

大亚湾大型底栖动物的群落结构

杜飞雁^{1,2}, 王雪辉¹, 李纯厚¹, 张汉华¹, 贾晓平^{1,*}

(1. 农业部渔业生态环境重点开放实验室, 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东广州 510300;

2. 厦门大学海洋学院博士后流动站, 福建厦门 361005)

摘要: 利用 2004 年 3 月、5 月、9 月和 12 月的大型底栖动物定量采样数据, 对大亚湾大型底栖动物的群落结构进行研究。结果表明, 大亚湾大型底栖动物大致可分为 3 个群落, 分别分布于湾顶及湾中大部分海域、湾中部和湾口海域, 湾中部海域群落的变化较为显著。大型底栖动物整体群落结构的季节变化总体较小, 但雨季对大型底栖动物群落的影响较大, 存在较明显的干湿季差异。大亚湾海域生态环境受到明显的扰动, 处于扰动状态中的大型底栖动物群落稳定性较差; 湾顶和湾中大部分海域内的群落 I, 为大亚湾的主体群落, 以软体动物为主, 种类组成单一、季节变化小, 以小鳞帘蛤 *Veremolpa micra* 和粗帝汶蛤 *Timoclea scabra* 为特征种。该群落的稳定性最差, 处于较强烈的扰动之中; 稳定分布于湾口的群落 III 稳定性最好, 未受到扰动, 以多毛类为主, 种类组成较为复杂、变化较大; 湾中部海域大型底栖动物群落结构变化较为复杂, 主要变化区域为马鞭州附近海域。该群落系经强烈的人为扰动后, 经次生演替而形成的新群落, 其种类组成的季节变化非常显著, 各季的种类几乎完全不同, 群落的独立性和抗干扰能力均较弱; 与 1980's 相比, 大亚湾大部分区域内大型底栖动物基本保持了原有的群落, 但群落稳定性大幅下降, 群落的分布范围和种类组成发生较大程度的改变, 主体群落组成呈明显的简单化趋势。在人类活动影响下, 湾内同一区域内群落完全演替、湾中部海域出现新的群落。

关键词: 大型底栖动物; 群落结构; 大亚湾; 南海北部

文章编号: 1000-0933 (2009) 03-1091-08 中图分类号: Q145 文献标识码: A

Macrobenthic community structure in Daya Bay, South China Sea

DU Fei-Yan^{1,2}, WANG Xue-Hui¹, LI Chun-Hou¹, ZHANG Han-Hua¹, JIA Xiao-Ping^{1,*}

1 Key Laboratory of Fishery Ecology Environment, Ministry of Agriculture, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Science, Guangzhou 510300, China

2 Post-doctor Research Station, Ocean College, Xiamen University, Xiamen 361005, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(3): 1091 ~ 1098.

Abstract: Based on macrobenthos samples collected from 4 survey cruises at 40 research stations in March, May, Sept. and Dec. 2004 in Daya Bay, South China Sea, the community structure of macrobenthos was studied. The result showed that macrobenthos community in Daya Bay can be divided into three groups from the inner bay to the main area of the central bay, the central bay and outer bay. The effect of changes between wet and dry seasons on the macrobenthos community structure in Daya Bay was relatively stronger, although seasonal effect on the overall community structure was small. Daya Bay was shown to be ecologically disturbed and the stability of macrobenthic community was weak. Specifically, the inner bay and main area of the central bay was strongly disturbed and was dominated by Group I community that was characterized as simple low stability and dominated by molluscs. Dominant species were *Veremolpa micra* and *Timoclea scabra*. The outer bay received little disturbance and the community was most stable. The community belongs to Group III that was dominated

基金项目: 中央级公益性科研院所专项基金资助项目 (2007ZD08, 2007ST08); 国家科技部公益资助项目 (2005DIB3J020); 广东省重大科技兴海资助项目 (A200099E01); 国家农业部海洋与河口渔业重点开放实验室基金资助项目 (开-2-04-15); 国家农业部渔业生态环境重点开放实验室开放基金资助项目 (2004-2, 2005-2)

收稿日期: 2007-08-10; 修订日期: 2008-11-13

致谢: 加拿大哥伦比亚大学渔业中心 William W. L. Cheung 博士对英文摘要进行润色、修改, 特此谢忱!

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jiaxiaoping53@163.com

by polychaete and characterized as complicated and variable. The community change in the central bay was more complicated, concentrated mainly around Maiban Zhou. Its community structure was strongly affected by human disturbance and largely different from other community groups. Species composition of the group was variable which differed largely between seasons. The stability and resilience of the community is low. The current macrobenthic community in Daya Bay is different from the 1980s' state with largely different species composition, reduced community stability and complexity. Overall, under human disturbance, the macrobenthos community in Daya Bay, and particularly in the central bay, changed to a totally different structure.

