

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

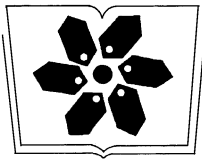
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第18期 Vol.32 No.18 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 18 期

2012 年 9 月 (半月刊)

目 次

亚热带典型树种对模拟酸雨胁迫的高光谱响应.....	时启龙,江 洪,陈 健,等 (5621)
珠江三角洲地面风场的特征及其城市群风道的构建.....	孙 武,王义明,王越雷,等 (5630)
粤北山地常绿阔叶林自然干扰后冠层结构与林下光照动态.....	区余端,苏志尧 (5637)
四种猎物对南方小花蝽生长发育和繁殖的影响.....	张昌容,鄧军锐,莫利锋 (5646)
普洱季风常绿阔叶林次生演替中木本植物幼苗更新特征.....	李帅锋,刘万德,苏建荣,等 (5653)
喀斯特常绿落叶阔叶混交林物种多度与丰富度空间分布的尺度效应.....	张忠华,胡 刚,祝介东,等 (5663)
格氏栲天然林土壤养分空间异质性.....	苏松锦,刘金福,何中声,等 (5673)
种植香根草对铜尾矿废弃地基质化学和生物学性质的影响.....	徐德聪,詹 婧,陈 政,等 (5683)
灌溉对三种荒漠植物蒸腾耗水特性的影响.....	单立山,李 毅,张希明,等 (5692)
真盐生植物盐角草对不同氮形态的响应.....	聂玲玲,冯娟娟,吕素莲,等 (5703)
鹿泉沟自然保护区寒温性针叶林演替优势种格局动态分析.....	张钦弟,毕润成,张金屯,等 (5713)
不同水肥条件下 AM 真菌对丹参幼苗生长和营养成分的影响.....	贺学礼,马 丽,孟静静,等 (5721)
垄沟覆膜栽培冬小麦田的土壤呼吸.....	上官宇先,师日鹏,韩 坤,等 (5729)
不同方式处理牛粪对大豆生长和品质的影响.....	郭立月,刘雪梅,战丽杰,等 (5738)
基于大气沉降与径流的乌鲁木齐河源区氮素收支模拟.....	王圣杰,张明军,王飞腾,等 (5747)
基于能值理论的循环复合农业生态系统发展评价——以福建省福清星源循环农业产业示范基地为例.....	钟珍梅,翁伯琦,黄勤楼,等 (5755)
低温暴露和恢复对棘胸蛙雌性亚成体生存力及能量物质消耗的影响.....	凌 云,邵 晨,颜志刚,等 (5763)
暗期干扰对棉铃虫两个不同地理种群滞育抑制作用的比较.....	陈元生,涂小云,陈 超,等 (5770)
水土流失治理措施对小流域土壤有机碳和全氮的影响.....	张彦军,郭胜利,南雅芳,等 (5777)
不同管理主体对泸沽湖流域生态系统影响的比较分析.....	董仁才,苟亚青,李思远,等 (5786)
连江鱼类群落多样性及其与环境因子的关系.....	李 捷,李新辉,贾晓平,等 (5795)
溶氧水平对鲫鱼代谢模式的影响.....	张 伟,曹振东,付世建 (5806)
象山港人工鱼礁区的网采浮游植物群落组成及其与环境因子的关系.....	江志兵,陈全震,寿 鹿,等 (5813)
填海造地导致海湾生态系统服务损失的能值评估——以套子湾为例.....	李睿倩,孟范平 (5825)
城市滨水景观的视觉环境质量评价——以合肥市为例.....	姚玉敏,朱晓东,徐迎碧,等 (5836)
专论与综述	
生态基因组学研究进展.....	施永彬,李钧敏,金则新 (5846)
海洋酸化生态学研究进展.....	汪思茹,殷克东,蔡卫君,等 (5859)
纺锤水蚤摄食生态学研究进展.....	胡思敏,刘 胜,李 涛,等 (5870)
河口生态系统氨氧化菌生态学研究进展.....	张秋芳,徐继荣,苏建强,等 (5878)
嗜中性微好氧铁氧化菌研究进展.....	林超峰,龚 骏 (5889)
典型低纬度海区(南海、孟加拉湾)初级生产力比较.....	刘华雪,宋星宇,黄洪辉,等 (5900)
植物叶片最大羧化速率及其对环境因子响应的研究进展.....	张彦敏,周广胜 (5907)
中国大陆鸟类栖息地选择研究十年.....	蒋爱伍,周 放,覃 玥,等 (5918)
研究简报	
孵化温度对赤链蛇胚胎代谢和幼体行为的影响.....	孙文佳,俞 霄,曹梦洁,等 (5924)
不同培肥茶园土壤微生物量碳氮及相关参数的变化与敏感性分析.....	王利民,邱珊莲,林新坚,等 (5930)
施肥对两种莧菜吸收积累镉的影响.....	李凝玉,李志安,庄 萍,等 (5937)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 322 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 36 * 2012-09



封面图说: 冬天低空飞翔的丹顶鹤——丹顶鹤是鹤类中的一种,因头顶有“红肉冠”而得名。是东亚地区特有的鸟种,因体态优雅、颜色分明,在这一地区的文化中具有吉祥、忠贞、长寿的象征,是传说中的仙鹤,国家一级保护动物。丹顶鹤具备鹤类的特征,即三长——嘴长、颈长、腿长。成鸟除颈部和飞羽后端为黑色外,全身洁白,头顶皮肤裸露,呈鲜红色。丹顶鹤每年要在繁殖地和越冬地之间进行迁徙,只有在日本北海道等地是留鸟,不进行迁徙,这可能与冬季当地人有组织地投喂食物,食物来源充足有关。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201108161201

江志兵, 陈全震, 寿鹿, 廖一波, 朱旭宇, 高瑜, 曾江宁, 张月霞. 象山港人工鱼礁区的网采浮游植物群落组成及其与环境因子的关系. 生态学报, 2012, 32(18): 5813-5824.

Jiang Z B, Chen Q Z, Shou L, Liao Y B, Zhu X Y, Gao Y, Zeng J N, Zhang Y X. Community composition of net-phytoplankton and its relationship with the environmental factors at artificial reef area in Xiangshan Bay. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(18): 5813-5824.

象山港人工鱼礁区的网采浮游植物群落组成 及其与环境因子的关系

江志兵¹, 陈全震¹, 寿鹿¹, 廖一波¹, 朱旭宇¹, 高瑜¹, 曾江宁^{1,*}, 张月霞²

(1. 国家海洋局海洋生态系统与生物地球化学重点实验室, 国家海洋局第二海洋研究所, 杭州 310012;

2. 浙江省海洋监测预报中心, 杭州 310007)

摘要:根据 2010 年 1 月(冬)、4 月(春)、7 月(夏)和 11 月(秋)对象山港人工鱼礁区及其邻近海域的网采浮游植物样品,共鉴定出浮游植物 8 门 74 属 220 种,主要由硅藻(168 种)和甲藻(38 种)组成。春、秋、冬季全区浮游植物丰度(分别为 67.85、65.88 和 56.77×10^4 个/ m^3)显著高于夏季(7.19×10^4 个/ m^3),优势种主要有琼氏圆筛藻(*Coscinodiscus jonesianus*)、大洋角管藻(*Cerataulina pelagica*)、洛氏角毛藻(*Chaetoceros lorenzianus*)和罗氏角毛藻(*C. lauderi*)等,其中琼氏圆筛藻为全年的优势种,且在春、冬季为该海域的绝对优势种。浮游植物群落参数(丰度、chl a 浓度、种类数、Shannon-Wiener 多样性、Pielou 均匀度和 Margalef 丰富度等指数)和环境因子(温度、盐度、透明度、pH 值、DO、悬浮物、DIN、PO₄-P 和 SiO₃-Si 浓度)均存在极显著的季节变化($P < 0.001$),但区域(鱼礁区与对照区)间基本无显著差异。聚类、多维尺度和相似性分析结果也表明,浮游植物群落组成存在显著季节差异($P = 0.001$),但区域间无显著差异。可见,人工鱼礁投放对网采浮游植物群落无显著影响。究其原因:(1)可能是该海域人工鱼礁投放数量不多,仅有 230 个水泥鱼礁体(共 5000 空立方),建礁时间也较短,导致其生态效应在短期内难以显著体现;(2)对照区与人工鱼礁区的距离较近,且采样站位均靠近岛屿,潮流和岛屿对浮游植物的影响可能超过了人工鱼礁投放对其的影响。典范对应分析(Canonical correspondence analysis, CCA)显示,影响浮游植物群落的主要因子依次为温度、营养盐、盐度和悬浮物。

关键词:浮游植物;人工鱼礁;环境因子;CCA 分析;象山港

Community composition of net-phytoplankton and its relationship with the environmental factors at artificial reef area in Xiangshan Bay

JIANG Zhibing¹, CHEN Quanzhen¹, SHOU Lu¹, LIAO Yibo¹, ZHU Xuyu¹, GAO Yu¹, ZENG Jiangning^{1,*}, ZHANG Yuexia²

1 Key Laboratory of Marine Ecosystem and Biogeochemistry, Second Institute of Oceanography, Hangzhou 310012, China

2 Marine Monitoring and Forecasting Centre of Zhejiang Province, Hangzhou 310007, China

Abstract: Xiangshan Bay ($121^{\circ}25' - 120^{\circ}00'E$, $29^{\circ}05' - 29^{\circ}46'N$), located on the east coast of China, is a long semi-enclosed bay with slow rate of water exchange. As one of the most important economic and aquaculture base in Zhejiang province, Xiangshan Bay has confronted a series of ecological challenge such as the development for coastal power plant, industrial construction, tidal flat reclamation and over-fishing. In order to restore the damage environment of Xiangshan Bay, the local government has begun to settle 230 concrete reefs (a total of 5000 air cubic meters) successively near the

基金项目:国家重点基础研究发展规划项目(2010CB428903);海洋公益性行业科研专项经费项目(200805069;200905011);浙江省自然科学基金(Y5110131);浙江省海水养殖重点科技创新团队(2010R50025);国家海洋局青年海洋科学基金(2011106)

收稿日期:2011-08-16; 修订日期:2011-11-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jiangningz@126.com

Baishi Island since 2008.

