

海洋大型底栖动物对海岛开发的生态响应 ——以宁波大榭岛为例

赵永强^{1,2}, 寿鹿¹, 徐晓群¹, 廖一波¹, 曾江宁^{1,*}, 高爱根¹, 陈全震¹

(1. 国家海洋局海洋生态系统与生物地球化学重点实验室 国家海岛开发与管理研究中心 国家海洋局第二海洋研究所, 浙江 杭州 300012;

2. 福建省海洋环境与渔业资源监测中心, 福建 福州 350003)

摘要:以开发时间长,产业密集的国家海岛开发试点大榭岛为例分析、评价了海岛开发的潮间带和近岸海域大型底栖动物生态响应。通过对大榭岛岩礁相、泥沙相潮间带以及近岸海域大型底栖动物的物种组成、群落结构和数量分布的分析,同时与该岛周围开发程度较弱的几大海岛的类似生境中大型底栖动物状况进行比较。结果发现:(1)大榭岛岩相潮间带断面牡蛎科(Ostreidae)和藤壶科(Balanidae)等科的物种栖息密度较高,生物多样性较低;(2)泥沙相潮间带底栖动物状况与其他海岛差别不显著;(3)大榭岛近岸海域底栖动物种数少于其他海岛近岸海域,且前者不倒翁虫(*Sternaspis scutata*)和小头虫(*Capitella capitata*)等多毛类物种栖息密度较高,生物多样性较低,群落结构与其他区域相差较大;(4)环境质量的生物评价结果显示,大榭岛近岸海域扰动程度高于其他海岛近岸海域。此外,从海岛开发的规划与功能定位、工程设计与施工工艺、相关人员意识形态三方面提出了一些保护和恢复海洋生物多样性的对策。

关键词:产业集群;海岛;大型底栖动物;生态响应

Ecological response of island exploitation in marine macrozoobenthos: take Daxie Island as an example

ZHAO Yongqiang^{1,2}, SHOU Lu¹, XU Xiaqun¹, LIAO Yibo¹, ZENG Jiangning^{1,*}, GAO Aigen¹, CHEN Quanzhen¹

1 Laboratory of Marine Ecosystem and Biogeochemistry, State research centre for island exploitation and management, Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou 310012, China

2 Fujian Province Ocean Environment & Fishery Resources Monitoring Center, Fuzhou 350003, China

Abstract: As a characteristic of a long time exploitation and industry cluster, Daxie Island has been studied in the ecological response of exploitation in macrozoobenthos. Comparing with similar biotope in other adjacent islands with lower exploitation, we have analyzed the species composition, community structure, and amount distribution of marine macrozoobenthos in different biotope (cay, tide flat and sea area) in Daxie Island. The result showed that: (1) There were a higher density of Ostreidae and Balanidae and a lower biodiversity in the cay sampling section of Daxie Island. (2) No significant difference was found in the macrozoobenthos community among the tide flat sampling section in Daxie Island. (3) There was a lower macrozoobenthos species number, biodiversity, and a higher density of *Sternaspis scutata* and *Capitella capitata* than those in the sea area beside Daxie Island. Moreover, a significant difference was found in the macrozoobenthos community between the sea area of Daxie Island and the adjacent islands. (4) The biologic assessment showed more serious disturbance presented in sea area beside Daxie Island. In additional, some solutions for conservation, recovery biotope, and biological diversity were put forward.

基金项目:国家海岛专项资助项目(2011914);中国近海海洋综合调查与评价专项资助项目(908-ZC-II-04,ZJ908-01-03-7,908-01-S704,908-02-04-02);海洋公益性行业科研专项资助项目(200805069,200705015);国家海洋局第二海洋研究所基本科研业务费专项资助项目(JT0806,JG200815)

收稿日期:2008-12-04; 修订日期:2009-04-06

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

Key Words: industry cluster; island; macrozoobenthos; ecological response

海岛是海洋环境中一类特殊的地理单元,在国家经济、社会、国防和环境等方面具有重要意义。我国海岛数量多,分布广,为国民经济发展做出了巨大贡献。但海岛沿岸各种开发活动对潮间带和近岸海洋生态系统造成了巨大威胁,给环境带来诸多负面效应,如潮间带生物栖息地改变或丧失,近岸水体污染,底质环境恶化等。大型底栖动物,作为海洋生物中的一大类群,移动性差,生活周期长,在强烈环境扰动下,多样性降低,群落结构改变,群落稳定性变差,能够很好地表征海岛开发对海洋生物生态的影响。目前有关海岛潮间带和近岸海域大型底栖动物的研究多集中于其群落结构、时空分布等方向^[1-8],而有关大型底栖动物对海岛开发的生态响应的研究鲜有报道。因此,为保护海岛潮间带和近岸海域的生物多样性和生境多样性、促进海岛资源的可持续开发与管理,响应国家科学发展观的战略思想,非常有必要对海岛开发的潮间带和近岸海域大型底栖动物生态响应进行分析、评估。