Key Words: macrobenthos; community structure; Daya Bay; South China Sea

生物群落和种群动态变化的研究,对合理开发和利用海洋生物资源有重要意义。底栖生物作为生态系统的重要组成,其群落结构是认识海洋环境特点、预测环境质量的重要指标。此外,通过对其长期、连续的观测可以发现生态系统对外界胁迫因子(包括自然的、人为的干扰)的响应与反馈机制^[1,2]。大亚湾是广东省最为重要的海湾之一,同时也是广东省水产资源自然保护区(1983年)。但在过度的人为扰动下,目前该海湾生态系统正经历着快速退化的进程^[3,4]。底栖动物作为重要的环境变化指示生物,历史上对其群落结构曾有过研究^[5],但近 20a 内未有相关研究报道。本文以 2004 年 4 个季度月在大亚湾海域开展的大型底栖动物定量调查数据为基础,对大亚湾大型底栖动物群落结构进行分析,并与历史资料对比,探讨其变化情况,为海湾生物群落的动态变化及演替提供基础资料、为底栖动物群落对人类活动的响应奠定基础。

1 材料与方法

1.1 站位布设

2004 年 3 月、5 月、9 月和 12 月在大亚湾设置 11 个测站对大型底栖动物进行了定量采样,站位分布见图 1。其中,3 月和 5 月份的采样站位为 S1 ~ S11,9 月和 12 月份的采样站位为 S1 ~ S7、S9 和 S10,4 个航次共计 40 个站次。调查站位分布于大亚湾的大部分海域,基本上反映了大亚湾大型底栖动物的状况。

1.2 样品采集、处理和分析

采样使用“大洋-50 型”采泥器,每站取样 2 次,合并为 1 个样品,用 1mm 孔径的网筛分选样品。样品的处理、保存、计数等均按《海洋调查规范》^[6]操作。

1.3 数据处理

群落结构的多变量分析采用非参数多变量群落结构分析方法,为减少机会种对群落结构的干扰,去除在总丰度中相对丰度 < 10% 的种。之后对种类丰度进行开四次方根转换,以平衡优势种和稀有种在群落中的作用。

1.3.1 群落划分

对转化后的结果计算站位间 Bray-Curtis 相似性系数,构建相似性矩阵,根据相似性矩阵,进行组间平均聚类(Group average cluster)分析和非度量多维标度排序 MDS(Non-metric multi-dimensional scaling)分析。该方法常用于大型底栖动物群落结构分析^[7~10]。

1.3.2 群落结构的差异和相关性检验

通过 ANOSIM(analysis of similarities)分析检验不同季节不同站位之间群落结构差异的显著性,群落间的相关性检验用 RELATE 分析,通过 SIMPER(species contributions to similarity)了解表征的物种(累积贡献率 ≥ 5%)和造成群落差异的物种。