Most researches so far focused on the artificial reef itself (e. g. body design, settlement area, pavement method and management) and its influence on the water quality, attachment organisms, benthos and fishery resource. However, report about the effects of artificial reef on phytoplankton is rare. Actually, the phytoplankton, as the basic and essential part of food chain, is very important for the ecological assessment and the community of phytoplankton should be taken into consideration of the artificial reef effects on the ecological restoration and fishery resource recovery.

This paper represents the seasonal community composition of net-phytoplankton in artificial reef areas and their adjacent waters in Xiangshan Bay. The net-phytoplankton samples were collected in January (winter), April (spring), July (summer) and November (autumn) 2010, and a total of 8 phyla, 74 genera, and 220 species were found, mainly including 168 diatom species and 38 dinoflagellate species, and other rare species such as Cyanophyceae, Chlorophyceae, Euglenophyceae, Chrysophyceae, Cryptophyceae and Xanthophyceae. The phytoplankton abundances in spring, autumn and winter ($67.85, 65.88$ and 56.77×10^4 Cells/ m^3 , respectively) were significantly higher than those in summer (7.19×10^4 Cells/ m^3). *Coscinodiscus jonesianus*, *Cerataulina pelagica*, *Chaetoceros lorenzianus* and *C. lauderi* were the main dominant species, especially *C. jonesianus* was the absolute dominant species in spring and winter. Both the phytoplankton community parameters (abundance, chl *a* concentration, species number, Shannon-Wiener diversity, Pielou evenness and Margalef richness index) and the environmental variables (temperature, salinity, transparency, pH value, DO, suspended solids, DIN, PO_4 -P and SiO_3 -Si levels) are seasonally different significantly ($P < 0.001$) but no obvious difference between the artificial reef and control areas is found. The similar seasonal and spacial distributions of net-phytoplankton community are also shown by the results according to the clusters, multidimensional scaling and similarity analysis. Therefore, the artificial reefs at present have no significant influence on community composition of net-phytoplankton. It could be speculated that (1) the total scale (only 230 concrete reefs with a total of 5000 air cubic meters) and settle time (since 2008) of artificial reefs in this area are still not large and long enough to reflect the ecological effects; (2) the control area is close to the reef area, and the sampling stations are near the islands, so the influences of current and island effect on phytoplankton may overwhelm the influence of reefs. Canonical correspondence analysis (CCA) showed that temperature, nutrition (DIN and PO_4 -P), salinity and suspended solids were the main factors influencing net-phytoplankton community in turn.

Key Words: phytoplankton; artificial reef; environmental variable; canonical correspondence analysis (CCA); Xiangshan Bay

象山港地处浙江北部沿海,是一个纵长约为 62.8 km 的狭长型半封闭海湾(121°25′—120°00′E;29°05′—29°46′N),总面积为 563 km²,其中水域面积约占 70%,滩涂面积约占 30%^[1]。它是浙江省最重要的海水增殖基地和多种经济鱼虾贝类的渔业资源产地^[2],也是浙江省发展海洋经济重要的天然资源,海洋开发利用功能多层重叠。近年来,沿港高强度的开发(如临港工业发展、火电厂运行、滩涂围垦和水产养殖等)和过渡捕捞对海域生态环境造成极大的压力^[3-6],渔业资源衰退严重。为修复和优化海洋生物栖息地,增殖海洋生物资源,当地政府于 2008 年在白石山海域投放了 230 个水泥鱼礁体(共 5000 空立方)^[7],另根据《宁波市十二五现代渔业发展规划》,至 2015 年,在象山港海洋牧场核心示范区(铜山—白石山海域)建成 3 个人工鱼礁群,总建礁(水泥砣礁和贝藻礁等礁体)规模 7.4 万空立方。目前,有关人工鱼礁的礁体设计、选址、铺设与管理^[8-10]及其对投放海域水质^[11-13]、鱼礁附着生物^[14]、底栖生物^[15-17]、和渔业资源^[18-21]影响的研究较多,但对鱼礁生态系统中最主要的初级生产者—浮游植物的报道相对较少^[22-25]。而浮游植物可为浮游动物、甲壳动物、软体动物和仔稚鱼等提供食物和必需的营养成分,故在评价人工鱼礁的渔业资源修复效果时非常有必要考虑浮游植物的分布状况。本文根据 2010 年四季象山港人工鱼礁区及其邻近海域网采浮游植物的调查结果

和同步理化数据,比较研究鱼礁区和对照区的浮游植物群落和环境因子,评估人工鱼礁投放对海域生态的影响,同时通过 CANOCO4.5 软件包提供的典范对应分析(Canonical correspondence analysis, CCA),确定浮游植物群落的主要影响因子,并探讨人工鱼礁的修复机理,为象山港人工鱼礁修复效果的评价提供基础资料和参考。

1 研究区域和方法

1.1 研究区域和站位布设

本次调查在象山港的铜山、中央山和白石山邻近水域共设 10 个站位, S3、S4、S5、S6、S7 号站位于人工鱼礁区, S1、S2、S8、S9、S10 号站位于对照区,具体位置见图 1。

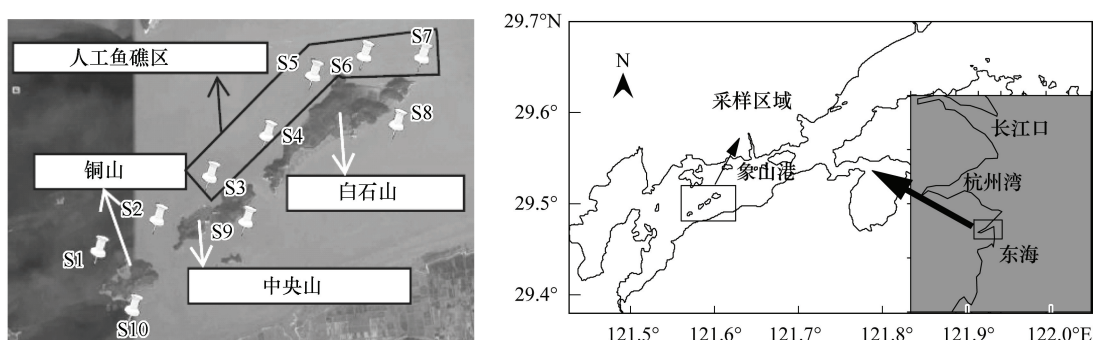


图 1 调查站位

Fig. 1 Sample stations in Xiangshan Bay

1.2 样品采集及分析

浮游植物样品于 2010 年春(4 月)、夏(7 月)、秋(11 月)、冬(1 月)用浅 III 浮游生物网自底至表层作垂直拖网采集,并用 Hydro-bios 流量计记录滤水量。样品用中性甲醛固定,经浓缩后用 Leica DM2500 显微镜观察、鉴定和计数。所有操作均按《海洋调查规范》(GB/T 12763. 9—2007)^[26]进行。同时采集表层(0.5 m)水样,测定其温度、盐度、pH 值、溶解氧 DO、溶解无机氮 DIN($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_3$)、活性磷酸盐 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、硅酸盐 $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 和悬浮物浓度,并记录水深和透明度。

1.3 数据处理

用 PRIMER5.0 版软件计算浮游植物群落的种类数(S)、Shannon-Weiner 多样性指数(H)、Pillou 均匀度指数(J)和 Margalef 丰富度指数(D)。优势度(Y)计算公式为 $Y = n_i \cdot f_i / N$,式中 N 为样品中的总个体数; n_i 为样品中第 i 种的个体数; f_i 为该种浮游植物在样品中的出现概率。若某物种的 $Y \geq 0.02$,则认定为优势种。用 SPSS13.0 软件,在对变量进行正态检验($K-S$ 检验)和方差齐次性检验(Levene 检验)后,再对浮游植物群落参数(细胞密度、chl a 浓度、 S 、 H 、 J 和 D 等)和理化环境因子(水深、透明度、温度、盐度、pH 值、DO、营养盐和悬浮物浓度等)进行两独立样本 t 检验或单因子方差分析。如不满足上述要求,可对变量进行非参数检验($K-W$ 检验)。如 $K-W$ 检验发现各组间呈显著差异,再用 SPSS 软件自编程序进行多重比较 Nemenyi 秩和检验。

