹藻	<i>Pleurosigma pelagicum</i>
虹彩圆筛藻	<i>Coscinodiscus oculus-iridis</i>	斜纹藻	<i>Pleurosigma</i> sp.1
辐射圆筛藻	<i>Coscinodiscus radiatus</i>	斜纹藻	<i>Pleurosigma</i> sp.2
洛氏圆筛藻	<i>Coscinodiscus rothii</i>	星形柄链藻	<i>Podosira stelliger</i>
有棘圆筛藻	<i>Coscinodiscus spinosus</i>	范氏圆箱藻	<i>Pyxidicula weyprechti</i>
细弱圆筛藻	<i>Coscinodiscus subtilis</i>	双角缝舟藻	<i>Raphoneis amphiceros</i>
温和圆筛藻	<i>Coscinodiscus temperei</i>	模式型翼根管藻	<i>Rhizosolenia alata</i> f. <i>genuina</i>

表1 底栖硅藻种类组成
Table 1 Species composition of diatom (continued)

中文名	拉丁学名	中文名	拉丁学名
苏氏圆筛藻	<i>Coscinodiscus thorii</i>	半棘钝根管藻	<i>Rhizosolenia hebetata</i> f. <i>semispina</i>
膨大圆筛藻	<i>Coscinodiscus turgidus</i>	斯氏根管藻	<i>Rhizosolenia stolterfothii</i>
维廷圆筛藻	<i>Coscinodiscus wittianus</i>	离心列罗氏藻	<i>Roperia excentrica</i>
圆筛藻	<i>Coscinodiscus</i> sp.1	方格罗氏藻	<i>Roperia tessellata</i>
圆筛藻	<i>Coscinodiscus</i> sp.2	中肋骨条藻	<i>Skeletonema costatum</i>
澳大利亚小环藻	<i>Cyclotella austriaca</i>	阿拉伯双菱藻	<i>Surirella arabica</i>
扭曲小环藻	<i>Cyclotella comta</i>	流水双菱藻	<i>Surirella fluminensis</i>
条纹小环藻	<i>Cyclotella striata</i>	芽形双菱藻	<i>Surirella gemma</i>
柱状小环藻	<i>Cyclotella stylonum</i>	流水双菱藻	<i>Surirella fluminensis</i>
粗糙桥弯藻	<i>Cymbella aspera</i>	库氏双菱藻	<i>Surirella kurzii</i>
披针桥弯藻	<i>Cymbella lanceolata</i>	沃氏双菱藻	<i>Surirella voigtii</i>
膨胀桥弯藻	<i>Cymbella tumida</i>	透明针杆藻	<i>Synedra crystallina</i>
蜂腰双壁藻	<i>Diploneis bombus</i>	平片针杆藻	<i>Synedra tabulata</i>
椭圆双壁藻	<i>Diploneis elliptica</i>	离心列海链藻	<i>Thalassiosira excentrica</i>
黄蜂双壁藻	<i>Diploneis crabro</i>	海链藻	<i>Thalassiosira</i> sp.
史密斯双壁藻	<i>Diploneis smithii</i>	菱形海线藻	<i>Thalassionema nitzschioides</i>
布氏双尾藻	<i>Ditylum brightwellii</i>	长海毛藻	<i>Thalassiothrix longissima</i>
太阳双尾藻	<i>Ditylum sol</i>	安蒂粗纹藻	<i>Trachyneis antillarum</i>
长端节肋缝藻	<i>Frustulia lewisiana</i>	粗纹藻	<i>Trachyneis aspera</i>
中国楔菱藻	<i>Gomphonitzschia chinensis</i>	粗纹藻有角变种	<i>Trachyneis aspera</i> var. <i>angusta</i>
海生斑条藻	<i>Grammatophora marina</i>	橄榄粗纹藻	<i>Trachyneis olivaeformis</i>
海洋斑条藻	<i>Grammatophora oceanic</i>	粗纹藻	<i>Trachyneis</i> sp.
波罗地海布纹藻	<i>Gyrosigma balticum</i>	蜂窝三角藻	<i>Triceratium favus</i>
波罗地海布纹中华变种	<i>Gyrosigma balticum</i> var. <i>sinensis</i>	网纹三角藻	<i>Triceratium reticulum</i>
扭布纹藻	<i>Gyrosigma distortum</i>	中国龙骨藻	<i>Tropidoneis chinensis</i>
簇生布纹藻	<i>Gyrosigma fasciola</i>	卵形褶盘藻	<i>Tryblioptychus cocconeiformis</i>