1.3.3 群落稳定状况

通过丰度生物量法 ABC 曲线(abundance-biomass comparison curves)对群落的稳定性和受扰动状况进行分析。

上述计算分析使用 PRIMER V5.2 软件完成,图件由 Surfer 8.0、Power Point 和 PRIMER V5.2 软件绘制。

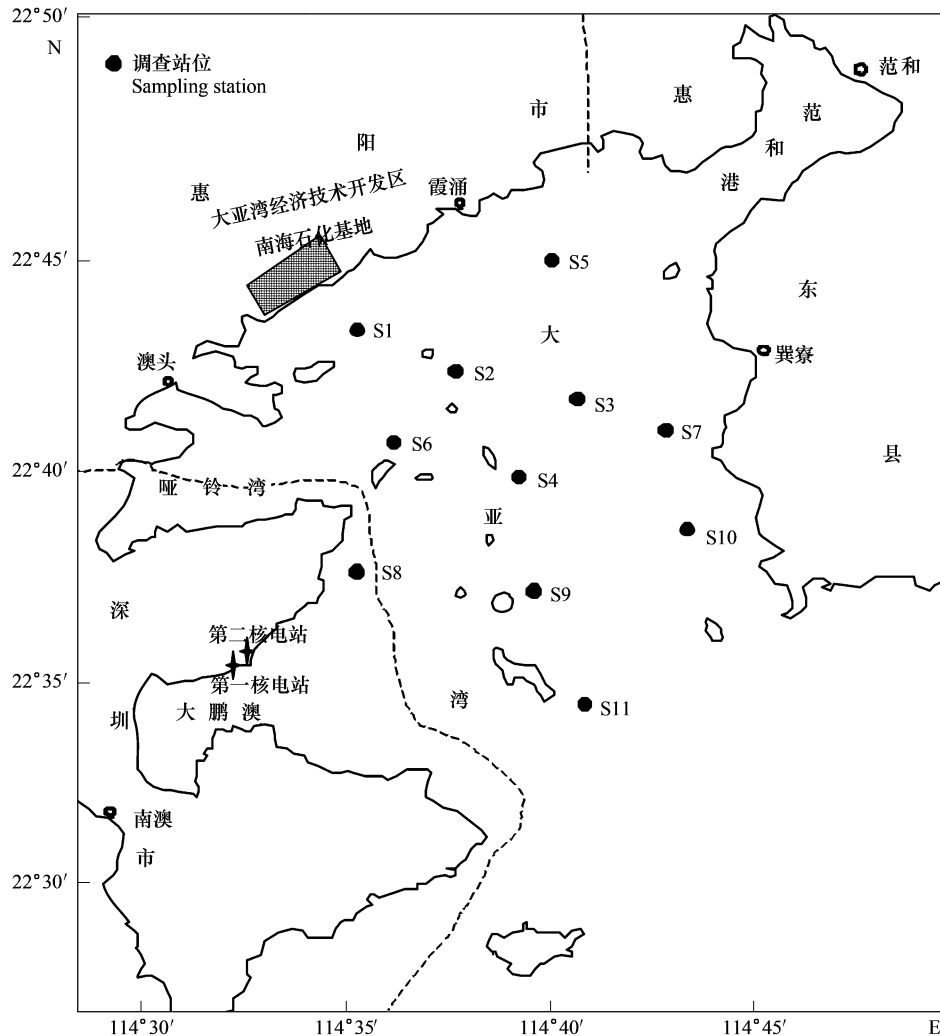


图1 大亚湾调查站位设置示意图

Fig. 1 Sketch map of Sampling stations

2 结果

2.1 群落划分

图2是对各季在总丰度中所占比例在10%以上的大型底栖动物丰度的相似性矩阵,进行聚类分析和MDS分析的结果。各季大型底栖动物群落聚类分析和MDS分析结果基本一致,表明该图形很好地反映了群落间的相似性程度。

冬季大亚湾大型底栖动物可分为4个群落,群落I由S1、2、3、5、6、7和S8组成,群落II由S4和S10组成。S11、S9与群落I和II的差距较大,分别形成群落III和群落IV;春季群落结构有所变化,冬季的群落II发生分化,S10与群落I的相似性明显提高而并入群落I,S11、S9之间的相似性增加而形成群落III。如此,春季可分为3个群落,群落I由S1、2、3、5、6、7、8和S10组成,S4形成群落II,S11和S9构成群落III;夏季可划分为3个群落,群落I由S1、2、3、4、5、6和S9组成,S7构成群落II,S11形成群落III;秋季依然可划分为3个群落。群落I由S1、2、3、5、6、7和S9组成,群落II和群落III分别由S4和S11构成。One-way ANOSIM检验表明,各群落间的差异极为显著(冬季: $R=0.96, p=0.001$;春季: $R=0.99, p=0.002$;夏季: $R=0.86, p=0.03$;秋季: $R=0.87, p=0.03$)。