研究区域位于宁波市以东,长江口和杭州湾南侧,舟山本岛附近的海域。大榭岛在开发上具有时间长,产业密集的特点,是我国海岛开发的试点。1992 年 11 月,中信公司与宁波市政府签署了成片开发宁波大榭岛的协议,1993 年 3 月 5 日,国务院批复同意由中信公司成片开发大榭岛,并享受国家级经济技术开发区政策。开发以来,大榭开发区按照“以港兴区,实业立区”战略,立足深水岸线资源优势,大力发展港口和临港工业,初步形成了临港石化、能源中转和港口物流三大产业基础,带来了巨大经济效益,但也带来了诸多环境问题。

有鉴于此,本文以大榭岛为例对海岛开发的海洋大型底栖动物生态响应进行了分析,并提出了一些海岛生物和生境多样性保护的措施,可为大榭岛以及其他海岛资源的可持续开发利用提供参考,为海岛及其近岸环境资源的保护与管理提供理论基础和建议。

1 材料与方法

1.1 研究区域

大型底栖动物采样区域位于大榭岛及其邻近的舟山岛、六横岛、梅山岛和秀山岛等 5 个海岛的潮间带和近岸海域(分别为 A、B、C、D 和 E,见图 1),其中 A 区位于大榭岛西北方向,B 区位于穿山半岛和舟山岛之间靠近舟山岛的位置,C 区位于六横岛和桃花岛之间,D 区位于梅山岛周围,E 区位于秀山岛东南方向与舟山岛邻近的位置。各采样区域均受长江冲淡水 and 浙江沿岩的影响,流场特征较为类似,潮汐类型为正规半日潮,沿岸海水悬沙含量高,水体混浊,透明度低,自然环境类似^[9]。大榭岛开发程度很高,其他海岛开发程度较低。

1.2 采样方法

大型底栖动物标本采集与分析均按《海洋监测规范》(GB17378.7—1998)及《海洋调查规范》(GB/T 12763.6—2007)进行,各区域采样时间集中于 2005—2007 年的春季。每条潮间带断面在高潮区、中潮区和低潮区各布设 1 站。岩礁相潮间带断面定量标本采集

每站位取 4 个样方,样方面积为 25 cm × 25 cm,同时在各断面广泛采集定性标本。泥沙相潮间带断面定量标本采集每站取 8 个样方,体积为 25 cm × 25 cm × 30 cm,经 0.5 mm 孔径过筛器淘洗,同时在各断面广泛采集定性标本。海域大型底栖动物标本采集每站取 2 个样方,每样方体积为 25 cm × 25 cm × 25 cm,经 0.5 mm 孔径过筛器淘洗。标本采集后均用 5% 甲醛溶液固定,之后带回实验室进行分类、计数和称重。

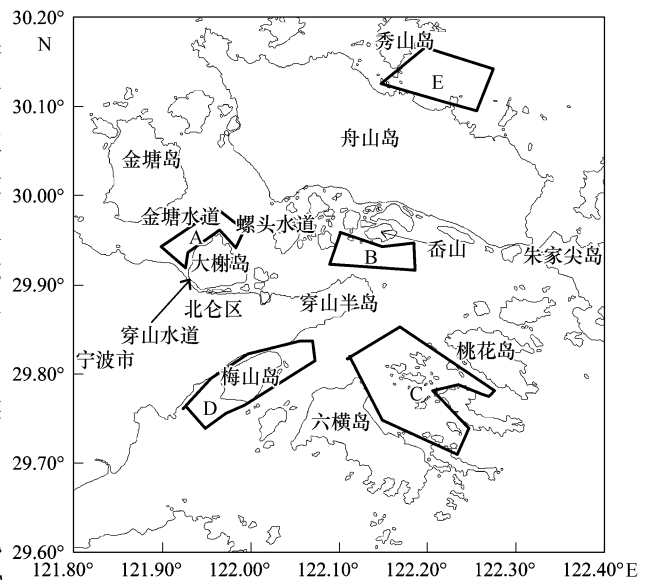


图 1 研究区域

Fig. 1 Study area

1.3 数据处理

采用 Shannon-Wiener 生物多样性指数 H' 对各生境生物多样性进行评价:

$$H' = - \sum_{i=1}^s (p_i) (\ln p_i)$$

式中, S 为每站位所包含的总物种数, P_i 为每站位中属于物种 i 的个体数占总个体数的比例。

采用 Bray-curtis 距离对大型底栖动物群落进行聚类分析:

$$S_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n |x_{ij} - x_{ik}|}{\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n |x_{ij} + x_{ik}|}$$

式中, S_{jk} 表示群落相异系数; x_{ij} 是第 j 个生境的第 i 物种栖息密度; x_{ik} 是第 k 个生境的第 i 物种栖息密度, p 是物种总数, 本文中栖息密度数据经过四次方根转化后进行上述计算。

