

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2015.06.007

条子泥围垦工程对近海生态环境的影响

涂琦乐¹, 刘晓东^{1,2}, 华祖林^{1,2}, 褚克坚^{1,2}, 周媛媛¹

(1. 河海大学环境学院, 江苏 南京 210098;
2. 河海大学浅水湖泊综合治理与资源开发教育部重点实验室, 江苏 南京 210098)

摘要: 以条子泥一期围垦为研究对象, 通过对工程前后近海浮游植物、浮游动物、大型底栖动物及潮间带底栖生物进行取样调查, 分析围垦前后的生态特性差异。结果表明: 围垦后浮游植物群落种类及生物密度有所增加, 且种类组成发生变化; 垦区附近浮游动物种类增多, 优势种发生变化; 底栖生物种类数减少, 仍以甲壳动物为主, 相对于围垦前的均匀分布, 围垦后仅在部分站位监测到; 潮间带底栖生物种类减少, 但仍以四角蛤蜊等经济贝类为主, 生物密度和生物量变化较小。围垦改变生态环境中水动力、悬浮物、沉积物特性等多种环境因子, 造成水生生物群落结构及多样性的变化。

关键词: 滩涂围垦; 水生生物; 底栖生物; 生物多样性; 群落结构; 条子泥围垦工程

中图分类号: Q143 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2015)06-0542-06

Effect of Tiaozini reclamation project on offshore ecological environment

TU Qile¹, LIU Xiaodong^{1,2}, HUA Zulin^{1,2}, CHU Kejian^{1,2}, ZHOU Yuanyuan¹

(1. College of Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China;
2. Key Laboratory of Integrated Regulation and Resource Development of Shallow Lakes of Ministry of Education, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Using the Tiaozini reclamation project as a case study, the offshore phytoplankton, zooplankton, macrobenthos, and intertidal benthos before and after reclamation were surveyed, and the variations of ecological characteristics were analyzed. The results show that phytoplankton species and biological density increased and species composition changed after reclamation; the number of zooplankton species near the reclamation area increased, and the dominant species changed; the number of benthic species decreased, with crustaceans being the main species, uniformly distributed at all monitoring stations before reclamation but only at some stations after reclamation; the number of intertidal benthos species decreased, but the dominant species were still shellfish with economic value, such as *Macra veneriformis*; and the variations of biological density and biomass were small. It is concluded that reclamation changes a variety of environmental factors in the habitat, such as hydrodynamic conditions, suspended solids, and sediment characteristics, resulting in variations in biodiversity and community structure of aquatic organisms.

Key words: reclamation of tidal flats; aquatic organisms; benthos; biodiversity; community structure; Tiaozini reclamation project

滩涂围垦是促进沿海地区经济发展和保持用地动态平衡的有效途径^[1], 具有可观的经济效益。随着滩涂围垦技术的日益成熟, 滩涂围垦面积、规模正不断扩大。以江苏省为例, 2006 年用于工业和城市建设的滩涂围垦面积约 73.2 km², 到 2013 年用于该类型的潮滩围垦面积达 260 km², 年均增长率达 20%。滩涂围垦在为经济发展提供土地资源的同时, 也引起了沿海滩涂环境污染、海岸自然景观破坏、海岸带生态系统失衡等生态问题。围垦工程的环境影响与生态效应成为近年来研究的热点问题之一, 并由此引起了相关研究者的注意。

收稿日期: 2015-06-16

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划(2012BAB03B04); 国家自然科学基金(51479064, 51379060, 51379058)