2.2 群落的空间分布和特征种

从各季群落的分布情况来看,大亚湾湾顶和湾口海域内大型底栖动物基本上分属于2个群落-群落I和

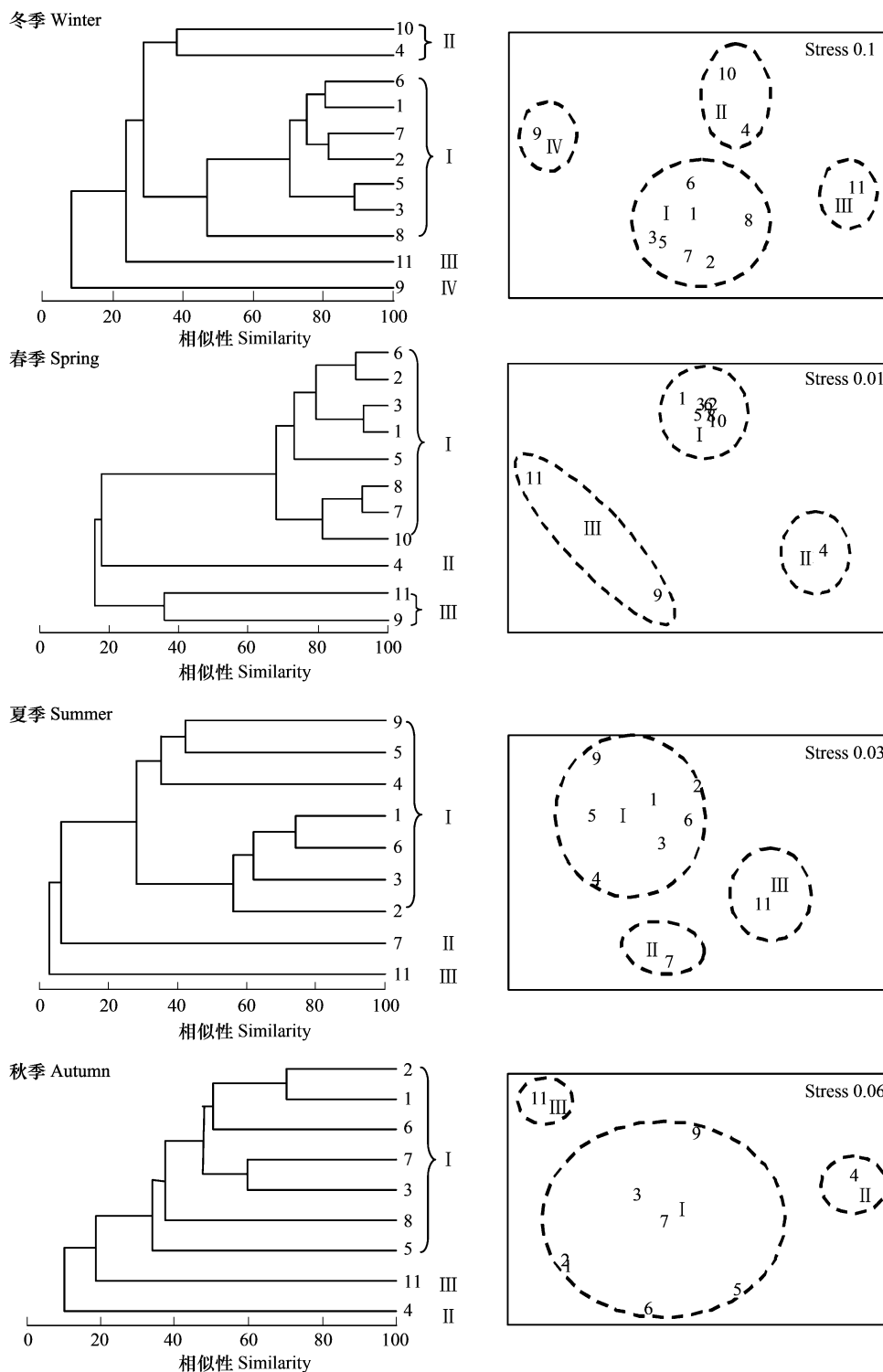


图2 大亚湾大型底栖动物群落结构的聚类分析和序列分析图

Fig. 2 Cluster and MDS ordination of macrobenthos of Daya Bay

群落Ⅲ。而湾中部海域内大型底栖动物群落季节变化较大,尤其是马鞭州附近海域。冬季湾中部大型底栖动物分化为2个群落,其它季节为1个群落,但该群落的位置变动大,见图3。

群落Ⅰ是大亚湾大型底栖动物的主体群落,其分布范围最广,但其特征种类以软体动物为主,组成单一、季节变化小。该群落主要由小鳞帘蛤 *Veremolpa micra* 和粗帝汶蛤 *Timoclea scabra* 组成,对群落Ⅰ的贡献率超