采用栖息密度-生物量比较法 (abundance-biomass comparison, ABC method) 对各海域的水体-沉积物环境质量进行生物评价, 其原理是: 将生物量和栖息密度 K -优势度曲线绘入同一张图, 根据两曲线的相对位置可判断环境质量, 当生物量曲线位于栖息密度曲线之上, 环境质量良好或只受到轻微扰动; 反之, 栖息密度曲线位于生物量曲线之上, 则表明环境受到严重扰动; 当栖息密度和生物量曲线重合, 或出现部分交叉, 表明环境受到了中等程度扰动。此外, 两曲线的相距程度可用数值来表示 (Primer 5.0 软件中用 W 表示), W 为正或为负时分别表示生态环境趋向于上述第一和第二种状态, 绝对值越大分别表示环境越好和越坏, 以上数据处理及绘图采用 Primer 5.0 软件^[10-11]。

柱形图绘制采用 SigmaPlot 10.0 软件。

生物量和栖息密度差异的显著性分析采用单因素方差分析 (one-way ANOVA), 采用 SPSS 15.0 软件。

2 结果

2.1 种类组成

2.1.1 潮间带大型底栖动物种类组成

将各区域潮间带采样断面依据底质的差异分成岩礁相和泥沙相两类, 两种底质采样断面的大型底栖动物种类组成分别见图 2 和图 3。在各岛屿岩礁相潮间带断面, 大型底栖动物均以软体类为主, 特别是大榭岛软体类所占比例高达 84.2%, 在六横岛和秀山岛分别为 43.5% 和 69.0%; 多毛类物种只在六横岛出现; 大榭岛大型底栖动物总物种数均低于其他岛屿。在泥沙相潮间带断面, 大型底栖动物在多毛类、软体类和甲壳类等各类群中均有分布; 总物种数大榭岛最低, 六横岛最高。

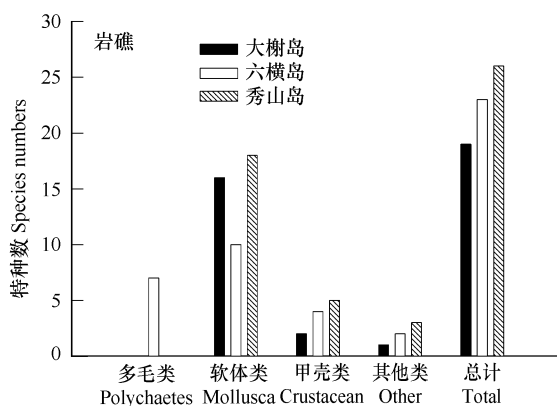


图 2 岩礁相潮间带大型底栖动物种类组成

Fig. 2 Species composition of macrozoobenthos in cay

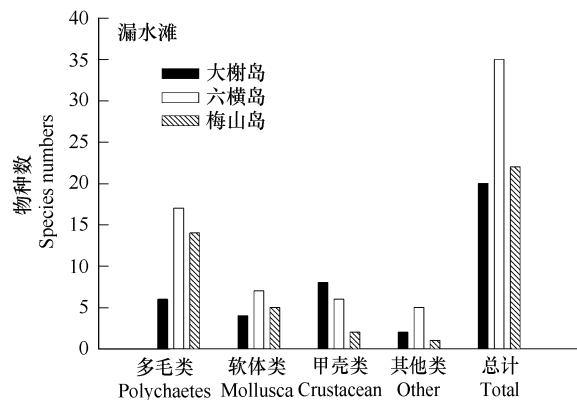


图 3 泥沙相潮间带大型底栖动物种类组成

Fig. 3 Species composition of macrozoobenthos in tide flat

2.1.2 近岸海域大型底栖动物种类组成

海域环境中,大榭岛邻近海域大型底栖动物种数均低于其他岛屿,最高出现在六横岛邻近海域,约为大榭岛的3倍左右;岙山岛和秀山岛海域未发现甲壳类动物;各采样海域而多毛类、软体类和甲壳类等各类群在各采样海域均有分布(图4)。

2.2 栖息密度和生物量

2.2.1 潮间带大型底栖动物栖息密度和生物量

岩礁相潮间带和泥沙相潮间带大型底栖动物栖息密度与生物量特征分别见图5和图6。由图5可以看出,大榭岛岩礁相断面大型底栖动物栖息密度高于其他岛屿,主要原因为中潮区的牡蛎科(*Ostreidae*)和藤壶科(*Balanidae*)以及高潮区的滨螺科(*Littorinidae*)等软体动物密度显著高于其他岛屿($P=0.013$),而生物量在各岛屿采样断面差异不显著($P=0.339$);由图6可以看出,梅山岛泥沙相断面栖息密度最高,主要原因为双鳃内卷齿蚕(*Aglaophamus dibranchis*)的栖息密度显著高于其他岛屿($P=0.007$),而大榭岛和六横岛潮间带底栖动物栖息密度和生物量差异不显著($P=0.215$)。