在 PRIMER5.0 版软件上对物种的细胞密度进行 $\log(x+1)$ 转换和标准化后,建立 Bray-Curtis 相似性聚类分析,并采用多维尺度排序(NMDS)分析浮游植物群落的空间分布。不同季节、区域间浮游植物群落比较用 PRIMER5.0 版软件提供的双因素相似性分析(ANOSIM)。用 CANOCO 软件分析浮游植物物种分布与环境因子的关系,分析时要求有一个物种数据矩阵和一个环境数据矩阵。为简化分析数据,避免种类检出的偶然性,物种数据要经过筛选,本文用于排序的物种,其在各站位的出现频率需 $\geq 25\%$,相对丰度 $\geq 0.1\%$ 。物种矩阵和环境矩阵(除 pH 值以外)的参数都经过 $\log(x+1)$ 转换后按康奈尔数据文件分别录入成 spe 文件和 env 文件。在将物种数据进行除趋势典范对应分析(DCA)分析后,发现轴的长度 >4 ,故选择 CCA 进行物种-环境分析^[27]。

2 结果

2.1 种类组成

象山港人工鱼礁区及其邻近水域网采浮游植物共有 8 门 74 属 220 种(含变种和变型),其中,硅藻 50 属 168 种(占 76.4%);甲藻 15 属 38 种(占 17.3%);蓝藻和裸藻均为 2 属 4 种(各占 1.8%);绿藻 2 属 3 种(1.4%);金藻、黄藻和隐藻各 1 属 1 种(各占 0.5%)。不同季节浮游植物各门类分布见图 2,种类数表现为夏季(134 种)>冬季(96 种)>春季(84 种)>秋季(79 种)。

2.2 群落参数

浮游植物丰度、chl *a*、*S*、*D*、*H* 和 *J* 存在极显著的季节变化($P<0.001$)。春、秋、冬季全区细胞密度(分别为 67.85 、 65.88 和 56.77×10^4 个/ m^3)显著高于夏季(7.19×10^4 个/ m^3),四季平均值为 49.42×10^4 个/ m^3 ,但 chl *a* 浓度则表现为冬、春季(分别为 6.68 和 $4.64\mu g/L$)显著高于夏、秋季(分别为 1.85 和 $1.05\mu g/L$)。 *S*、*D*、*H* 和 *J* 均表现为夏季最高,春季最低(图 3)。

除春季 *S* 和 *D* 存在显著差异($P<0.05$)外,鱼礁区

和对照区的细胞密度、chl *a*、*H*、*J* 无显著差异。鱼礁区春、夏、秋、冬季浮游植物细胞密度(分别为 66.16 、 6.57 、 57.39 和 47.89×10^4 个/ m^3)均略低于对照区(分别为 69.54 、 7.82 、 74.36 和 65.65×10^4 个/ m^3),但春季鱼礁区 chl *a* 浓度($4.74\mu g/L$)略高于对照区($4.53\mu g/L$)。春、冬季鱼礁区 *S* 和 *H* 低于对照区,夏、秋季则反之;春、冬季鱼礁区 *J* (分别为 0.12 和 0.29)低于对照区(分别为 0.21 和 0.37),夏季两者相等(均为 0.64),而秋季鱼礁区(0.66)高于对照区(0.63);夏、秋、冬季鱼礁区 *D* (分别为 9.92 、 5.14 和 4.98)高于对照区(分别为 8.23 、 4.88 和 4.97),春季则反之。

2.3 优势种组成

调查海域四季浮游植物优势种共有派格棍形藻(*Bacillaria paxillifera*)、高盒形藻(*Biddulphia regia*)、大洋角管藻(*Cerataulina pelagica*)、深环沟角毛藻(*Chaetoceros constrictus*)、克尼角毛藻(*C. knipowitschi*)、罗氏角毛藻(*C. lauderi*)、洛氏角毛藻(*C. lorenzianus*)、整齐圆筛藻(*Coscinodiscus concinnus*)、琼氏圆筛藻(*C. jonesianus*)和中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)等 10 种(表 1),均为硅藻。琼氏圆筛藻为全年的优势种,且在春、冬季为调查海域的绝对优势种,其优势度 *Y* 分别达 0.897 和 0.728 。

2.4 环境因子

表 2 中除水深无显著变化外,其余环境因子均存在极显著的季节变化($P<0.001$)。全区温度变化表现为夏($27.2^{\circ}C$)>秋($18.2^{\circ}C$)>春($14.9^{\circ}C$)>冬季($10.2^{\circ}C$),而 DO 则反之。全区盐度季节表现为冬(22.1)>秋(22.1)>春(19.6)>夏季(18.9),pH 值与之类似。透明度变化表现为春($1.6m$)、秋季($1.5m$)显著高于夏($0.7m$)、冬季($0.4m$),而悬浮物刚好相反。全区四季营养盐浓度较高,总体表现为夏、秋季高于冬、春季,四季 DIN、 PO_4-P 和 SiO_3-Si 浓度平均值为 0.901 、 0.076 和 $1.358mg/L$ 。鱼礁区与对照区的水深、温度、盐度、透明度、pH、DO、悬浮物、营养盐等环境因子间均无显著差异(表 2)。

2.5 聚类分析

根据聚类和多维尺度分析结果(图 4 和图 5),可将浮游植物分为春、夏、秋、冬季群落,表明象山港不同季节浮游植物群落组成存在明显差异,但各季节鱼礁区与对照区浮游植物组成相似度较高。表 3 中的双因素 ANOSIM 也表明,不同季节浮游植物群落组成存在差异($R=0.97$, $P=0.001$),各季节鱼礁区与对照区浮游植