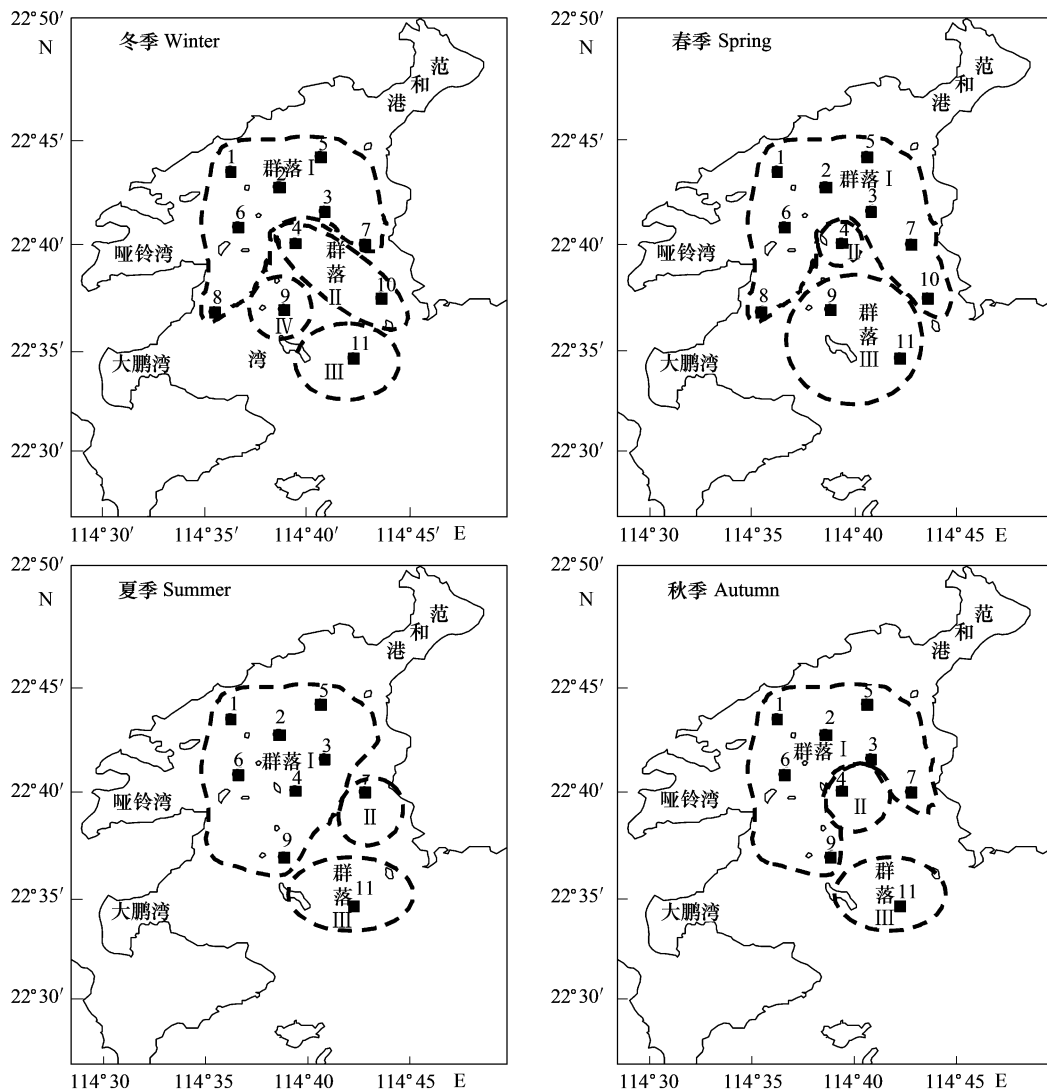


图3 大亚湾大型底栖动物群落空间分布示意图

Fig. 3 Spatial distribution of macrobenthic communities of Daya Bay

过 67%, 季平均贡献率为 87.5%, 冬季高达 99.6%。但群落 I 特征种的组成有明显的干湿季差异, 干季(冬、春)特征种组成较为简单, 仅有小鳞帘蛤和粗帝汶蛤 2 种; 湿季(夏、秋)特征种组成较为丰富, 除上述 2 种外, 夏季还增加了光滑倍棘蛇尾 *Amphipholis laevis*, 秋季增加了棒锥螺 *Turritella bacillum* 和中国小铃螺 *Minolia chinensis*。

稳定分布于湾口的群落 III, 其主要种类(丰度 $> 10 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$) 组成较为复杂且变化较大。冬季, 有粗帝汶蛤、黄短口螺 *Inquistor flavidula*、四角细带螺 *Fasciolaria trapezium* 和陷顶伶仃榧螺 *Oliva mustelina concavospira* 4 种(丰度均为 $10 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$); 春季, 群落 III 的主要种类为短吻铲荚蛭 *Listriolobus brevirostris*、简毛拟节虫 *Praxillella gracilis* 和美女白樱蛤 *Macoma candida*; 夏季, 群落 III 主要种类有假奈拟塔螺 *Turricula nelliae spurius*、曲强真节虫 *Euclymene lombricoides*、西格织纹螺 *Nassarius siquinjorensis* 和长锥虫 *Haploscoloplos elongatus*; 秋季, 群落 III 主要种类为弦毛内卷齿蚕 *Aglaophamus lyrochaeto*、中国小铃螺和长锥虫。由此可见, 群落 III 以多毛类为主。

湾中部海域大型底栖动物群落结构变化较为复杂。冬季, 湾中部海域内大型底栖动物分化为 2 个群落, 马鞭州以东至桑州之间的海域属群落 II, 辣甲群岛附近海域则属群落 IV。群落 II 的特征种为粗帝汶蛤和弦毛内卷齿蚕(贡献率 = 100%), 群落 IV 的主要种类为短吻铲荚蛭; 春季, 湾中部的马鞭州附近海域属一个群落-群

落Ⅱ,其主要种类为光滑倍棘蛇尾和异蚓虫;夏季,随着群落Ⅰ分布范围向南的扩张,马鞭州和辣甲群岛附近海域均并入群落Ⅰ,而湾东南近岸海域独立形成群落Ⅱ,其主要种类为泡状薄壳鸟蛤 *Fulvia bullata*;秋季,湾顶和湾中大部分海域均属群落Ⅰ,而马鞭州附近海域又独立形成群落Ⅱ,其种类组成也发生较大变化,由丰度均为 $10 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$ 的梳鳃虫 *Terebellides stroemii*、模糊新短眼蟹 *Neoxenophthalmus obscurus*、美叶雪蛤 *Clausinella calophylla* 和假奈拟塔螺组成。由此可见,湾中部群落发生变化的区域主要是马鞭州附近海域,其种类组成的季节变化非常显著,各季的主要各类几乎完全不同。大亚湾气候受海洋季风影响,干湿季非常明显^[11]。在大亚湾干、湿季开始的12月和5月,该海域内大型底栖动物独立形成一个群落,而在干、湿季的2个极端月份——9月和3月,该独立群落消失,并入附近的其它群落。