作者简介: 涂琦乐(1993—), 女, 江西景德镇人, 硕士研究生, 主要从事环境生态水力学研究。E-mail: 15295527223@163.com

譬如:研究围垦工程对海水入侵的影响及由此造成地下水污染对土壤生态的影响^[2-3]。研究围垦后滩涂湿地植被群落的演替与格局变化过程^[4-5];探讨滩涂围垦后不同农业发展模式、土地利用类型变化及生态环境因子对湿地水鸟群落多样性变化及生态环境选择的影响^[6-8];建立水动力模型模拟分析围垦前后河口的潮流场变化^[9-11];探讨湿地围垦及土壤演替过程中微生物数量变化与土壤肥力的相关关系^[12];研究围垦工程对近海水域浮游植物^[13-14]、浮游动物^[15-16]和底栖生物^[17-18]等环境因子的影响;建立江苏沿海围垦区生态环境长效管理模式^[19]。

虽然对于围垦近海水域生态效应的国内外报道较多,但多数集中在底栖生物研究上,对于条子泥垦区水生生物的群落结构和多样性的研究至今尚未见详细报道。笔者以条子泥一期工程为研究对象,收集了工程建设前(2010 年 4 月)的生态基础资料,并于 2013 年 9 月对工程建设后生态现状进行调查监测,对比分析条子泥围垦工程前后近海生态环境的变化,以期为条子泥围垦工程后续的滩涂生态修复提供相关的基础资料和技术支持。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

根据《江苏沿海地区发展规划》,到 2020 年规划围垦 18 万 hm^2 。其中,辐射沙脊群核心区的条子泥、高泥、东沙共约 6.67 万 hm^2 的围垦任务,并先期启动条子泥滩涂围垦工程。条子泥垦区位于江苏省东台市弼港镇东部,地处我国典型季风气候区,受海洋性和大陆性气候双重影响,年均气温 $14\text{ }^{\circ}\text{C}$,年均降水量 $1\,000\text{ mm}$ 。垦区在沿岸陆地部分为近千年来海岸不断淤长形成的海积平原,地面高程较高,在弼港附近可达 4.5 m 左右,具有较好的滩涂围垦和开发基础。条子泥建设计划分三期实施,设计围垦 230.73 km^2 ,其中,一期围垦工程从 2010 年 10 月开始,2013 年围垦结束,主要为梁垛河口至方塘河闸北侧的近岸滩涂,围垦面积约 60.93 km^2 ,主要用于发展水产养殖,其垦区位置见图 1。本次研究以一期围垦为研究对象,分析围垦工程对近海水生生物的生态影响。

1.2 生态调查

2013 年 9 月,对条子泥围垦区域进行了野外现场监测,浮游植物和浮游动物采样计划站位均为 10 个,大型底栖生物采样站位为 10 个。潮间带生物采样设 4 个断面,每个断面分别采集高、中、低潮位样品,每个样方 0.25 m^2 。监测断面具体位置见图 2(a),其中第 2、5、6、8、10、12 号站点与 2010 年 4 月监测站位位于同一区域。收集的 2010 年 4 月在条子泥区域的采样调查布设生态站位 12 个,潮间带断面 3 条,具体位置见图 2(b)。由于在围垦前后采样调查布设的站位空间位置和范围分布差异不大,所以对调查结果的影响不大。