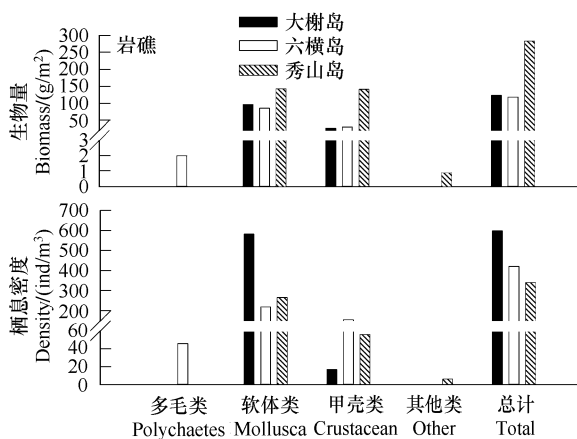


图5 岩礁相潮间带大型底栖动物栖息密度与生物量

Fig. 5 Density and biomass of macrozoobenthos in cay

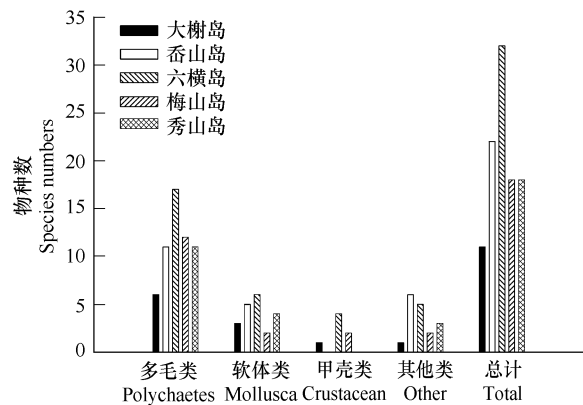


图4 海域大型底栖动物种类组成

Fig. 4 Species composition of macrozoobenthos in sea area

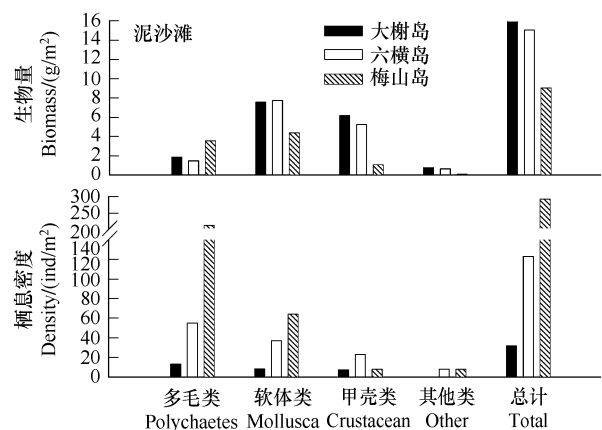


图6 泥沙相潮间带大型底栖动物栖息密度与生物量

Fig. 6 Density and biomass of macrozoobenthos in tide flat

2.2.2 近岸海域大型底栖动物栖息密度和生物量

各调查区域海域大型底栖动物栖息密度和生物量特征如图7所示,可以看出,大榭岛调查区域栖息密度高于其他区域平均水平,分别为 104 ind/m^2 和 73 ind/m^2 ,但差异不显著($P=0.214$);而生物量低于其他区域平均水平,分别为 2.48 g/m^2 和 4.93 g/m^2 ,但差异不显著($P=0.131$),主要原因为大榭岛邻近海域个体较小的不倒翁虫(*Sternaspis scutata*)和小头虫(*Capitella capitata*)栖息密度较高。在各调查区域中六横岛海域栖息密度(159 ind/m^2)和生物量(7.54 g/m^2)均为最高。

2.3 生物多样性指数

各调查区域不同生境大型底栖动物 Shannon-Wiener 指数如表1所示。岩礁相潮间带样断面大榭岛生物多样性指数低于其他岛屿,而泥沙相断面则处于其他海岛的平均水平;大榭岛近岸海域大型底栖动物生物多样性均低于其他采样区域。

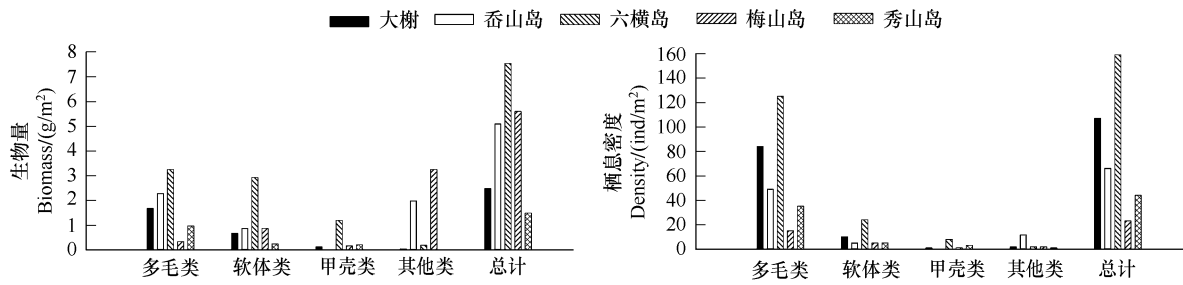


图 7 海域大型底栖动物栖息密度与生物量
Fig. 7 Density and biomass of macrozoobenthos in sea area

表 1 各区域底栖动物多样性特征

Table 1 Shannon-Wiener biodiversity of macrozoobenthos in every investigation area