2.3 群落的稳定性

各季全海域的ABC曲线均出现明显的翻转和交叉,表明大亚湾大型底栖动物群落始终处于扰动状态中,反映出大亚湾海域生态环境受到明显的扰动。就各个群落来看,以分布于湾口的群落Ⅲ稳定性最好,未受到扰动;而分布于湾顶和湾中大部分海域内的群落Ⅰ稳定性最差,始终处于明显的扰动状态中,各季中以夏季受到的扰动为最强烈;湾中部群落的稳定性较好,有明显的干湿季变化。干季(12、3月份)群落稳定性好,处于未扰动状态中。而湿季(5、9月份)群落稳定性大幅下降,在9月份则处于明显的扰动状态下、稳定性差,见图4。由此看来,大亚湾大型底栖动物群落的稳定性由湾顶至湾口、由沿岸至远岸呈增加的趋势,大亚湾海域生态环境的受扰动程度由湾顶至湾口、由沿岸至远岸逐渐增大。

3 讨论

3.1 与历史资料比较

1988~1989年对大亚湾大型底栖动物群落结构的研究范围覆盖全湾,整个大亚湾大型底栖动物分为6个群落。在本次研究区域内有3个群落,分别为:分布于湾顶沿岸亚州($E114^{\circ}36'39''$, $N22^{\circ}41'44''$)至巽寮湾连线以北区域内的群落Ⅵ,分布于大亚湾中、南部大范围海域内的群落Ⅲ和分布于湾东部近岸局布海域内的群落Ⅳ^[5]。与本次研究结果相比,大亚湾大型底栖动物群落发生了较大的改变。湾顶沿岸的群落分布范围显著扩大后,成为大型底栖动物的主体群落。该群落的特征种依然为小鳞帘蛤,但多毛类原有的优势地位完全丧失,软体动物几乎成为唯一的主要类群;随着湾顶群落的南扩,1988年的主体群落-群落Ⅲ分布范围压缩至湾口海域,种类组成中依然为多毛类占优,但原先的特征种小鳞帘蛤在该群落内完全消失;分布于湾东部近岸局布海域内的群落Ⅳ,2004年仅于冬季和夏季在该区域有出现,但特征种和主要种类完全不同。1988年以多毛类和甲壳动物占优,特征种为欧努菲虫。2004年软体动物数量占优,特征种为粗帝汶蛤。表明该区域的大型底栖动物群落基本上已经完成了整个的演替;而马鞭州附近的群落则属于完全新生的群落,其种类组成变化明显。1988年该区域的大型底栖动物属于群落Ⅲ,以小鳞帘蛤为特征种,数量以多毛类占优与2004年该群落的情况完全不同。

大亚湾大部分区域内大型底栖动物基本保持了原有的群落,但群落的分布范围和种类组成发生较大幅度的改变,主体群落组成呈明显的简单化趋势、同一区域内群落完全演替、湾中部海域出现新的群落。大亚湾大型底栖动物群落结构如此显著变化,反映出该海域环境发生了巨大的改变。1988年大亚湾大型底栖动物各群落种数均为多毛类>软体动物>甲壳动物>棘皮动物,反映出大亚湾生态环境稳定,有利于底栖动物的生长,维持良好的生态平衡。目前各群落均以软体动物的种类数占优,其次是多毛类、甲壳动物和棘皮动物,ABC曲线反映出大亚湾大型底栖动物群落稳定性差、处于明显的扰动状况之中。虽然两次调查所用网筛尺寸有所差异,但仍可反映出十余年间大亚湾环境发生了较大幅度的改变,由稳定向不稳定状态转化。

3.2 人类活动对群落变化的影响

大亚湾内大型底栖动物群落结构变化最显著的区域为马鞭州附近海域,该群落是自20世纪90年代后新出现的群落,其种类组成季节差异显著、群落结构的独立性和抗干扰能力较弱。此外,分布于湾东部近岸局布海域内群落的变化也较为显著,在过去的十余年间几乎完成了整个群落的演替。从宏观的角度来看,这两个