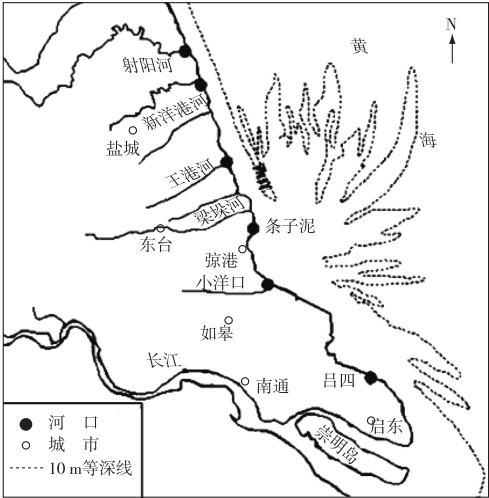
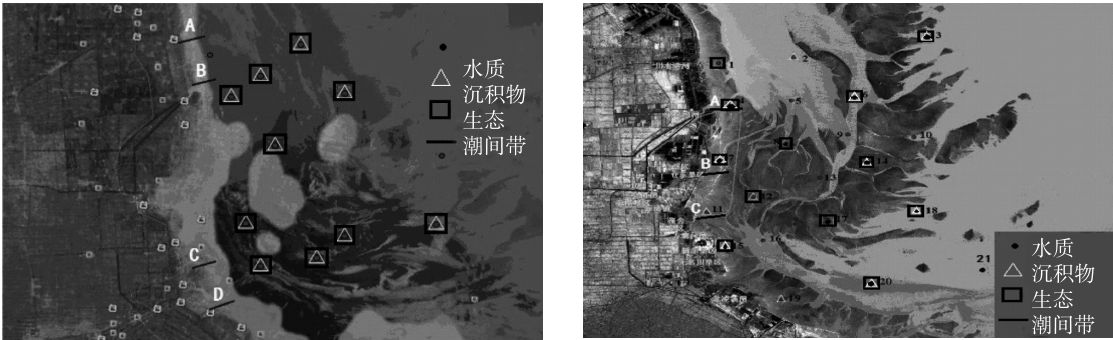


图 1 条子泥一期垦区地理位置
Fig. 1 Geographical location of Tiaozini reclamation area



(a) 2013年9月 (b) 2010年4月

图 2 条子泥生态监测点位及潮间带布置

Fig. 2 Layouts of ecological monitoring sites and intertidal zones in Tiaozini reclamation area

1.3 评价方法

根据滩涂生物群落的特点及取样数据,选择使用了优势度 Y 、种类丰富度指数 d 、均匀度指数 J' 、多样性指数 H' 进行分析,其表达式见式(1)~(4)。

$$Y = \frac{n_i}{N}f_i \tag{1}$$

$$d = \frac{S - 1}{\ln N} \tag{2}$$

$$J' = \frac{H'}{H'_{\max}} = \frac{H'}{\log_2 S} \tag{3}$$

$$H' = -\sum_{i=1}^n \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N} \tag{4}$$

式中: f_i ——第 i 个种在各样方中出现频率; n_i ——群落中第 i 个种在空间中的个体数量; N ——群落中所有种的个体数总和; S ——种类数; $H'_{\max}$ ——最大的物种多样性指数。

2 结果分析

2.1 围垦对近海浮游植物的影响

2.1.1 种类组成及优势种

围垦后垦区附近海域浮游植物种类增多,由围垦前的 25 种增加到 39 种。优势种全部发生变化,围垦前优势种有中肋骨条藻、诺氏海链藻、异常角刺藻、小眼园筛藻、布氏双尾藻,其中中肋骨条为藻绝对优势种,密度百分比为 79.74%,围垦后优势种有细弱海链藻、细长翼根管藻、短角弯角藻、菱软几内亚藻、北方娄氏藻、夜光藻,细弱海链藻为绝对优势种,占 94.1%,围垦前的优势种在垦后均未出现。

2.1.2 生物密度及多样性

围垦后浮游生物密度为 5.3×10^8 cells/ m^3 ,而围垦前为 0.358×10^8 cells/ m^3 ,生物密度大幅增加。
围垦后浮游植物的平均多样性指数为 1.51,范围为 1.07~1.62,与围垦前的 1.35(0.49~2.18)相比,平均多样性指数有所增大且浮动范围减小,各监测站点多样性指数分布较围垦前分布均匀。围垦后平均均匀度指数为 0.48(0.333~0.509),与围垦前 0.4(0.17~0.68)相比有所增加,各监测站点间变化幅度减小,分布较均匀。平均丰富度指数围垦后为 0.63(0.42~0.96),较围垦前 1.42(1.19~1.55)大幅度减小,且围垦后各站点指数值均低于垦前最低水平。