表2 硅藻总种类数平面分布和季节变化
Table 2 Horizontal and seasonal distribution of diatom species

时间	各站物种数								
	1号	2号	3号	4号	5号	6号	7号	8号	9号
5月(春季)	80	34	47	43	49	73	55	35	37
11月(秋季)	12	10	2	18	6	14	16	6	19
5月、11月共有种	87	39	48	52	50	75	62	37	46

2.3 数量分布和季节变化

底栖硅藻的数量分布具有较为明显的季节变化，细胞丰度范围为(0.007~6.851)×10³ 个/g，平均值为 1.522×10³ 个/g。5月(春季)硅藻丰度较高，平均值为 2.974×10³ 个/g，11月(秋季)为 0.071×10³ 个/g。不同站位间硅藻的分布也表现出显著的差异，硅藻细胞丰度最高值位于港顶部鱼排密集区 9 号站位，春季细胞丰度值为 6.851×10³ 个/g，秋季细胞丰度值为 0.143×10³ 个/g。本站水体交换缓慢，稳定性好，具备底栖硅藻生长繁衍的良好生态环境。其次硅藻丰度较高的是位于鱼排区的 3 号、4 号、5 号、

7 号站位，依次为 1.840 5×10³、1.754×10³、1.394×10³、1.390 5×10³ 个/g，2 号站位丰度值最低，细胞丰度值为 0.507×10³ 个/g，5 月(春季)细胞丰度值为 0.975×10³ 个/g，11 月(秋季)细胞丰度值为 0.038×10³ 个/g，反映出象山港湾海区底栖硅藻平面分布的不均匀性(图 3)。

2.4 优势种的分布特征

优势种如表 3 所示，春季港湾气温适宜，优势种类较多。有广温种柱状小环藻、琼氏圆筛藻、波状辐裯藻、离心列海链藻、海生斑条藻、布氏双尾藻、念珠直链藻，沉积物平均硅藻细胞丰度分别为