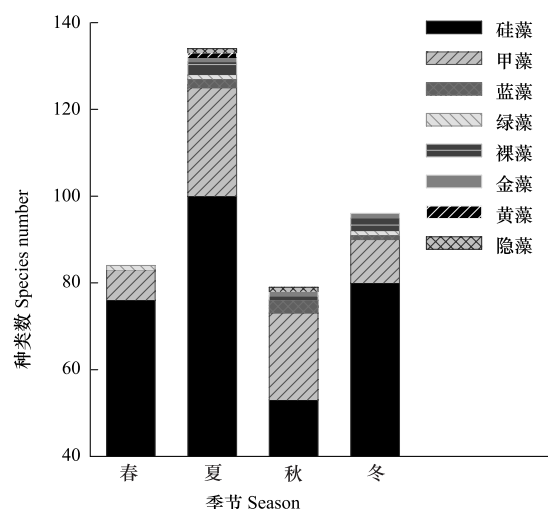


图 2 不同季节各浮游植物门类的种类数

Fig. 2 Species number of phytoplankton taxonomy in different seasons

物群落组成无显著差异($R=0.09,P=0.087$)。

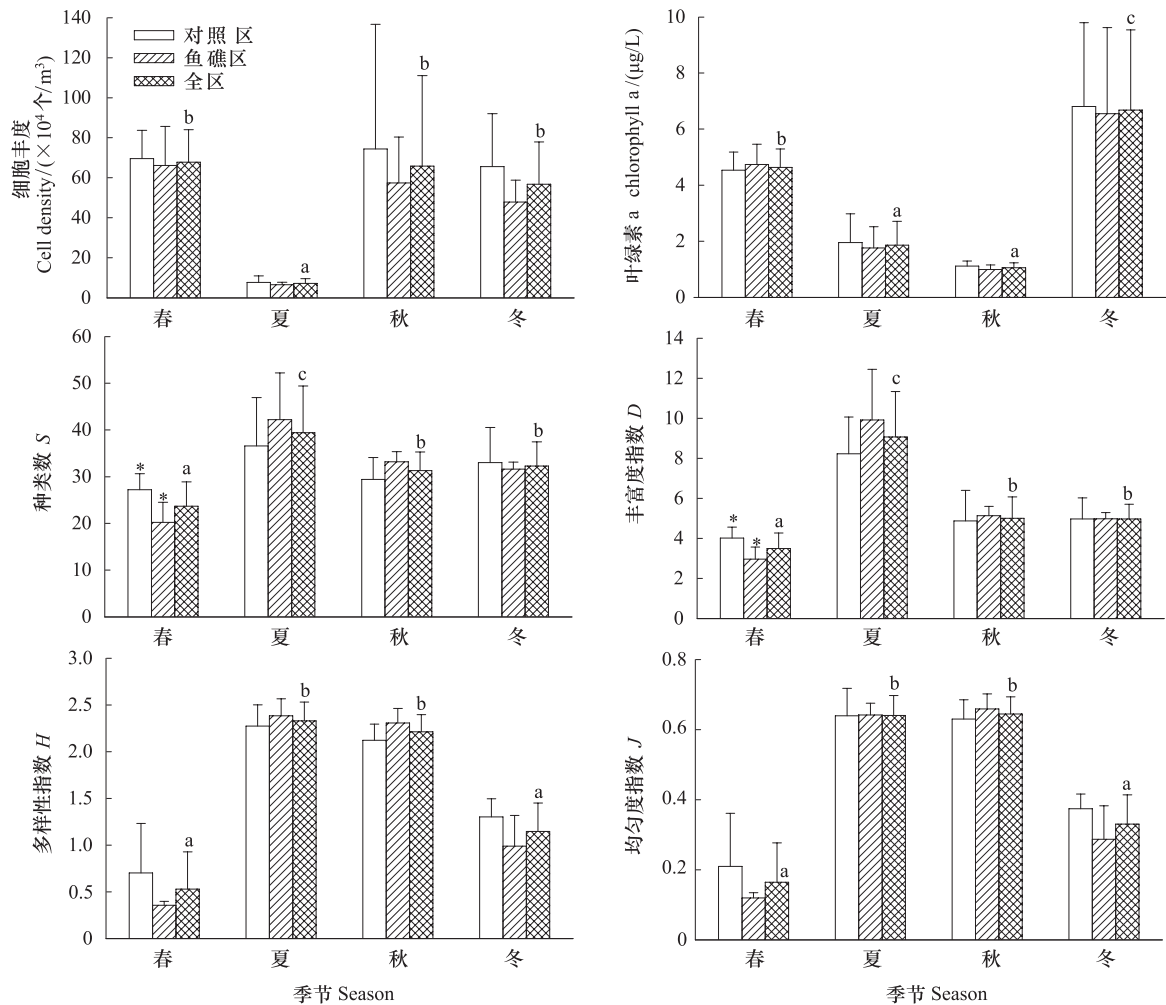


图3 人工鱼礁区、对照区和全区的网采浮游植物群落参数 (Mean±SD)

Fig. 3 Community parameters of net-phytoplankton in artificial reef, control and total area

鱼礁区与对照区 H 和 J 比较采用 $K-W$ 检验,其余参数采用 t 检验;不同季节 H 和 J 比较采用 $K-W$ 检验,其余参数采用单因子方差分析; * 表示鱼礁区与对照区之间存在显著差异 ($P<0.05$),不同小写字母表示全区季节间存在显著差异

表1 不同季节浮游植物优势种的丰度 (Mean±SD) 和优势度 (Y)

Table 1 Abundance and dominance (Y) of phytoplankton dominant species in different seasons

优势种 Dominant species	春 Spring		夏 Summer		秋 Autumn		冬 Winter	
	丰度/ $\times 10^4$ 个/ m^3	优势度 Y	丰度/ $\times 10^4$ 个/ m^3	优势度 Y	丰度/ $\times 10^4$ 个/ m^3	优势度 Y	丰度/ $\times 10^4$ 个/ m^3	优势度 Y
派格棍形藻 <i>Bacillaria paxillifera</i>	—	—	—	—	—	—	3.02±1.93	0.053
高盒形藻 <i>Biddulphia regia</i>	—	—	—	—	2.21±1.78	0.034	—	—
大洋角管藻 <i>Cerataulina pelagica</i>	—	—	1.43±0.97	0.199	4.92±4.59	0.075	—	—
深环沟角毛藻 <i>Chaetoceros constrictus</i>	—	—	—	—	1.79±1.28	0.027	—	—
克尼角毛藻 <i>C. knipowitschi</i>	—	—	0.72±0.29	0.101	—	—	—	—
罗氏角毛藻 <i>C. lauderi</i>	—	—	1.80±0.95	0.251	8.81±5.23	0.134	—	—
洛氏角毛藻 <i>C. lorenzianus</i>	—	—	—	—	22.48±20.25	0.341	—	—
整齐圆筛藻 <i>Coscinodiscus concinnus</i>	—	—	—	—	1.67±0.92	0.025	1.81±0.78	0.032
琼氏圆筛藻 <i>C. jonesianus</i>	60.77±17.81	0.897	1.24±1.05	0.173	3.26±2.11	0.050	41.33±12.36	0.728
中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i>	—	—	—	—	—	—	2.70±2.91	0.048

表 2 人工鱼礁区、对照区和全区的环境因子 (Mean±SD)

Table 2 Environmental parameters (Mean±SD) of artificial reef, control and total area						
参数 Parameters	春 Spring			夏 Summer		
	对照区 (n=5) Contral area	鱼礁区 (n=5) Reef area	全区 (n=10) Total area	对照区 (n=5) Contral area	鱼礁区 (n=5) Reef area	全区 (n=10) Total area
水深 Depth/m	9.3±2.3	8.1±2.3	8.7±2.3a	7.6 ±2.7	8.7±1.5	8.2±2.1a
水温 Temperature/℃	15.0±0.9	14.9±0.6	14.9±0.7b	27.3 ±0.1	27.2±0.1	27.2±0.1d
盐度 Salinity	19.5±0.4	19.6±0.5	19.6±0.5b	19.0 ±0.4	18.8±0.1	18.9±0.3a
透明度 Transparence/m	1.8±0.6	1.5±0.3	1.6±0.5c	0.6 ±0.2	0.7±0.2	0.7±0.2b
pH	8.05±0.01	8.06±0.02	8.06±0.01b	7.92 ±0.01	7.92±0.01	7.92±0.01a
DO/(mg/L)	9.24±0.17	9.14 ±0.05	9.19±0.13c	6.40 ±0.15	6.41±0.07	6.41±0.11a
悬浮物/(mg/L) Suspended solids	11.7±1.6	14.4±7.1	13.1±5.1bc	17.5 ±4.3	17.2±5.5	17.4±4.6cd
DIN/(mg/L)	0.547±0.272	0.689 ±0.288	0.618±0.275a	1.198 ±0.041	1.176±0.027	1.187±0.035b
PO ₄ -P/(mg/L)	0.071±0.011	0.070 ±0.010	0.071±0.010b	0.088 ±0.007	0.085±0.002	0.087±0.005c
SiO ₃ -Si/(mg/L)	1.399±0.114	1.435±0.050	1.417±0.085ab	1.660 ±0.033	1.667±0.031	1.663±0.030c

参数 Parameters	秋 Autumn			冬 Winter		
	对照区 (n=5) Contral area	鱼礁区 (n=5) Reef area	全区 (n=10) Total area	对照区 (n=5) Contral area	鱼礁区 (n=5) Reef area	全区 (n=10) Total area
水深 Depth/m	9.8±5.1	10.7±4.9	10.3±4.8a	8.7±2.3	10.8±2.4	9.8±2.5a
水温 Temperature/℃	18.3±0.9	18.1±0.1	18.2±0.6c	10.0±0.5	10.4±0.3	10.2±0.4a
盐度 Salinity	21.6±0.3	21.6±0.1	21.6±0.2c	22.1±0.2	22.2±0.1	22.1±0.1d
透明度 Transparence/m	1.4±0.0 *	1.5±0.1 *	1.5±0.1c	0.4±0.1	0.4±0.1	0.4±0.1a
pH	8.08±0.03	8.10±0.00	8.09±0.02c	8.26±0.05	8.25±0.05	8.25±0.05d
DO/(mg/L)	8.04±0.29	7.98±0.05	8.01±0.20b	10.24±0.24	10.28±0.33	10.26±0.27d
悬浮物/(mg/L) Suspended solids	6.9±1.2	7.5±0.5	7.2±0.9ab	47.9±12.8	54.7±7.0	51.3±10.3d
DIN/(mg/L)	1.121±0.030	1.119±0.017	1.120±0.023b	0.695±0.075	0.665±0.086	0.680±0.078a
PO ₄ -P/(mg/L)	0.095±0.006	0.093±0.003	0.094±0.004d	0.050±0.005	0.052±0.003	0.051±0.004a
SiO ₃ -Si/(mg/L)	1.634±0.124	1.544±0.056	1.589±0.102bc	0.755±0.179	0.774±0.154	0.764±0.158a

鱼礁区与对照区环境因子比较采用 *t* 检验;不同季节悬浮物、SiO₃-Si 和 DIN 比较采用 *K-W* 检验,其余环境因子采用单因子方差分析

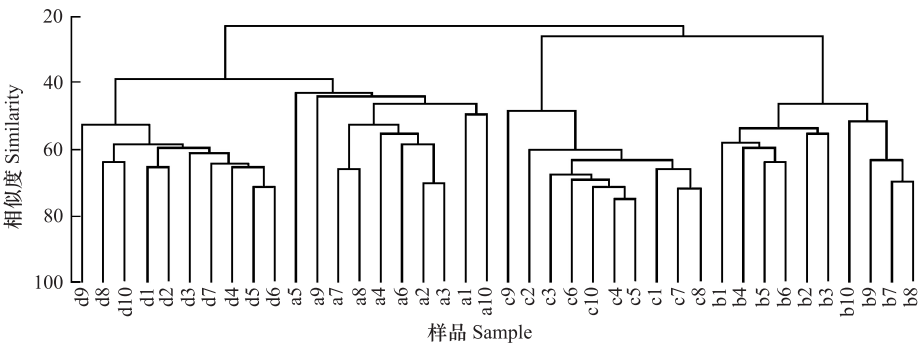


图 4 不同季节浮游植物样品的聚类分析

Fig. 4 Cluster analysis based on Bray-Curtis similarity matrix of phytoplankton samples in different seasons
a:春季样品 Spring sample;b:夏季样品 Summer sample;c:秋季样品 Autumn sample;d:冬季样品 Winter sample