浮游植物作为水域的初级生产者在海洋生态系统的物质循环中具有重要作用,浮游植物群落结构的变化能够指示海洋环境质量状况^[20]。条子泥围垦中浮游植物在围垦后生物密度及物种数均较围垦前明显增加,这与王春叶等^[14]的研究结果相一致,其研究发现围垦后浮游植物丰度维持在较高水平,认为围垦工程过程是影响海域浮游植物种群变化的重要原因。从长期影响结果趋势来看,拓浚工程有利于水生生态环境系统的恢复与重建。

2.2 围垦对近海浮游动物的影响

2.2.1 种类组成及优势种

围垦后垦区附近海域浮游动物种类增多,从围垦前的 27 种增加到 37 种。围垦后优势种有小拟哲水蚤、平大眼剑水蚤、桡足类幼体、克氏纺锤水蚤、沙蚕幼体、太平洋纺锤水蚤(幼体所占比例较大),绝对优势种为小拟哲水蚤,密度百分比为 53%。围垦前优势种有真刺唇角水蚤,小拟哲水蚤,漂浮囊糠虾,真刺唇角水蚤所占比例最大,为 31.04%,在 12 个站位均有出现。其中,围垦前后小拟哲水蚤均作为优势种出现。

2.2.2 生物密度和生物量

围垦前后各监测站点生物密度和生物量分别见图 3(a)及图 3(b)。垦后平均生物密度大幅增加,为 4874 ind./ m^3 ,围垦前仅为 84 ind./ m^3 。而生物量却呈相反趋势,垦后浮游动物平均生物量仅为 1.31 mg/ m^3 ,围垦前为 77 mg/ m^3 ,这可能与垦后所测浮游动物幼体个体数所占比例较大有关。

2.2.3 多样性

围垦前后监测海域内生物多样性各指数对比情况见图 4。由图 4 可知,围垦后浮游动物的平均多样性

与平均均匀度指数均呈减小趋势且变化幅度减小。围垦后浮游动物的平均多样性指数为 2.26, 范围为 1.85~2.64。平均均匀度指数为 0.75, 范围为 0.68~0.89, 各监测站点多样性与均匀度指数分布与围垦前相比较为均匀, 平均丰富度指数围垦后增大。

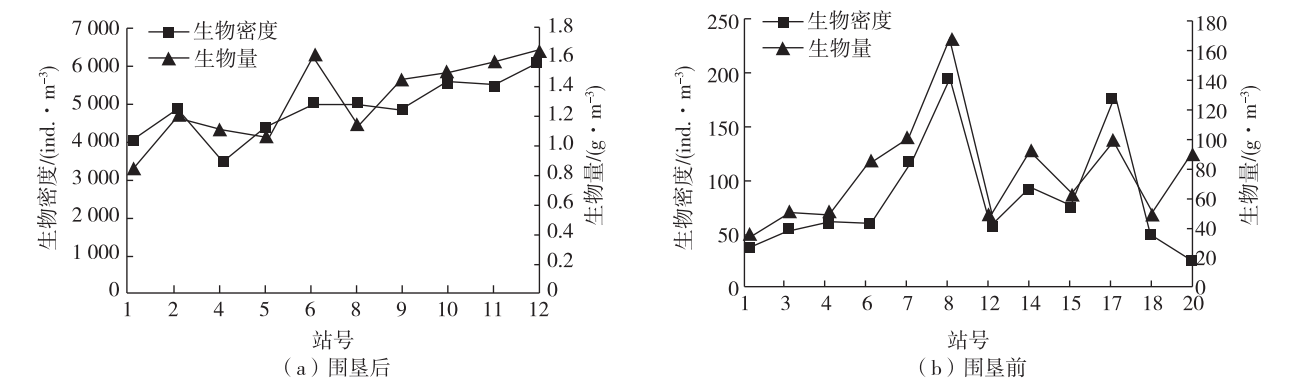


图 3 调查海域浮游动物各站点生物密度和生物量

Fig. 3 Biological density and biomass of zooplankton at different monitoring sites in investigation area