生境类型 Habitat types	研究区域 Study area				
	大榭岛 Daxie Island	岙山岛 Aoshan Island	六横岛 Liuheng Island	梅山岛 Meishan Island	秀山岛 Xiushan Island
岩礁 Cay	1.53	1.85	—	1.97	—
泥沙滩 Tide flat	1.72	—	2.12	1.29	—
海域 Sea area	1.23	1.77	1.62	1.73	2.22

2.4 海域大型底栖动物群落聚类分析

采用 Bray-curtis 距离进行对各海域大型底栖动物群落差异进行分析,结果见图 8 和图 9。由图 8 可知,岙山岛近岸海域和六横岛近岸海域大型底栖动物群落最为相似(相似度高于 50%),此外,该两区域群落结构依次与梅山岛和秀山岛近岸海域比较相似,而大榭岛调查海域与其他海域群落结构相距最远(相似度小于 20%);由图 9 可以看出,Stress 值为 0.01 (当 Stress < 0.05,在二维空间,MDS 排序图能很好地表示群落间相似性与组别间的差异性),岙山岛、六横岛、梅山岛和秀山岛海域的大型底栖动物群落结构存在一定相似性,而以上各岛屿邻近海域与大榭岛海域底栖动物群落结构相差较大。

2.5 各海域环境质量的生物评价

将大型底栖动物生物量和栖息密度的 K-优势度曲线绘入同一张图(图 10),根据栖息密度-生物量比较法原理,各海域环境质量状况为:大榭岛海域为严重扰动,岙山岛、六横岛和梅山岛为中度扰动,秀山岛海域为轻度扰动。

3 讨论

3.1 海岛开发的大型底栖动物生态响应

生境破碎是生物多样性下降的重要原因^[12],主要表现为由海洋工程引起的生境丧失或片断化和由污染物排放或事故性排放造成的近岸水体污染。海岸开发从物理、化学和生物等层面均可对近岸底质环境造成较大影响,金塘水道南岸码头建设减弱了潮流的动力作用,致使大榭岛西侧浅滩加速淤长^[13],大榭岛附近水域

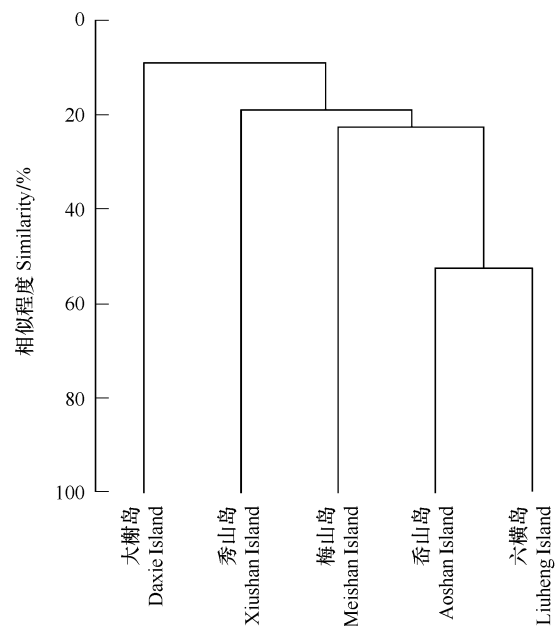


图 8 海域大型底栖动物群落聚类图
Fig. 8 The hierarchical cluster dendrogram of macrozoobenthos communities in sea area

水体环境较差,氮、磷及部分重金属显著超标^[14],以上均表明大榭岛邻近水域水体生境已经破碎化,进而会引起底质生境的破碎化^[15]。这些因素则可能导致底栖生物多样性降低,群落结构发生改变。

大榭岛环岛海岸带已按不同功能区进行开发,特别是靠近金塘水道和螺头水道两侧,大小码头广有分布,且有大规模的石化工业,产业集群程度很高,在开发过程中,对潮间带和近岸海域底质的机械扰动、污染等非常明显。大型底栖生物在物种组成、生物量和栖息密度等方面的生态响应均能较好的表征海岛开发与海岛产业集群对海洋生态的影响。

但鉴于大榭岛历史资料的匮乏,通过与大榭岛邻近

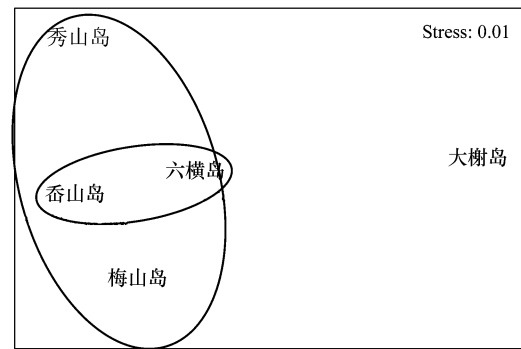


图9 海域大型底栖动物群落非度量多维排序

Fig. 9 2-dimensional No-metric multidimensional scaling of macrozoobenthos communities in sea area