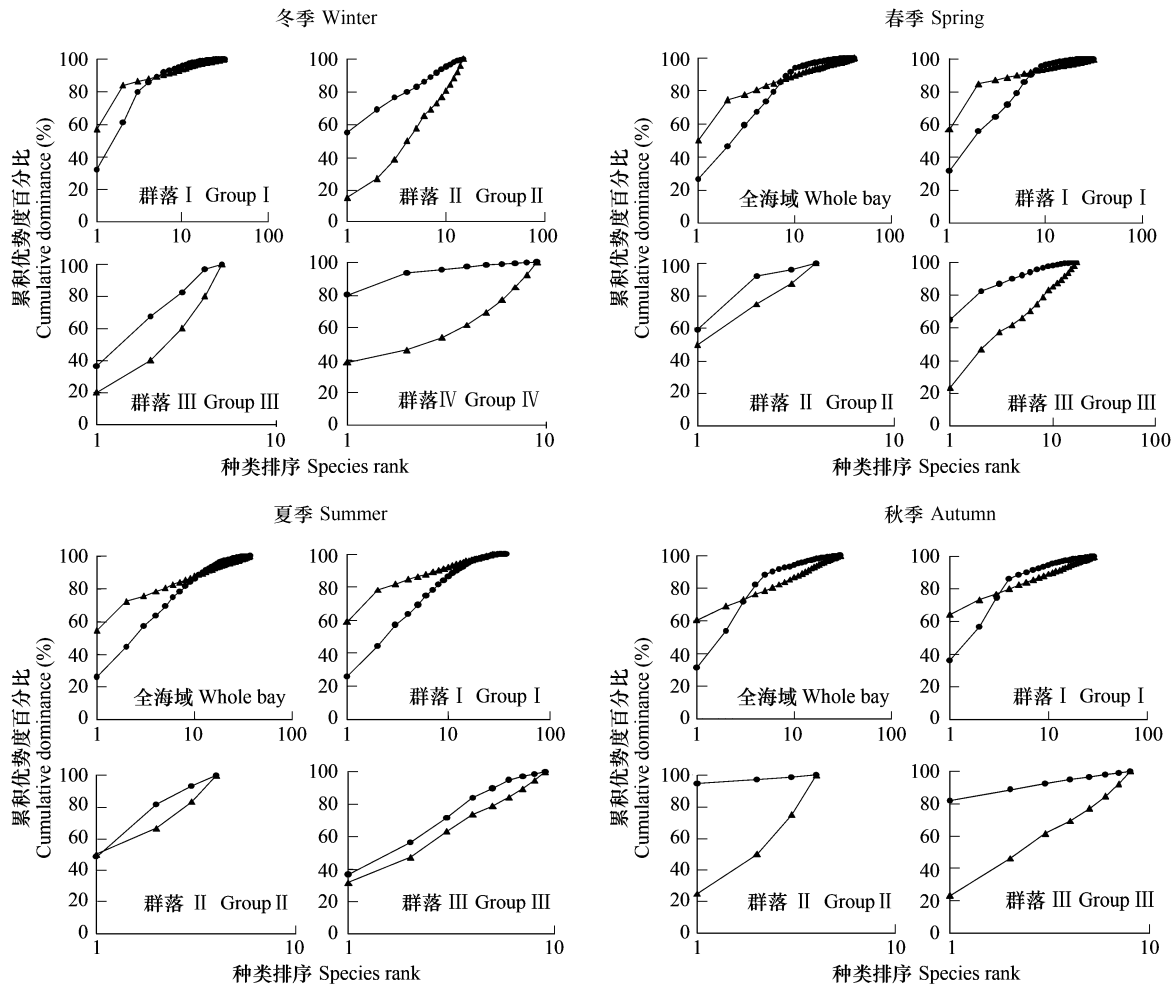


图4 大亚湾大型底栖动物群落 ABC 曲线

Fig. 4 ABC curves of macrobenthic communities of Daya Bay

区域均为受人类活动影响最显著的区域。

因大型工程建设的需要,马鞭州分别于1994年9月和11月,实施了两次较大规模的爆破工程,爆破引起的泥沙悬浮、水体混浊、水质下降等,对生态环境都是严重的干扰。底栖无脊椎动物逃避能力有限,扰动对其影响最为直接和显著。据现场观测表明对底栖生物群落影响较大^[12]。虽然通过近10a的时间该区域的大型底栖动物群落有所恢复,但强烈的人为扰动改变了其群落的自然演替过程。这可能就是造成马鞭州附近海域大型底栖动物群落明显不同大亚湾其它海域群落的原因所在。此外,次生演替的群落抗干扰能力明显弱于其它群落。大亚湾东部近岸海域底质多为砂质,甲壳动物资源较为丰富,是大亚湾虾拖船作业的主要渔场。在频繁的渔业活动对底质的强烈翻耙作用下,该区域的大型底栖动物快速完成了整个群落的演替。

3.3 群落结构的季节变化

通过RELATE检验,对各季节丰度的相似性矩阵进行Spearman相关分析结果表明,大亚湾大型底栖动物群落结构的季节变化总体较小、较为稳定。其中,在冬、春和夏季这3个季节间大型底栖动物群落间变化很小、群落结构的相似性程度较高。冬季和春季之间的相关性极为显著, $R=0.57$, $p=0.01$;春季和夏季之间的相关性也达到了显著水平, $R=0.47$, $p=0.04$ 。虽然夏季和秋季之间的也有一定的相似性,但相关关系未达到显著水平($R=0.34$, $p=0.08$),表明夏、秋之间群落的差异较大。在大亚湾雨季最强盛的夏季,大型底栖动物群落稳定性下降、受扰动范围和程度明显增强。而在雨季结束后,群落发生较大的变化、群落的稳定性也有所回升,表明雨季对大亚湾大型底栖动物群落的影响较大。大亚湾雨季的降水量占全年的80%以上,海水环