一般认为浮游动物受盐度、温度、径流及食物等因子的影响。水中浮游植物是浮游动物的食物来源, 浮游植物的数量变化关系到浮游动物的分布及数量。本次调查研究中, 浮游植物、浮游动物种类数及生物密度在围垦后均呈大幅增大的趋势。主要是由于围垦造成近海水域悬浮物浓度、溶解氧发生变化以及由此造成的浮游植物数量变化, 条子泥垦区整体海域水质围垦后较围垦前悬浮物浓度有所增加、溶解氧浓度略有下降。

2.3 围垦对底栖生物的影响

2.3.1 围垦对近海底栖生物的影响

2.3.1.1 种类组成及优势种

围垦后在调查区域 10 个站点(仅在 4 个站点采集到生物样本)共采集到大型底栖生物 23 种。而围垦前在调查区域 12 个站点共采集到底栖生物 29 种, 围垦后围垦水域底栖生物种类减少, 但其种类组成中, 仍以甲壳动物为主, 分别占总类别的 52% 及 48%, 其中围垦后鱼类所占比例有所减小。

2.3.1.2 生物密度和生物量

围垦后只在第 2、3、9、11 站位采集到生物样本, 大型底栖生物密度为 30~50 $\text{ind.}/\text{m}^2$, 平均 40 $\text{ind.}/\text{m}^2$; 生物量 0.72~1.55 g/m^2 , 平均 1.04 g/m^2 。而在围垦前的监测中所有站位均采集到生物样本, 底栖生物平均密度范围为 0.010 8~0.221 3 $\text{ind.}/\text{m}^2$, 平均 0.052 8 $\text{ind.}/\text{m}^2$, 围垦后近海域底栖生物密度大幅增加; 生物量 108~2213 g/m^2 , 平均 527.8 g/m^2 。

2.3.2 围垦对潮间带底栖生物的影响

2.3.2.1 种类组成及优势种

围垦前后分别发现潮间带底栖生物 39 种和 28 种, 围垦后物数减少。围垦造成部分优势种发生变化, 围垦前主要优势种有异足索沙蚕、四角蛤蜊、青蛤, 调查发现围垦后主要优势种有泥螺、四角蛤蜊、托氏虫昌螺、圆筒原盒螺、宽身大眼蟹, 仍以四角蛤蜊等经济贝类为主。其中, 围垦前优势种异足索沙蚕在垦后潮间带监测中未出现, 泥螺、宽身大眼蟹等成为区域生物量优势种。

2.3.2.2 生物密度及生物量

围垦后潮间带底栖生物密度有所增加, 而生物量减少, 但变化范围较小。潮间带断面监测中各类底栖生物生物量和生物密度及各断面上底栖生物生物量和生物密度分别见图 5(a)、图 5(b) 及图 6(a)、图 6(b)。

通过对比图 5(a)、图 5(b) 可知, 围垦后总生物量相对减少, 仍以软体动物为主, 但甲壳动物量增加; 通

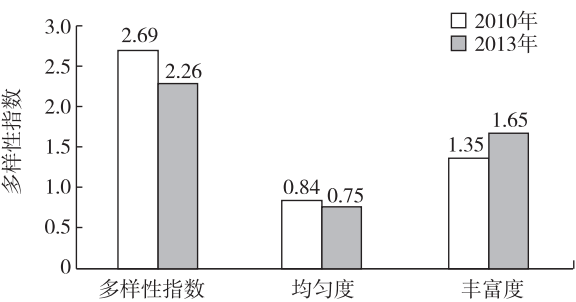


图 4 围垦前后浮游动物生物多样性指数对比

Fig. 4 Comparison of biodiversity index of zooplankton before and after reclamation