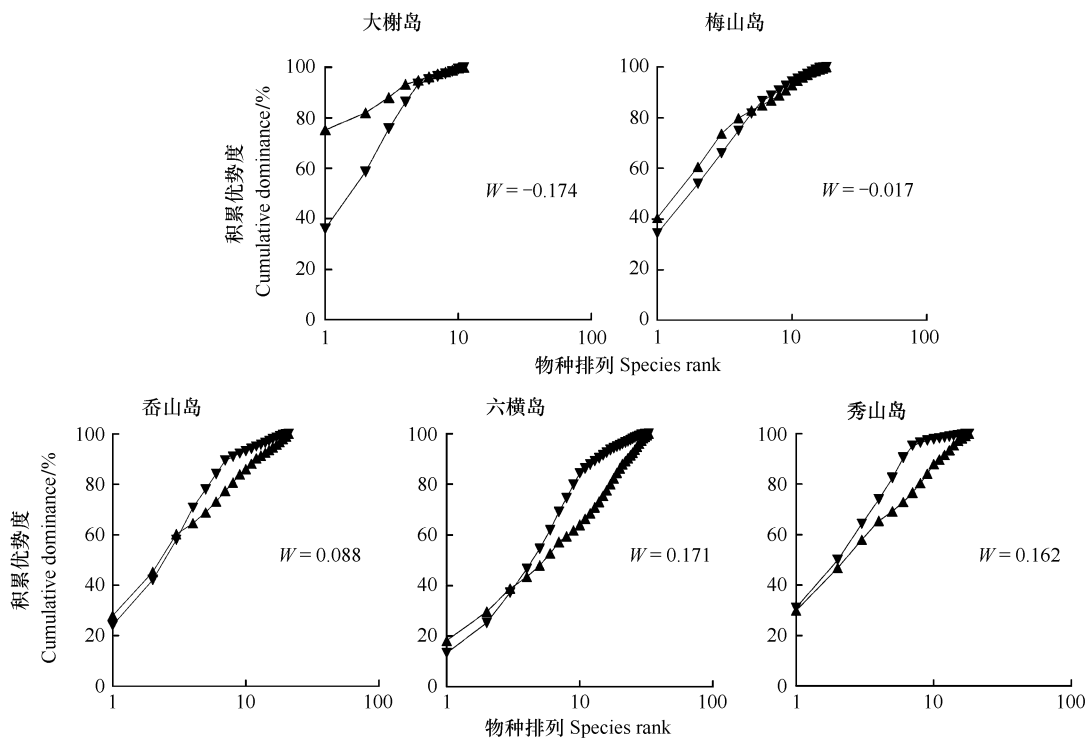


图10 栖息密度-生物量比较曲线

Fig. 10 Curves for abundance-biomass comparison

—▲— 栖息密度 density, —▼— 生物量 biomass

海岛的比较,分析了海岛开发对潮间带和近岸海域大型底栖动物的生态响应。底质不同能够显著影响底栖生物的分布^[16-17],因此本文将潮间带生物以岩礁相底质和泥沙相底质分别讨论。

由各区域大型底栖动物分布特征可以看出,大榭岛岩礁相潮间带生物种数低于其他海岛相同的底质环境,栖息密度则相反,而生物量相差不大,主要原因为调查断面由新生的堤坝或石块构成,群落演替中的先锋种牡蛎、藤壶以及滨螺的栖息密度很高,导致整体栖息密度较高,多样性因此降低。在大榭岛泥沙相断面潮间带生物种数、栖息密度和生物量与其他海岛差别不大,原因可能是调查区域距上次工程扰动的时间较长,生境得到了一定恢复,物种结构、数量和多样性得到了较大回升,有研究报道,滩涂围垦后底栖动物的恢复时间为9个月左右^[18-19]。

在海域中,大榭岛调查区域大型底栖动物种数要明显低于其他区域,栖息密度则呈现较高状态,生物量呈

较低状态,主要原因为大榭岛邻近海域不倒翁虫和小头虫等多毛类动物栖息密度较高,但由于其个体重量不大,因此在总生物量上处于较低水平,这种现象说明了大榭岛近岸海域受到了较为严重的扰动^[20],导致底栖动物种类减少,一些对环境污染耐受力较大的物种大量繁殖,从而导致生物多样性指数较低。根据各调查区域不同生境大型底栖动物 Shannon-Wiener 指数差异比较可知大榭岛邻近海域大型底栖动物多样性指数低于其邻近各海岛近岸海域。此外,海域环境质量的生物评价的结果显示,大榭岛近岸海域底质受到了严重的扰动,而其他区域也呈现出了中度或轻微的扰动,但环境要优于大榭岛邻近海域。此外,由聚类和非参数多维标度分析结果可知,大榭岛近岸海域与其他海岛近岸区域大型底栖动物群落结构差异最大,这也说明了大榭岛由于其开发时间长,产业密集等因素,海域环境质量要比其他区域更差;同时大榭岛虽然在空间位置上与岱山岛和六横岛距离较近,但大型底栖动物群落差距却最大,这一点说明了在一定空间尺度内人类活动对生物分布的影响已经超出了自然环境变化对其的影响。