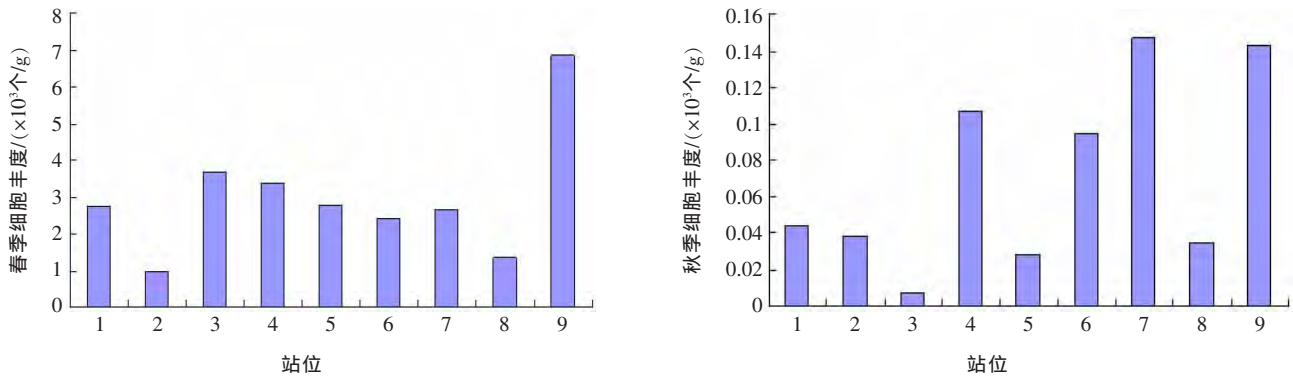


图3 硅藻的数量分布

Fig. 3 The quantitative distribution of diatom

表3 硅藻优势种类的组成

Table 3 Comparison of the dominant diatom species

时间	种类	占总细胞丰度的比例(P_i)/%	出现频度(f_i)/%	优势度(Y)
5月(春季)	波状辐衲藻	4.09	88.88	0.036
	琼氏圆筛藻	9.54	100	0.095
	柱状小环藻	17.50	100	0.175
	布氏双尾藻	2.46	88.88	0.022
	海生斑条藻	3.53	100	0.035
	念珠直链藻	3.43	66.66	0.023
	离心列海链藻	4.29	88.88	0.038
	卵形褶盘藻	2.97	100	0.030
11月(秋季)	琼氏圆筛藻	28.27	77.77	0.220
	柱状小环藻	24.12	100	0.241

说明：优势种指优势度 $Y>0.02$ 的种类。

Note: Dominant species are the species that $Y>0.02$.

0.521×10^3 、 0.284×10^3 、 0.122×10^3 、 0.126×10^3 、 0.105×10^3 、 0.073×10^3 、 0.102×10^3 个/g。暖水种卵形褶盘藻，样品平均硅藻细胞丰度为 0.087×10^3 个/g。由于温度是影响微小型底栖藻类种类组成和数量分布的主要因子^[16-19]，该区秋季温度降低，暖水性硅藻种类生长受到抑制，仅有少数广温性种类如柱状小环藻、琼氏圆筛藻成为优势种，每克样品平均细胞丰度分别为 0.017×10^3 、 0.02×10^3 个/g。该海域春季盐度平均值为 25.75，秋季盐度平均值为 23.75，

盐度变化范围不大，因此底栖硅藻种群数量的季节变动与盐度关系不大。

2.5 多样性指数和均匀度

Shannon-Wiener 多样性指数如图 4 所示，其值介于 0.918~5.353 之间，平均值 3.562。高值区位于 1 号站位，低值区位于 3 号站位，因为此处的硅藻 11 月(秋季)仅有少数种类柱状小环藻和蛇目圆筛藻的组成。均匀度指数如图 5 所示，其值介于 0.63~0.982 之间，平均值为 0.81，均匀度最高在 2

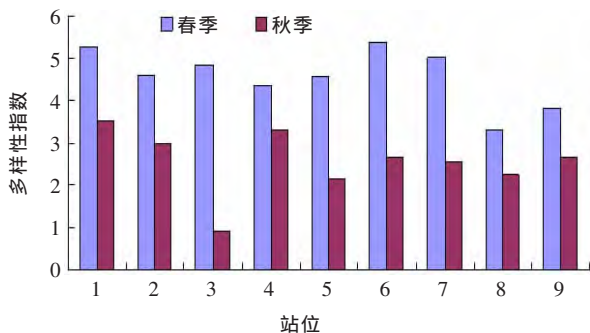


图4 多样性指数 H'

Fig. 4 The diversity index

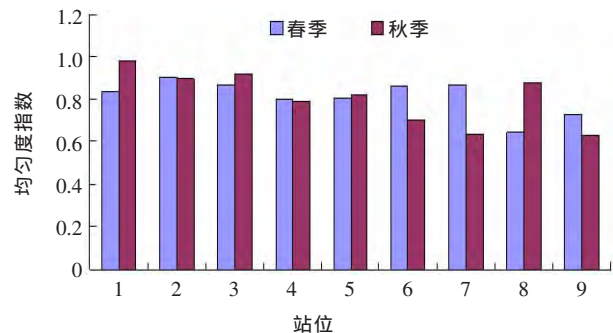


图5 均匀度指数 J'