过对比图 6(a)、图 6(b)可知,条子泥一期垦区北侧围垦前后潮间带生物密度变化幅度较小,围垦后使得物种生物量减少。垦区南侧围垦后潮间带生物密度及生物量增大。

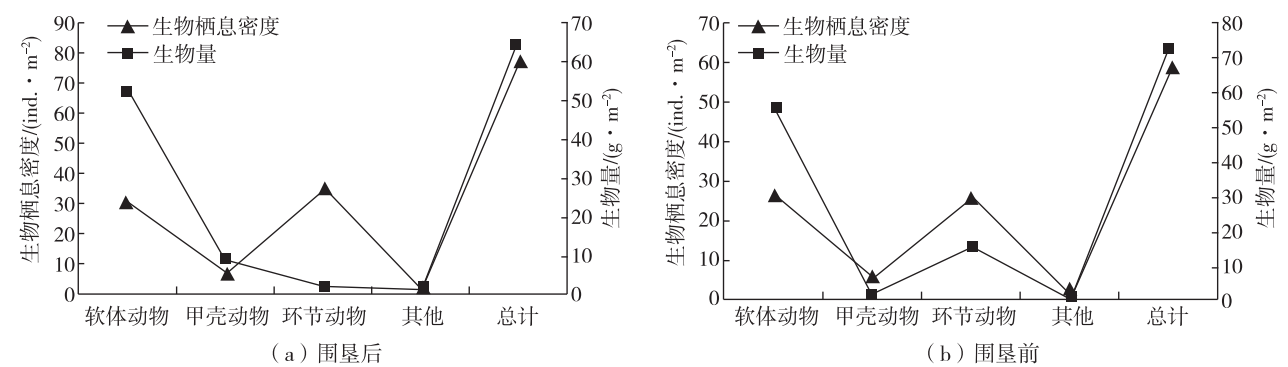


图 5 调查海域潮间带各类底栖生物生物密度和生物量

Fig. 5 Biological density and biomass of benthos in intertidal zones in investigation area

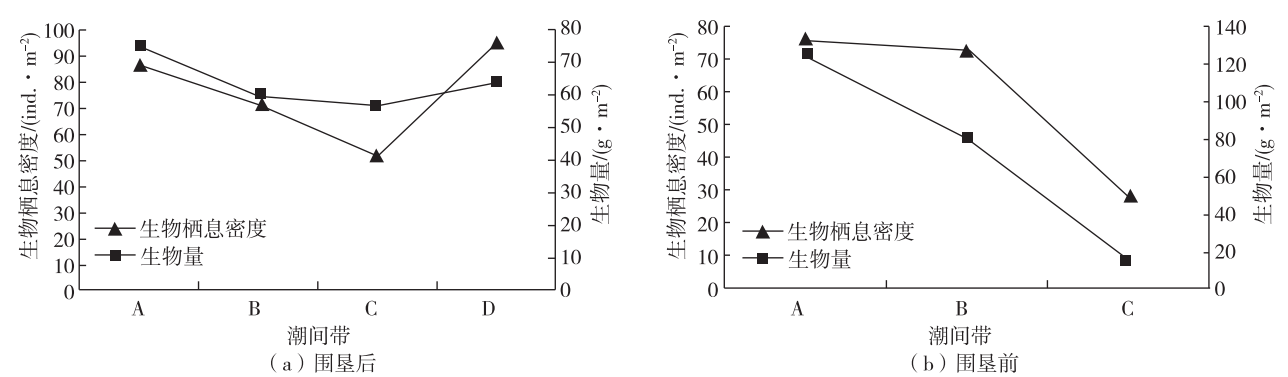


图 6 各潮间带生物量与密度分布

Fig. 6 Distribution of biomass and density in different intertidal zones

2. 3. 2. 3 多样性

围垦后潮间带底栖生物的平均多样性指数和平均均匀度指数分别为 2. 31 和 0. 88,与围垦前的 2. 27 和 0. 82 相比有所增加,但变化幅度较小。平均丰富度指数围垦后为 3. 26,与围垦前的 1. 14 相比,增加较多。