2.6 CCA 分析

根据浮游植物的出现频率和相对丰度,选取 26 种用于 CCA 分析,浮游植物代码见表 4。在 CCA 排序图中,箭头表示环境因子,箭头连线的长短表示物种分布与环境因子相关性的大小。蒙特卡罗检验 (Monte Carlo test) 表明,第 1 轴和全部轴均呈极显著差异 ($P = 0.002$),故 CCA 分析的排序结果是可信的 (表 5)。CCA 分

析中的 12 个环境因子可解释浮游植物群落总变量的 74.6%。第 1 轴和第 2 轴的特征值分别为 0.598 和 0.210,并各自解释了 44.6% 和 15.7% 的物种变量。第 1 轴和第 2 轴的物种-环境相关系数分别为 0.975 和 0.943,表明这 12 个环境因子与 26 种主要浮游植物种类相关性较好。温度、营养盐(DIN 和 PO₄-P)、盐度和悬浮物是影响浮游植物群落的主要环境因子(图 6),其中:第 1 轴主要由温度、营养盐和悬浮物、pH 值等因子影响,而第 2 轴则主要由盐度、pH 值和温度影响。琼氏圆筛藻(s8)、大洋角管藻(s1)、中肋骨条藻(s16)、派格棍形藻(s2)、整齐圆筛藻(s9)等浮游植物主要优势种与温度、营养盐、盐度和悬浮物等因子密切相关。

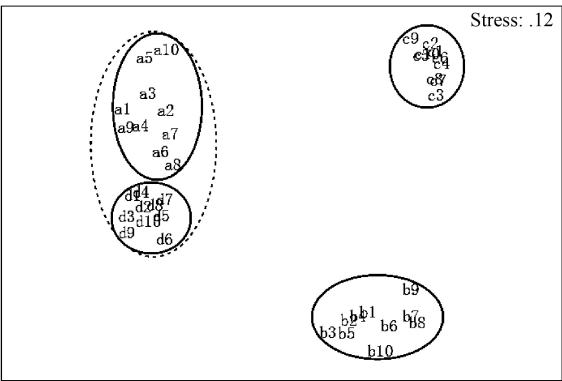


图 5 各站位浮游植物样品的多维尺度分析
Fig. 5 Non-Metric multidimensional scaling (NMDS) of different phytoplankton samples

表 3 不同区域和季节浮游植物群落的双因素相似性分析

Table 3 Results of a two-way analysis of similarity (ANOSIM) for phytoplankton community at different areas and seasons		
组别 Groups	R	P
春比夏 Spring vs. summer	1.00	0.001
春比秋 Spring vs. autumn	1.00	0.001
春比冬 Spring vs. winter	0.86	0.001
夏比秋 Summer vs. autumn	1.00	0.001
夏比冬 Summer vs. winter	1.00	0.002
秋比冬 Autumn vs. winter	1.00	0.001
季节差异检验 Global test for seasons	0.97	0.001
鱼礁区比对照区 Reef area vs. contral area	0.09	0.087

表 4 CCA 排序中的浮游植物种类代码

Table 4 Codes of phytoplankton species for CCA ordination			
编号 Code	种类 Species	编号 Code	种类 Species
s1	大洋角管藻 <i>Cerataulina pelagica</i>	s14	钝头菱形藻 <i>Nitzschia obtusa</i>
s2	派格棍形藻 <i>Bacillaria paxillifera</i>	s15	弯菱形藻 <i>Nitzschia sigma</i>
s3	中华盒形藻 <i>Biddulphia sinensis</i>	s16	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i>
s4	拟旋链角毛藻 <i>Chaetoceros pseudocurvisetus</i>	s17	菱形海线藻 <i>Thalassionema nitzschioides</i>
s5	冕孢角毛藻 <i>Chaetoceros diadema</i>	s18	太平洋海链藻 <i>Thalassiosira pacifica</i>
s6	克尼角毛藻 <i>Chaetoceros knipowitschi</i>	s19	海链藻 <i>Thalassiosira</i> sp1.
s7	罗氏角毛藻 <i>Chaetoceros lauderi</i>	s20	细弱海链藻 <i>Thalassiosira subtilis</i>
s8	琼氏圆筛藻 <i>Coscinodiscus jonesianus</i>	s21	伏氏海毛藻 <i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>
s9	整齐圆筛藻 <i>Coscinodiscus concinnus</i>	s22	长海毛藻 <i>Thalassiothrix longissima</i>
s10	柱状小环藻 <i>Cyclotella stilorum</i>	s23	梭角藻 <i>Ceratium fusus</i>
s11	布氏双尾藻 <i>Ditylum brightwellii</i>	s24	三角角藻 <i>Ceratium tripos</i>
s12	念珠直链藻 <i>Melosira moniliformis</i>	s25	反曲原甲藻 <i>Prorocentrum sigmoides</i>
s13	盔状舟形藻 <i>Navicula corymbosa</i>	s26	双鞭藻 <i>Eutreptiella gymnastica</i>

表 5 主要浮游植物种类与环境因子的 RDA 分析结果

Table 5 Summary of RDA on main phytoplankton species and environmental variables

参数 Parameters	轴 1 Axis 1	轴 2 Axis 2
特征值 Eigenvalues	0.598	0.210
物种-环境相关性 Species-environment correlations	0.975	0.943
变量累积百分比 Cumulative percentage variance of		
物种数据 Species data	44.6	60.3
物种-环境关系 Species-environment relation	59.8	80.8
所有特征值之和 Sum of all eigenvalues	1.340	
所有典范特征值之和 Sum of all canonical eigenvalues	0.999	
变量解释 Variance explained	74.6%	
第一典范轴 P 值 Significance of first canonical axis	0.002	
所有典范轴 P 值 significance of all canonical axes	0.002	

3 讨论

3.1 浮游植物群落的季节变化

象山港主要受长江与钱塘江冲淡水、沿岸流、台湾暖流和象山港沿岸径流的影响^[1],因此,港内海水既有冲淡水与径流入海带来的淡水种类和半咸水种类(美壁藻属 *Caloneis*、桥弯藻属 *Cymbella*、颗粒直链藻极狭变种 *Melosira granulata* var. *angustissima*、颤藻属 *Oscillatoria*、单角盘星藻 *Pediastrum simplex* 和裸藻属 *Euglena* 等),又有土著和江浙沿岸流带来的河口种类、柱状小环藻 *Cyclotella stylonum*、克尼角毛藻、尖布纹藻 *Gyrosigma acuminatum* 和针杆藻属 *Synedra* 等)和近岸低盐种类(琼氏圆筛藻、整齐圆筛藻、中肋骨条藻、布氏双尾藻 *Ditylum brightwellii* 和微小原甲藻 *Prorocentrum minimum* 等),此外还有台湾暖流所携带的外海高盐种类,故其浮游植物种类组成较复杂,物种数也较高(共 220 种)。尤其是夏、秋季,港内有台湾暖流带来的外海高盐种类,包括硅藻太阳漂流藻 *Planktoniella sol* 和大量甲藻(如大角角藻 *Ceratium macroceros*、马西利亚角藻 *C. massiliense*、刺尖甲藻 *Oxytoxum scolopax*、尖甲藻 *O. gladiolus*、夜光梨甲藻 *Pyrocystis noctiluca*、钟扁甲藻 *Pyrophacus horologicum* 等),故夏、秋季的甲藻比例较高。从而也使夏季的 *S* 和 *D* 均显著高于其余季节。

象山港鱼礁区及其邻近水域四季优势种均为硅藻,其中琼氏圆筛藻为全年的优势种,且特别在春、冬季为调查海域的绝对优势种,导致当季的 *H* 和 *J*、均显著低于夏、秋季。浮游植物丰度春季最高、夏季最低,但 chl a 浓度却表现为冬季最高、秋季最低。这说明浮游植物生物量参数细胞数量与 chl a 浓度并不一致,这是因为夏季虽然细胞丰度最低,但其优势种组成主要是细胞体积较大的琼氏圆筛藻和大洋角管藻(chl a 含量较高),而秋季主要优势种组成却是细胞个体较小的罗氏角毛藻和洛氏角毛藻(chl a 含量较低)。由于春、冬季的绝对优势种均为琼氏圆筛藻,故两者浮游植物群落相似度较高($R=0.86$),其余季节浮游植物群落组成存在显著差异($R=1.00$)。

3.2 鱼礁区 and 对照区的浮游植物群落比较

人工鱼礁投放后会对其周围海域产生影响,并围绕鱼礁逐渐形成新的局部人工生态系统^[21,28-29]。受海流影响,礁体周围水体的压力场随之变化,流场重新分布并形成新的动力场,迎流面附近产生上升涡流区,背流面产生涡动缓流区^[30-31]。在流场改变(涌升流、涡流、加速流和滞流等)影响下,表、底层海水和上覆水充分交换,沉积物-水界面也随之发生改变,通过再悬浮与扩散,沉积物中营养盐和有机质向水柱的输送通量增加^[32],提高了营养盐和有机质的水平和周转率^[33],从而促使鱼礁区浮游植物旺发^[23],进而提高该海域的初级生产、次级生产和渔业资源量。但本次调查发现,各季节鱼礁区与对照区的环境因子(透明度、温度、盐度、pH 值、悬浮物、DO、DIN、PO₄-P 和 SiO₃-Si 浓度)和群落参数(细胞丰度、chl a 浓度、*S*、*D*、*H* 和 *J*)基本上无显著差异,这说明人工鱼礁投放对水质和网采浮游植物群落无显著影响。另外,聚类、多维尺度分析表明,象山港各季节鱼礁区与对照区浮游植物组成类似。ANOSIM 分析也表明,各季节鱼礁区与对照区浮游植物群落组成