境的干湿季变化非常明显^[13]。从群落的种类组成、稳定性和相似性来看,大亚湾大型底栖动物群落也存在明显的干湿季变化。

References:

- [1] Zhang Z N, Tu L H, Yu Z S. The pilot study on macrobenthos in estuary of Yellow River and adjacent area (I) Biomass. Ocean University of Qingdao, 1990,20(1) :37—45.
- [2] Zhang Z N, Tu L H, Yu Z S. The pilot study on macrobenthos in estuary of Yellow River and adjacent area (II) The relation of biology and sediment environment. Ocean University of Qingdao, 1990,20(2) : 45—52.
- [3] Wang Z D, Lian J S, Hu J X, *et al.* Characteristics of degraded ecosystem in Daya Bay China. Ecologic Science, 2003.22(4) :313—320.
- [4] Wang Y S, Wang Z D, Huang L M. Environment changes and trends in Daya Bay in recent 20 years. Journal of Tropical Oceanography, 2004, 23(5) :85—95.
- [5] Jiang J X, Cai E X, Wu Q Q, *et al.* Analysis of benthic community structure in Daya Bay. Collections of papers on marine ecology in the Daya Bay (II). Beijing: Marine press, 1990. 235—247.
- [6] National technic supervise bureau. Specifications for oceanographic survey- marine biology survey. Beijing: China criterion press, 1991.
- [7] Han J, Zhang Z N, Yu Z S. Macrobenthic community structure in the southern and central Bohai Sea, China. Acta ecologica sinica, 2004,24(3) : 531—537.
- [8] Yuan W, Zhang Z N, Yu Z S, *et al.* A study of macrofauna in the Northwest of Jiaozhou Bay. Periodical of Ocean University of China, 2006,36 (Sup.) :91—97.
- [9] Yuan X Z, Lu J J. Influence of diking on the benthic macro-invertebrate community struture and diversity in the south bank of Changjiang Estuary. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(10) : 1642—1647.
- [10] Sun Y W, Cao L, Qing Y T, *et al.* Analysis of macrobenthos community structure in the adjacent sea aera of Changjiang River Eastuary. Marine Science Bulletin, 2007,26(2) :66—70.
- [11] The group of island resource survey in Guangdong. The report of island resource survey in Daya Bay. Guangdong: Science and Technology Press, 1993. 19.
- [12] Jia X P, Lin Q, Cai W G. Evaluation of the impact of large explosion at Mabianzhou Island on the neighboring aquatic environment and marine organisms in Daya Bay. Journal of Fisheries of China, 2002,26(4) :313—320.
- [13] Wu M L, Wang Y S. Using chemometrics to evaluate anthropogenic effects in Daya Bay, China. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 72 (2007) : 732—742.

参考文献:

- [1] 张志南,图立红,于子山. 黄河口及其邻近海域大型底栖动物的初步研究(一)生物量. 青岛海洋大学学报,1990,20(1) :37~45.
- [2] 张志南,图立红,于子山. 黄河口及其邻近海域大型底栖动物的初步研究(二)生物与沉积环境的关系. 青岛海洋大学学报,1990,20(2) : 45~52.
- [3] 王肇鼎,练健生,胡建兴,等. 大亚湾生态系统退化特征. 生态科学,2003.22(4) :313~320.
- [4] 王友绍,王肇鼎,黄良民. 近20年来大亚湾生态环境的变化及其发展趋势. 热带海洋学报,2004,23(5) :85~95.
- [5] 江锦祥,蔡尔西,吴启泉,等. 大亚湾底栖动物群落结构分析. 大亚湾海洋生态文集(II). 北京:海洋出版社,1990. 235~247.
- [6] 国家技术监督局. 海洋调查规范——海洋生物调查. 北京:中国标准出版社,1991.
- [7] 韩洁,张志南,于子山. 渤海中、南部大型底栖动物的群落结构. 生态学报, 2004,24(3) :531~537.
- [8] 袁伟,张志南,于子山,等. 胶州湾西北部海域大型底栖动物群落研究. 中国海洋大学学报,2006,36(增刊) :91~97.
- [9] 袁兴中,陆健健. 围垦对长江口南岸底栖动物群落结构及多样性的影响. 生态学报,2001,21(10) :1642~1647.
- [10] 孙亚伟,曹恋,秦玉涛,等. 长江口邻近海域大型底栖生物群落结构分析. 海洋通报,2007,26(2) :66~70.
- [11] 广东省海岛资源综合调查大队,广东省海岸带和海涂资源综合调查领导小组办公室. 大亚湾海岛资源综合调查报告. 广州:广东科技出版社,1993. 19.
- [12] 贾晓平,林钦,蔡文贵. 大亚湾马鞭洲大型爆破对周围水域环境与海洋生物影响的评估. 水产学报,2002,26(4) :313~320.