围垦工程使条子泥区域原有的底栖动物分布格局发生了改变。由于底栖动物生活所需的营养物质和食物来自于潮汐作用,而围垦施工后滩涂高程发生了变化,改变了围垦区域的潮汐动力作用,使底栖动物缺少食物来源,导致种类数发生变化、生物量和密度下降;同时滩涂促淤使底质发生改变,导致底栖动物生态环境变化,原有底栖动物中部分因不适应生态环境变化而消失,同时也会出现新的物种。

3 结 论

研究表明,围垦后各水生生物物种数、物种组成、生物密度、生物量及多样性均发生一定变化。导致这些变化的重要原因是围垦改变了滩涂高程、水动力、悬浮物、沉积物特性等多种环境因子。围垦对近海生态系统的影响可通过该区域水生生物群落及密度的变化表现出来。

a. 围垦后工程区浮游植物及浮游动物群落种类及生物密度增加,且种类组成发生变化;围垦带来的人为干扰改变了浮游植物、浮游动物的群落结构与环境之间的相关关系。

b. 底栖生物种类数减少,且分布不均匀,仅在部分站位监测到,说明围垦工程影响底栖生物分布;潮间带底栖生物围垦后种类减少,生物密度和生物量变化较小。因此必须采取科学的围垦方式,实施“生态型围垦”以保护原有生物群落并对围垦区进行生态恢复。

参考文献:

[1] 江苏省农业资源开发局.江苏沿海垦区[M].北京:海洋出版社,1999.
[2] 余海忠, 冯书才. 深圳填海工程对海水入侵的影响研究[J]. 山西建筑, 2015, 41(4) :56-58. (YU Haizhong, FENG Shucai.