3.2 生境和生物多样性的保护与恢复措施

目前有关海岛开发的生物多样性保护和恢复的报道十分少见。避免或减轻海岛开发带来的海洋生物非正常变化和生物多样性的下降的措施可以从以下几个方面来考虑:

(1) 海岛开发利用应避免全岛屿岸线的整体开发,应考虑海岛潮间带生境的适度保留,特殊的岩礁景观可考虑易地保护;必要的工程在满足项目要求的前提下尽量增加人工海岸的曲折度和平缓度,给新生底栖生物较大的生存空间;

(2) 多数底栖动物在生活史中都有或长或短的浮游幼体阶段,近岸流场的变化可能影响浮游幼体的扩散与附着,对种群延续产生不利影响,因此在工程设计时尽量避免近岸流场发生大幅改变;

(3) 施工时尽量避开海洋生物特别是生态关键种的产卵和繁殖季节,使种群能更好的繁衍;

(4) 陆上施工时靠近海域的地面应增设临时拦水土坝,以防暴雨期施工挖填的泥水流入大海,建筑垃圾、山体开挖弃渣等不能丢弃入海(可以用于围垦回填工程),尽量减少对底栖生物栖息地的占领;

(5) 强化工人安全生产意识,加大工业生产、船舶靠离码头、航行等的管理和实时监测力度,杜绝企业事故排放、船舶事故溢油等现象的发生;

(6) 宣传环保知识,强化海岛开发管理人员和施工人员的环保意识。

4 结论

产业集群开发的海岛影响着岛屿潮间带和近岸海域底栖生物多样性,一定空间尺度内人类活动对生物分布的影响已超出了自然环境变化,对其的影响表现为:岩礁相潮间带断面牡蛎、藤壶等物种栖息密度增高,生物多样性较低;近岸海域底栖生物多样性降低,群落退化现象较为明显;开发程度高的大榭岛近岸海域污染程度明显高于其他区域,以不倒翁虫、小头虫等耐污多毛类物种为主。此外,保护和恢复海岛潮间带和近岸海域生物和生境多样性可从海岛开发的规划与功能定位、工程设计与施工工艺和有关人员意识形态等三方面来考虑。

致谢:感谢胡锡钢、朱根海、江志兵等在样品采集上的帮助,感谢胡月妹、董永庭协助鉴定部分生物样品,感谢边贺东教授对写作的帮助。

References:

- [1] Troncoso J S, Aldea C. Macrobenthic mollusc assemblages and diversity in the West Antarctica from the South Shetland Islands to the Bellingshausen Sea. *Polar Biology*, 2008, 31(10): 1253-1265.
- [2] Harriague A C, Petrillo M, Croce N D, Panciroli H, Pusceddu A, Pelosi G, Danovaro R, Albertelli G. Intertidal benthic communities of two Chilean coastal islands (Santa María and Mocha, Southeastern Pacific). *Chemistry and Ecology*, 2008, 24: 119-128.
- [3] Franke HD, Gutow L. Long-term changes in the macrozoobenthos around the rocky island of Helgoland (German Bight, North sea). *Helgoland Marine Research*, 2004, 58(4): 303-310.
- [4] An C G, Zhao Y L, Lin L, Li J Y, Cui L L, Ma C Y. The biodiversity of marobenthos of intertidal zone on Chongming Island in summer. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(2): 577-586.