Fig. 5 The evenness index

号站位,最低在9号站位,尽管9号站位细胞丰度值存在高值区,但均匀度指数却是低值区,因为此处的硅藻形成了以柱状小环藻为单一优势种的群落结构。由于5月(春季)硅藻种类多样性高,优势种的数量占硅藻总量相对低,为47.7%。11月(秋季)的硅藻种类组成较为简单,主要优势种柱状小环藻、琼氏圆筛藻在总细胞丰度的比例高达51.79%,因此11月秋季硅藻群落多样性指数和均匀度降低。

3 讨论与结论

3.1 底栖硅藻种类组成及丰度动态变化与温度有关

象山港调查海域5月份平均水温为19.0℃,底栖硅藻丰度较高,平均值为 2.974×10^3 个/g,优势种类除广温种柱状小环藻、琼氏圆筛藻、波状辐射藻、离心列海链藻、海生斑条藻、布氏双尾藻和念珠直链藻,还有暖水种卵形褶盘藻。11月该海域平均水温为16.5℃,底栖硅藻丰度降为 0.071×10^3 个/g,优势种也仅有广温性种类柱状小环藻、琼氏圆筛藻,暖水性硅藻种类生长受到抑制,说明底栖硅藻种类组成和数量分布主要受到温度的影响有关,与朱根海等对小型底栖藻类的研究结果一致^[16-19]。

3.2 TN、TP对底栖硅藻的影响

各站位表泥中营养元素明显表现为春季低、秋季高的变化趋势。5月TN 0.047%~0.058%,TP 0.029%~0.095%;11月TN 0.062%~0.115%,TP 0.025%~0.127%。TN含量5月份多数站位超标,在11月份所有站位超标;TP含量9号站位5月、11月及2、6号站位11月超标。说明象山港底质富营养化,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^[20-21]。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。

参考文献

- [1] MacIntyre H L, Cullen J J. Primary production by suspended and benthic microalgae in a turbid estuary: Time-scales of variability in San Antonio Bay, Texas[J]. Marine Ecology Progress Series, 1996, 145: 245-268.
- [2] 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.
- [3] 陈品健. 尖刀蛭食性和食料的研究[J]. 台湾海峡, 1998, 17(sup.): 39-43.
- [4] 郑云龙,朱红文,罗益华. 象山港海域水质状况评价[J]. 海洋环境科学, 2000, 19(1): 56-59.
- [5] 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.
- [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] 顾新根,徐兆礼. 象山港中西部浮游植物生态及赤潮研究[J]. 海洋渔业, 1993, 15(5): 199-204.
- [8] 刘子琳,蔡昱明,宁修仁. 象山港中、西部秋季浮游植物粒径分级、叶绿素 a 和初级生产力[J]. 东海海洋, 1998, 16(3): 18-24.
- [9] 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.
- [10] 付翔,郝翎,刘诚刚,等. 象山港多品种养殖与富营养化状况的数值模拟[J]. 渔业科学进展, 2012, 33(2): 1-9.
- [11] GB/T13909-92 《海洋调查规范》: 海洋地质地球物理调查[S]. 北京: 中国地质出版社.
- [12] 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.
- [13] Hakansson H. The recent diatom succession of Lake Havgardsson, south Sweden[M]// Mann D G Ed. Proceedings of 7th International Diatom Symposium. Koeltz Scientific Books, Koenigstein, 1984: 411-429.
- [14] Abrantes F, Lopes C, Mix A, et al. Diatoms in southeast pacific surface sediments reflect environmental properties[J]. Quaternary Science Reviews, 2007, 26: 155-169.
- [15] 沈国英,施并章. 海洋生态学[M]. 2版. 北京: 科学出版社, 2002.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 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. 数量分布[J]. 东海海洋, 1998, 16(2): 22-28.
- [19] Kasper H F, Hall G H, Holland A J. Effects of sea cage Salmon farming on sediment nitrification and dissimilatory nitrate reductions[J]. Aquaculture, 1988, 70: 333-334.
- [20] Odum E P. The foundation of ecology[M]. 孙儒泳译. 北京: 人民教育出版社, 1981.
- [21] Reynolds C S. The ecology of freshwater phytoplankton[M]. London: Cambridge University Press, 1984.

责任编辑:沈德发