- The study on seawater intrusion affected by reclamation engineering in Shenzhen[J]. Shanxi Architecture, 2015, 41(4):56-58. (in Chinese))
- [3] 张德君. 海水入侵地下水污染对土壤生态影响研究[D]. 沈阳: 辽宁师范大学, 2007.
- [4] 施文斌, 葛振鸣, 王天厚, 等. 九段沙湿地植被群落演替与格局变化趋势[J]. 生态学杂志, 2007, 26(2):165-170. (SHI Wenyu, GE Zhenming, WANG Tianhou, et al. Succession and distribution pattern of vegetation communities on Jiuduansha Wetland[J]. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26(2):165-170. (in Chinese))
- [5] 葛振鸣, 王天厚, 施文斌, 等. 崇明东滩围垦堤内植被快速次生演替特征[J]. 应用生态学报, 2005, 16(9):1677-1681. (GE Zhenming, WANG Tianhou, SHI Wenyu, et al. Secondary succession characteristics of vegetations on reclaimed land inside Chongming Wetland seawall[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(9):1677-1681. (in Chinese))
- [6] 路珊, 刘晶, 邹业爱, 等. 上海浦东东滩滩涂围垦后农业发展模式对春秋迁徙水鸟群落的影响[J]. 复旦学报: 自然科学版, 2014, 53(3):329-335. (LU Shan, LIU Jing, ZOU Yeai, et al. The Effect of Farming and Aquaculture Areas on Spring and Autumn Migratory Waterfowls in Reclaimed Dongtan Coastal Wetland of Pudong, Shanghai[J]. Journal of Fudan University: Natural Science, 2014, 53(3):329-335. (in Chinese))
- [7] 张斌. 长江口滩涂围垦后土地类型变化对水鸟的影响[D]. 上海: 华东师范大学, 2012.
- [8] 衡楠楠. 围垦下的滨海湿地水鸟群落结构与生境因子的关系分析[D]. 上海: 华东师范大学, 2012.
- [9] ZENG X M, GUAN W B, PAN C. Cumulative influence of long term reclamation on hydrodynamics in the Xiangshangang Bay[J]. Journal of Marine Sciences, 2011, 29(1): 73-83.
- [10] 谢亚力, 黄世昌, 王瑞锋, 等. 钱塘江河口围涂对杭州湾风暴潮影响数值模拟[J]. 海洋工程, 2007, 25(3):61-67. (XIE Yali, HUANG Shichang, WANG Ruifeng, et al. Numerical simulation of effects of reclamation in Qiantang Estuary on storm surge at Hangzhou Bay[J]. The Ocean Engineering, 2007, 25(3):61-67. (in Chinese))
- [11] 张弛, 郑金海, 刘桂平, 等. 江苏近岸海域水动力特征及其对围垦工程的响应[J]. 水利经济, 2012, 30(3):6-9. (ZHANG Chi, ZHEN Jinhai, LIU Guiping, et al. The hydrodynamic characteristics and their responses to reclamation project of Jiangsu coastal waters[J]. Journal of Economics of Water Resources, 2012, 30(3):6-9. (in Chinese))
- [12] 林黎, 崔军, 陈学萍, 等. 滩涂围垦和土地利用对土壤微生物群落的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(4):899-906. (LIN Li, CUI Jun, CHEN Xueping, et al. Effects of reclamation on tidal flat and land use on soil microbial community[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(4): 899-906. (in Chinese))
- [13] 江志兵, 朱旭宇, 高瑜, 等. 象山港春季网采浮游植物的分布特征及其影响因素[J]. 生态学报, 2013, 33(11): 3340-3350. (JIANG Zhibin, ZHU Xuyu, GAO Yu, et al. Distribution of net-phytoplankton and its influence factors in spring in Xiangshan Bay [J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(11):3340-3350. (in Chinese))
- [14] 王春叶, 周斌, 丁晓东, 等. 围垦对椒江口夏季浮游植物群落结构和多样性的影响[J]. 华东师范大学学报: 自然科学版, 2014, 4:141-153. (WANG Chunye, ZHOU Bin, DIN Xiaodong, et al. Effects of reclamation on phytoplankton community structure and biodiversity in Jiaojiang Estuary[J]. Journal of East China Normal University: Natural Science, 2014, 2014(4): 141-153, 179. (in Chinese))
- [15] 李强, 马长安, 吕巍巍, 等. 围垦对崇明东滩潮沟大中型浮游动物群落结构的影响[J]. 复旦学报: 自然科学版, 2012, 51(4): 515-522. (LI Qiang, MA Changan, LV Weiwei, et al. The Effect of Reclamation on Community Structure of Macro-meso Zooplankton in Tidal Creeks of the Chongming Dongtan[J]. Journal of Fudan University: Natural Science, 2012, 51(4):515-522. (in Chinese))
- [16] 李强, 马长安, 吕巍巍, 等. 南汇东滩湿地围垦水域内浮游动物群落结构的变化[J]. 应用生态学报, 2012, 23(8):2287-2294. (LI Qiang, MA Changan, LV Weiwei, et al. Variations of zooplankton's community structure in reclaimed waters of Nanhui east tidal flat of Shanghai, East China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(8):2287-2294. (in Chinese))
- [17] HENMI Yasuhisa. Influence of reclamation on the coastal environment in Hakata Bay, pParticularly the effect on benthic animals in tidal flats and shallow sea[J]. Japanese Journal of Benthology, 2002, 57:28-33.
- [18] YANG H Y, CHEN B, MARK B, et al. Impacts of tidal land reclamation in Bohai Bay, China: ongoing losses of critical Yellow Sea waterbird staging and wintering sites[J]. Bird Conservation International, 2011, 21: 241-259.
- [19] 褚克坚, 徐龙龙, 华祖林. 江苏沿海滩涂围垦区生态环境长效管理模式研究[J]. 水利经济, 2012, 30(3):76-80. (CHU Kejian, XU Longlong, HUA Zhulin. Long-term management mode for ecological environment of coastal reclamation areas in Jiangsu Province[J]. Journal of Economics of Water Resources, 2013, 29(6):36-40. (in Chinese))
- [20] SUIKKANEN S, LAAMANEN M, HUTTUNEN M. Long-term changes in summer phytoplankton communities of the open northern Baltic Sea[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2007, 71:580-592.