无显著差异($P=0.087$),但 P 值已接近显著水平 0.05 。王伟定等^[13]的研究也表明,人工鱼礁投放并未显著提高海域的 DIN 水平,但 Falcão 等^[33]、杨柳等^[22]和雷安平等^[25]的调查显示鱼礁区的营养盐(DIN、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 和 $\text{SiO}_3\text{-Si}$)浓度和浮游植物生物量(chl a 浓度和细胞密度)高于对照区。上述研究结果的不一致可能是鱼礁区位置^[12]和水动力^[32]差异造成的。

本次调查显示,人工鱼礁投放未显著影响该区网采浮游植物的群落特征。究其原因,可能是:(1)该海域人工鱼礁投放数量不多,仅有 230 个水泥鱼礁体(共 5000 空立方),建礁时间也较短(2008 年),而其对生态环境的影响可能需要相对长时间的积累,故导致其生态效应在短期内难以显著体现。(2)该调查区域范围较小,选择的对照区与人工鱼礁区的空间距离较近,采样站位均靠近岛屿(图 1),潮流和岛屿对浮游植物的影响可能超过了人工鱼礁投放对其的影响。若按整个调查海域的浮游植物细胞密度计,2010 年四季平均值(49.42×10^4 个/ m^3)显著高于 2006/2007 年(16.33×10^4 个/ m^3)和 2006—2009 年(30.80×10^4 个/ m^3),尽管浮游植物优势种组成相较于 2006/2007 年和 2006—2009 年未发生明显改变(表 6)。可见,人工鱼礁投放后白石山及其邻近海域浮游植物丰度较投放前有明显升高,且随时间积累,人工鱼礁投放对其影响越趋明显。故今后可扩大其调查海域,重新选择对照区。此外,由于本次调查的浮游植物水样正在进行物种鉴定和数据整理,故仅采用网采样品数据进行了分析。但浮游植物拖网通常会漏掉部分链状群体和绝大部分个体小于 $76\text{ }\mu\text{m}$ 营单个细胞生活的微、小型物种,这可能导致研究结果出现一定偏差,故今后需结合水样数据评价人工鱼礁投放对浮游植物的影响。

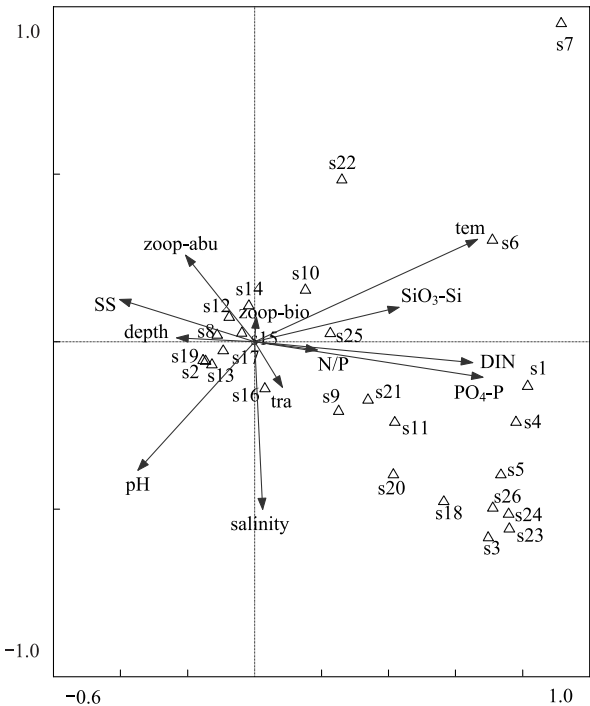


图 6 主要浮游植物种类与环境因子间的 CCA 排序图
Fig. 6 CCA ordination of main phytoplankton species with environmental variables

tem: 温度 Temperature; Salinity: 盐度; tra: 透明度 Transparency; SS: 悬浮物 Suspend solids; depth: 水深; DIN: 溶解无机氮 Dissolved inorganic nitrogen; $\text{PO}_4\text{-P}$: 活性磷酸盐; $\text{SiO}_3\text{-Si}$ 硅酸盐; N/P: 氮磷比; zoop-abu: 浮游动物丰度 Zooplankton abundance; zoop-bio: 浮游动物生物量 Zooplankton biomass

表 6 白石山及其邻近海域浮游植物丰度($\times10^4$ 个/ m^3)和主要优势种的季节分布

Table 6 Season distribution of the phytoplankton abundance ($\times10^4$ cells/ m^3) and main dominant species in Baishi Island and its adjacent sea area

年份 Year	季节 Season	丰度 Abundance	主要优势种 Main dominant species	参考文献 Reference
2006	秋 Autumn	21.1	大洋角管藻	[34]
2007	冬 Winter	8.70	中肋骨条藻	
2007	春 Spring	28.60	琼氏圆筛藻	
2007	夏 Summer	6.90	琼氏圆筛藻和大洋角管藻	
2006—2007	四季 Four seasons	16.33	—	
2006—2009	四季 Four seasons	30.80	中肋骨条藻、圆筛藻、角毛藻和角管藻	
2010	冬 Winter	56.77	琼氏圆筛藻、派格棍形藻和中肋骨条藻	
2010	春 Spring	67.85	琼氏圆筛藻	
2010	夏 Summer	7.19	罗氏角毛藻、大洋角管藻、琼氏圆筛藻、克尼角毛藻	
2010	秋 Autumn	65.88	洛氏角毛藻、罗氏角毛藻、大洋角管藻、琼氏圆筛藻	
2010	四季 Four seasons	49.42	—	

3.3 环境因子对浮游植物群落的影响

浮游植物的生长受到诸多环境因子(光照、水温、盐度、营养盐和水动力等)^[35-39]与生态学过程(浮游动物摄食等)^[40]的影响。根据 CCA 结果,温度、营养盐(DIN、PO₄-P)、盐度和悬浮物是影响调查海域网采浮游植物群落的主要因素,尤其是一些浮游植物优势种与上述环境因子密切相关。其中:克尼角毛藻和罗氏角毛藻在温度和硅酸盐较高的夏、秋季有较高的丰度,故其与温度和硅酸盐密切正相关;派格棍形藻、盔状舟形藻和海链藻(*Thalassiosira* sp1.)在温度和硅酸盐较低而 pH 值较高的春、冬季有较高的丰度,故它们与 pH 值密切正相关,与温度和硅酸盐密切负相关;中肋骨条藻在盐度最高的冬季大量出现,故其与盐度密切正相关;大洋角管藻在 DIN、PO₄-P 和透明度较高而悬浮物较低的夏、秋季大量出现,故其与 DIN、PO₄-P 和透明度较高密切正相关,而与悬浮物密切负相关。琼氏圆筛藻为春、冬季(DIN、PO₄-P 和 SiO₃-Si 浓度相对较低)的绝对优势种,故其与营养盐密切负相关。

本次调查表明,网采浮游植物丰度表现为春>秋>冬>夏季的趋势,这与 2000 年对象山港的调查结果^[2]类似。春季水温升高,充足的光照(透明度达 1.6m)和丰富的营养盐促使暖水近岸种琼氏圆筛藻旺发,并成为该海域的绝对优势种。在各季节中,夏季水温、DIN 和 SiO₃-Si 浓度最高,PO₄-P 也仅次于浓度最高的秋季,但盐度却最低,仅为 18.9,说明象山港受长江与钱塘江冲淡水及沿岸径流(丰水期)影响较大,同时港内含有大量台湾暖流带来的高温高盐种类(如罗氏角毛藻、大洋角管藻、太阳漂流藻和一些前文所述甲藻),即使水温和透明度较高、营养盐也较丰富,但较低的盐度限制了这些高盐种类的繁殖和生长,从而抑制了浮游植物总丰度的增加。

致谢:感谢刘小涯、姚龙奎、姚梅、莫俊超、刘俊峰和金思韵等协助采样并提供相关理化参数。

References:

- [1] Editorial Committee of the Bay Chorography in China. The Bay Chorography in China: Part 5. Beijing: Ocean Press, 1992.
- [2] Ning X R, Hu X G. Investigation and Assessment of Aquaculture Capacity of Cage Fish and Cultural Ecology in Xiangshan Bay. Beijing: Ocean Press, 2002.
- [3] Liu J J, Zeng J N, Chen Q Z, Jiang Z B, Zhao Y Q, Liao Y B, Shou L, Xu X Q, Huang Y J, Du P. The bacterial ecological distribution in water and sediment of cage culture area in Xiangshangang Bay. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(2): 377-388.
- [4] Yang J F, Wang H L, Chen F S, Tu X X, Chen J G, Feng H Q. Distribution of marine bacteria and their environmental factors in Xiangshan Bay. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(14): 4007-4018.
- [5] Zeng X M, Guan W B, Pan C. Cumulative influence of long term reclamation on hydrodynamics in the Xiangshangang Bay. *Journal of Marine Sciences*, 2011, 29(1): 73-83.
- [6] Liao Y B, Shou L, Zeng J N, Gao A G, Jiang Z B. A comparative study of macrobenthic community under different mariculture types in Xiangshan Bay' China. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(3): 646-653.
- [7] Oceanic and Fisheries Administration of Ningbo. Marine Environmental Bulletin of Ningbo during 2008. 2009.
- [8] Yu C D, Yu C G, Yan S Q. Hydrodynamic simulation on the best layout of artificial ship-reefs. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2004, 35(4): 299-305.
- [9] Whitmarsh D, Santos M N, Ramos J, Monteiro C C. Marine habitat modification through artificial reefs off the Algarve (southern Portugal): An economic analysis of the fisheries and the prospects for management. *Ocean and Coastal Management*, 2008, 51(6): 463-468.
- [10] Baine M. Artificial reefs: a review of their design, application, management and performance. *Ocean and Coastal Management*, 2001, 44(3/4): 241-259.
- [11] Zhang S Y, Zhang H J, Jiao J P, Li Y S, Zhu K W. Change of ecological environment of artificial reef waters in Haizhou Bay. *Journal of Fisheries of China*, 2006, 30(4): 475-480.
- [12] Vicente M, Falcão M, Santos M N, Caetano M, Serpa D, Vale C, Monteiro C. Environmental assessment of two artificial reef systems off southern Portugal (Faro and Olhão): a question of location. *Continental Shelf Research*, 2008, 28(6): 839-847.
- [13] Wang W D, Liang J, Zhang S Y. Influence of artificial reef construction on nutrition and water quality in off-shore area of Shengsi, Zhejiang. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2010, 34(1): 78-87.
- [14] Zhang W, Li C H, Jia X P, Chen P M, Fang L. Canonical correspondence analysis between attaching organisms and environmental factors on

- artificial reef in the Daya Bay. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(8): 4053-4060.
- [15] Perkol-Finkel S, Benayahu Y. Recruitment of benthic organisms onto a planned artificial reef: shifts in community structure one decade post-deployment. *Marine Environmental Research*, 2005, 59(2): 79-99.
- [16] Perkol-Finkel S, Benayahu Y. Differential recruitment of benthic communities on neighboring artificial and natural reefs. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2007, 340(1): 25-39.
- [17] Zhang H, Liu P T, Tang J H, Zhu K W, Zhang S. Investigation on the macrobenthos of artificial reefs area in the Haizhou Gulf. *Marine Fisheries*, 2008, 30(2): 97-104.
- [18] Powers S P, Grabowski J H, Peterson C H, Lindberg W J. Estimating enhancement of fish production by offshore artificial reefs: uncertainty exhibited by divergent scenarios. *Marine Ecology Progress Series*, 2003, 264: 265-277.
- [19] Chen P M. A survey on catch in artificial reef area of Zhongshan city. *Journal of Tropical Oceanography*, 2005, 24(3): 73-80.
- [20] Leitão F, Santos M N, Erzini K, Monteiro C C. Fish assemblages and rapid colonization after enlargement of an artificial reef off the Algarve coast (Southern Portugal). *Marine Ecology*, 2008, 29(4): 435-448.
- [21] Wang Z H, Zhang S Y, Wang K, Zhao J, Xu M. A preliminary study on fish and macroinvertebrate enhancement in artificial reef area around Sanheng Isle, Shensi, China. *Journal of Fisheries of China*, 2010, 34(5): 751-759.
- [22] Yang L, Zhang S, Sun M C, Zhang H. The research of relationships between phytoplankton and environmental factors in artificial reef area of Haizhou Bay. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2011, 20(3): 445-40.
- [23] Zhang S, Zhu K W, Sun M C. Species composition and biomass variation in phytoplankton in artificial reef area in Haizhou Bay. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2006, 21(2): 134-140.
- [24] Chen Y H, Wang H J, Yang Y F. Characteristics of phytoplankton community in Daya Bay artificial reef area, Guangdong China. *Ecological Science*, 2008, 27(5): 429-430.
- [25] Lei A P, Chen H, Chen J F, Hu Z L. Research on species composition and biomass of phytoplankton in Daya Bay artificial reef area. *Ocean Technology*, 2009, 28(4): 83-88.
- [26] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine. GB/T 12763. 9 — 2007 Marine Investigation Criterion. Beijing: China Standard Press, 2008.
- [27] Lepš J, Šmilauer P. *Multivariate Analysis of Ecological Data Using CANOCO*. London: Cambridge University Press, 2003.
- [28] Seaman W. *Artificial Reef Evaluation: with Application to Natural Marine Habitats*. Boca Raton: CRC Press, 2000: 51-94.
- [29] Miller M W. Using ecological processes to advance artificial reef goals. *ICES Journal of Marine Science*, 2002, 59: S27-S31.
- [30] Anei Y F, Nai W J W, Hyuga Y C. Environmental changes in parallel with artificial fishing reef fish ecology group. Institute of Fisheries Engineering Research Report, 1989, 10: 1-35 (in Japanese).
- [31] Jiang Z Y, Liang Z L, Tang Y L, Huang L Y, Yu D Y, Jiang M S. Numerical simulation and experimental study of the hydrodynamics of a modeled reef located within a current. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2010, 28(2): 267-273.
- [32] Falcão M, Santos M N, Drago T, Serpa D, Monteiro C. Effect of artificial reefs (southern Portugal) on sediment-water transport of nutrients: importance of the hydrodynamic regime. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2009, 83(4): 451-459.
- [33] Falcão M, Santos M N, Vicente M, Monteiro C C. Biogeochemical processes and nutrient cycling within an artificial reef off Southern Portugal. *Marine Environmental Research*, 2007, 63(2): 429-444.
- [34] You Z J, Jiao H F. Study on the Ecology and Environmental Protect and Restored Technology of Xiangshan Bay. Beijing: Ocean Press, 2011.
- [35] Gao Y H, Yu Q B, Qi Y Z, Zhou J Z, Lu D D, Li Y, Chen C P. Species composition and ecological distribution of planktonic diatoms in the Changjiang River estuary during spring. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(7): 1044-1048.
- [36] Sun C C, Wang Y S, Sun S, Zhang F Q. Analysis dynamics of phytoplankton community characteristics in Daya Bay. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(12): 3948-3958.
- [37] Luan Q S, Sun J, Song S Q, Shen Z L, Yu Z M. Canonical correspondence analysis of summer phytoplankton community and its environment in the Yangtze River Estuary, China. *Journal of Plant Ecology*, 2007, 31(3): 445-450.
- [38] Li Y, Li H, Lü S H, Jiang T J, Xiao Y P, Chen S. Species diversity and distribution of phytoplankton in Nanji Islands national nature reserve. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2010, 34(3): 618-628.
- [39] Wang Y, Lin M, Chen X Q, Lin G M. Spatial and temporal variation of phytoplankton and impacting factors in Jiulongjiang Estuary of Xiamen, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(12): 3399-3414.
- [40] Sun J, Song S Q. Phytoplankton growth and micro-zooplankton herbivory during the spring phytoplankton bloom period in the East China Sea. *Acta Ecologica Sinica*, 29(12): 6429-6438.

参考文献:

- [1] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志: 第五分册. 北京: 海洋出版社, 1992.
- [2] 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. 北京: 海洋出版社, 2002.
- [3] 刘晶晶, 曾江宁, 陈全震, 江志兵, 赵永强, 廖一波, 寿鹿, 徐晓群, 黄逸君, 杜萍. 象山港网箱养殖区水体和沉积物的细菌生态分布. 生态学报, 2010, 30(2): 377-388.
- [4] 杨季芳, 王海丽, 陈福生, 屠霄霞, 陈吉刚, 冯辉强. 象山港海域细菌的分布特征及其环境影响因素. 生态学报, 2011, 31(14): 4007-4018.
- [5] 曾相明, 管卫兵, 潘冲. 象山港多年围填海工程对水动力影响的累积效应. 海洋学研究, 2011, 29(1): 73-83.
- [6] 廖一波, 寿鹿, 曾江宁, 高爱根, 江志兵. 象山港不同养殖类型海域大型底栖动物群落比较研究. 生态学报, 2011, 31(3): 646-653.
- [7] 宁波市海洋渔业局. 2008 年宁波市海洋环境公报, 2009.
- [8] 虞聪达, 俞存根, 严世强. 人工船礁铺设模式优选方法研究. 海洋与湖沼, 2004, 35(4): 299-305.
- [11] 章守宇, 张焕君, 焦俊鹏, 李曰嵩, 朱孔文. 海州湾人工鱼礁海域生态环境的变化. 水产学报, 2006, 30(4): 475-480.
- [13] 王伟定, 梁君, 章守宇. 人工鱼礁建设对浙江嵊泗海域营养盐与水质的影响. 水生生物学报, 2010, 34(1): 78-87.
- [14] 张伟, 李纯厚, 贾晓平, 陈丕茂, 方良. 环境因子对大亚湾人工鱼礁上附着生物分布的影响. 生态学报, 2009, 29(8): 4053-4060.
- [17] 张虎, 刘培廷, 汤建华, 朱孔文, 张硕. 海州湾人工鱼礁大型底栖生物调查. 海洋渔业, 2008, 30(2): 97-104.
- [19] 陈丕茂. 中山人工鱼礁区渔获物调查. 热带海洋学报, 2005, 24(3): 73-80.
- [21] 汪振华, 章守宇, 王凯, 赵静, 许敏. 三横山人工鱼礁区鱼类和大型无脊椎动物诱集效果初探. 水产学报, 2010, 34(5): 751-759.
- [22] 杨柳, 张硕, 孙满昌, 张虎. 海州湾人工鱼礁区浮游植物与环境因子关系的研究. 上海海洋大学学报, 2011, 20(3): 445-40.
- [23] 张硕, 朱孔文, 孙满昌. 海州湾人工鱼礁区浮游植物的种类组成和生物量. 大连水产学院学报, 2006, 21(2): 134-140.
- [25] 雷安平, 陈欢, 陈菊芳, 胡章立. 大亚湾人工鱼礁区浮游植物得种类组成和生物量研究. 海洋技术, 2009, 28(4): 83-88.
- [26] 国家质量监督检验检疫局. GB/T 12763. 9 — 2007 海洋调查规范. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [30] 安永义畅, 乃万俊文, 日向野純也. 並型人工魚礁における境変動と魚群生. 水工学研究所研究報告, 1989, 10: 1-35.
- [34] 尤仲杰, 焦海峰. 象山港生态环境保护与修复技术研究. 北京: 海洋出版社, 2011.
- [35] 高亚辉, 虞秋波, 齐雨藻, 邹景忠, 陆斗定, 李扬, 陈长平. 长江口附近海域春季浮游硅藻的种类组成和生态分布. 应用生态学报, 2003, 14(7): 1044-1048.
- [36] 孙翠慈, 王友绍, 孙松, 张凤琴. 大亚湾浮游植物群落特征. 生态学报, 2006, 26(12): 3948-3958.
- [37] 栾青杉, 孙军. 2005 年夏季长江口水域浮游植物群集特征及其与环境因子的关系. 生态学报, 2010, 30(18): 4967-4975.
- [38] 李扬, 李欢, 吕颂辉, 江天久, 萧云朴, 陈舜. 南麂列岛海洋自然保护区浮游植物的种类多样性及其生态分布. 水生生物学报, 2010, 34(3): 618-628.
- [39] 王雨, 林茂, 陈兴群, 林更铭. 九龙江河口浮游植物的时空变动及主要影响因素. 生态学报, 2011, 31(12): 3399-3414.
- [40] 孙军, 宋书群. 东海春季水华期浮游植物生长与微型浮游动物摄食. 生态学报, 2009, 29(12): 6429-6438.

CONTENTS

Hyperspectral characteristics of typical subtropical trees at different levels of simulated acid rain	SHI Qilong, JIANG Hong, CHEN Jian, et al (5621)
Wind fields and the development of wind corridors in the urban metropolis of the Pearl River Delta	SUN Wu, WANG Yiming, WANG Yuelei, et al (5630)
Dynamics of canopy structure and understory light in montane evergreen broadleaved forest following a natural disturbance in North Guangdong	OU Yudian, SU Zhiyao (5637)
The influence of 4 species of preys on the development and fecundity of <i>Orius similis</i> Zheng	ZHANG Changrong, ZHI Junrui, MO Lifeng (5646)
Woody seedling regeneration in secondary succession of monsoon broad-leaved evergreen forest in Puer, Yunnan, Southwest China	LI Shuaifeng, LIU Wande, SU Jianrong, et al (5653)
Scale-dependent spatial variation of species abundance and richness in two mixed evergreen-deciduous broad-leaved karst forests, Southwest China	ZHANG Zhonghua, HU Gang, ZHU Jiedong, et al (5663)
The spatial heterogeneity of soil nutrients in a mid-subtropical <i>Castanopsis kawakamii</i> natural forest	SU Songjin, LIU Jinfu, HE Zhongsheng, et al (5673)
Effects of <i>Vetiveria zizanioides</i> L. growth on chemical and biological properties of copper mine tailing wastelands	XU Decong, ZHAN Jing, CHEN Zheng, et al (5683)
Effects of different irrigation regimes on characteristics of transpiring water-consumption of three desert species	SHAN Lishan, LI Yi, ZHANG Ximing, et al (5692)
The response of euhalophyte <i>Salicornia europaea</i> L. to different nitrogen forms	NIE Lingling, FENG Juanjuan, LÜ Sulian, et al (5703)
Dynamic analysis on spatial pattern of dominant tree species of cold-temperate coniferous forest in the succession process in the Pangquangou Nature Reserve	ZHANG Qindi, BI Runcheng, ZHANG Jintun, et al (5713)
Effects of AM fungi on the growth and nutrients of <i>Salvia miltiorrhiza</i> Bge. under different soil water and fertilizer conditions	HE Xueli, MA Li, MENG Jingjing, et al (5721)
The dynamics of soil respiration in a winter wheat field with plastic mulched-ridges and unmulched furrows	SHANGGUAN Yuxian, SHI Ripeng, HAN Kun, et al (5729)
Cattle dung composted by different methods had different effects on the growth and quality of soybean	GUO Liyue, LIU XueMei, ZHAN Lijie, et al (5738)
Nitrogen budget modelling at the headwaters of Urumqi River Based on the atmospheric deposition and runoff	WANG Shengjie, ZHANG Mingjun, WANG Feiteng, et al (5747)
Evaluating the ecosystem sustainability of circular agriculture based on the energy theory: a case study of the Xingyuan circular agriculture demonstration site in Fuqing City, Fujian	ZHONG Zhenmei, WENG Boqi, HUANG Qinlou, et al (5755)
Effects of cold exposure and recovery on viability and energy consumption in the sub-adult female giant spiny frogs (<i>Paa spinosa</i>)	LING Yun, SHAO Chen, XIE Zhigang, et al (5763)
A comparison of night-interruption on diapause-averting among two populations of the cotton bollworm, <i>Helicoverpa armigera</i>	CHEN Yuansheng, TU Xiaoyun, CHEN Chao, et al (5770)
Effects of soil erosion control measures on soil organic carbon and total nitrogen in a small watershed	ZHANG Yanjun, GUO Shengli, NAN Yafang, et al (5777)
Comparative analysis of Lugu Lake watershed ecosystem function under different management authorities	DONG Rencai, GOU Yaqing, LI Siyuan, et al (5786)
Relationship between fish community diversity and environmental factors in the Lianjiang River, Guangdong, China	LI Jie, LI Xinhui, JIA Xiaoping, et al (5795)
Effect of dissolved oxygen level on metabolic mode in juvenile crucian carp	ZHANG Wei, CAO Zhendong, FU Shijian (5806)
Community composition of net-phytoplankton and its relationship with the environmental factors at artificial reef area in Xiangshan Bay	JIANG Zhibing, CHEN Quanzhen, SHOU Lu, et al (5813)
Emergency appraisal on the loss of ecosystem service caused by marine reclamation: a case study in the Taozi Bay	LI Ruiqian, MENG Fanping (5825)
Assessing the visual quality of urban waterfront landscapes: the case of Hefei, China	YAO Yumin, ZHU Xiaodong, XU Yingbi, et al (5836)
Review and Monograph	
Advances in ecological genomics	SHI Yongbin, LI Junmin, JIN Zexin (5846)
Advances in studies of ecological effects of ocean acidification	WANG Siru, YIN Kedong, CAI Weijun, et al (5859)
Advances in feeding ecology of <i>Acartia</i>	HU Simin, LIU Sheng, LI Tao, et al (5870)
Research progress on ammonia-oxidizing microorganisms in estuarine ecosystem	ZHANG Qiufang, XU Jirong, SU Jianqiang, et al (5878)
Recent progress in research on neutrophilic, microaerophilic iron(II)-oxidizing bacteria	LIN Chaofeng, GONG Jun (5889)
A comparison study on primary production in typical low-latitude seas (South China Sea and Bay of Bengal)	LIU Huaxue, SONG Xingyu, HUANG Honghui, et al (5900)
Advances in leaf maximum carboxylation rate and its response to environmental factors	ZHANG Yanmin, ZHOU Guangsheng (5907)
10-years of bird habitat selection studies in mainland China: a review	JIANG Aiwu, ZHOU Fang, QIN Yue, et al (5918)
Scientific Note	
The effects of incubation temperature on embryonic metabolism and hatchling behavior in the Red-banded Snake, <i>Dinodon rufonotatum</i>	SUN Wenjia, YU Xiao, CAO Mengjie, et al (5924)
Sensitivity analysis and dynamics of soil microbial biomass carbon, nitrogen and related parameters in red-yellow soil of tea garden with different fertilization practices	WANG Limin, QIU Shanlian, LIN Xinjian, et al (5930)
Effect of fertilizers on Cd uptake of two edible amaranthus herbs	LI Ningyu, LI Zhian, ZHUANG Ping, et al (5937)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 18 期 (2012 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 18 (September, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元