- [5] Hu Z Y, Li H H, Bao Y X, Ge B M. Biodiversity comparison of macrobenthic communities at tidal flat of Lingkun Island. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(4):1499-1507.
- [6] Gao A G, Yang J Y, Chen Q Z, Hu X G, Dong Y T, Hu Y M. Distribution characteristics on macrobenthos in the area near Dashan, Pingdao and Cheniushan Islands. *Acta Oceanologica Sinica*, 2003, 25(6): 136-141.
- [7] Luo M B, Lu J J, Shen X Q, Wang Y L, Xu Z L, Zhu J X. Impact of huge ocean engineering on distribution characteristics of macrobenthos in waters around Yangshan islands in Hangzhou Bay. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(1): 97-102.
- [8] Bao Y X, Ge B M, Zheng X, Cheng H Y, Hu Y Z. Seasonal variation of the macrobenthic community at east tidal flat of Lingkun Island, Wenzhou Bay. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2007, 31(3): 438-444.
- [9] Zhou H, Guo S H, Feng Z G. Islands of Zhejiang province. Beijing: Higher Education Press, 1998.
- [10] Warwick R M, Pearson T H, Ruswahyuni. Detection of pollution effects on marine macrobenthos: further evaluation of the species abundance/biomass method. *Marine Biology*, 1987, 95(2): 193-200.
- [11] Clarke K R, Warwick R M. Changes in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. 2nd Edition. PRIMER-E: Plymouth, UK. 2001:172.
- [12] Wu Z J, Li Y M. Effects of habitat fragmentation on survival of animal populations. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(11): 2425-2435.
- [13] Lu P D, Xu M. Influence of dock construction along the south shore of Jintang Channel on beach development. *Hydro-Science and Engineering*, 2002, 4: 24-27.
- [14] Zeng J N, Chen Q Z, Gao A G, Jin M M, Zhu G H, Chen J F, Liao Y B. Ecological status around Daxie Island of Ningbo. *Marine Environmental Science*, 2005, 24(4): 33-36.
- [15] Ye S F, Ding D W, Wang W H. Large-scale estuarine engineering and estuarine habitat fragmentation of water body in the Yangtze River Estuary. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(2): 268-272.
- [16] Lin W, Zhong H Y, Tang Y J. Species diversity of benthic mollusc in different habitats of Intertidal Zone In Naozhou Island. *Journal of Tropical Oceanography*, 2002, 21(3): 14-22.
- [17] Shou L, Gao A G, Zeng J N, Chen Q Z, Liao Y B, Xu X Q. The influence of the sediment environment on distribution of macrobenthos of the Intertidal Zone in Qushan Island. *Chinese Journal of Zoology*, 2007, 42(3): 79-83.
- [18] Zhang F J, Tong C F, Xie Z F, Lu J J. Application of Exergy as an indicator in the restoration of benthic fauna communities. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(5): 1910-1916.
- [19] Libralato S, Torricelli P, Pranovi F. Exergy as ecosystem indicator: an application to the recovery process of marine benthic communities. *Ecological Modelling*, 2006, 192(3-4): 571-585.
- [20] Shin P K S, Huang Z G, Wu R S S. An updated baseline of subtropical macrobenthic communities in Hong Kong. *Marine Pollution Bulletin*, 2004, 49(1-2): 128-135.

参考文献:

- [4] 安传光, 赵云龙, 林凌, 李嘉尧, 崔丽丽, 马春艳. 崇明岛潮间带夏季大型底栖动物多样性. *生态学报*, 2008, 28(2):577-586.
- [5] 胡知渊, 李欢欢, 鲍毅新, 葛宝明. 灵昆岛围垦区内外滩涂大型底栖动物生物多样性. *生态学报*, 2008, 28(4):1499-1507.
- [6] 高爱根, 杨俊毅, 陈全震, 胡锡钢, 董永庭, 胡月妹. 达山岛、平岛、车牛山岛邻近海域大型底栖生物分布特征. *海洋学报*, 2003, 25(6): 136-141.
- [7] 罗民波, 陆健健, 沈新强, 王云龙, 徐兆礼, 朱江兴. 大型海洋工程对洋山岛周围海域大型底栖动物生态分布的影响. *农业环境科学学报*, 2007, 26(1):97-102.
- [8] 鲍毅新, 葛宝明, 郑祥, 程宏毅, 胡一中. 温州湾灵昆岛东滩潮间带大型底栖动物群落的季节动态. *水生生物学报*, 2007, 31(3): 438-444.
- [9] 周航, 国守华, 冯志高. 浙江海岛志. 北京: 高等教育出版社, 1998.
- [12] 武正军, 李义明. 生境破碎化对动物种群存活的影响. *生态学报*, 2003, 23(11): 2425-2435.
- [13] 陆培东, 徐敏. 金塘水道南岸码头建设对岸滩动态的影响. *水利水运工程学报*, 2002, 4: 24-27.
- [14] 曾江宁, 陈全震, 高爱根, 金明明, 朱根海, 陈建芳, 廖一波. 宁波大榭岛邻近水域生态现状. *海洋环境科学*, 2005, 24(4): 33-36.
- [15] 叶属峰, 丁德文, 王文华. 长江河口大型工程与水体生境破碎化. *生态学报*, 2005, 25(2): 268-272.
- [16] 林炜, 钟海莹, 唐以杰. 硃洲岛潮间带不同生境底栖软体动物物种多样性研究. *热带海洋学报*, 2002, 21(3): 14-22.
- [17] 寿鹿, 高爱根, 曾江宁, 陈全震, 廖一波, 徐晓群. 底质环境对浙江衢山岛潮间带大型底栖动物分布的影响. *动物学杂志*, 2007, 42(3): 79-83.
- [18] 章飞军, 童春富, 谢志发, 陆健健. Exergy 作为生态学指标用于底栖动物群落恢复监测. *生态学报*, 2007, 27(5): 1910-1916.