

## 大亚湾大型底栖动物物种多样性现状

杜飞雁<sup>1,2</sup>, 王雪辉<sup>1</sup>, 李纯厚<sup>1</sup>, 张汉华<sup>1</sup>, 贾晓平<sup>1</sup>

(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物种多样性进行研究。结果表明, 因人类活动影响的加剧, 目前大型底栖动物多样性明显低于历史水平。2004年大亚湾海域内共出现 79种(类)大型底栖动物, 全海域均匀度(J)、丰富度(D)和 Shannon-Wiener指数(H')均值分别为 1.17、0.74和 2.06。各多样性指数的季节变化较小, 不存在显著差异(P>0.05)。多样性水平以冬季<春季<夏季<秋季。大亚湾明显的干、湿季变化对大型底栖动物多样性有所影响, 湿季多样性水平高于干季。湾口海域大型底栖动物多样性水平较高, 因湾顶和湾中部海域内小鳞帘蛤 *Vermopalmicra*和粗帝汶蛤 *Tinocleasclabra*极强的优势地位, 导致湾顶和湾中部海域多样性水平较低。水温升高而引发的小鳞帘蛤和粗帝汶蛤丰度的变化, 造成了湾顶和湾中部海域大型底栖动物多样性水平的季节变化。

**关键词:** 大型底栖动物; 物种多样性; 大亚湾; 南海

中图分类号: Q178.53

文献标识码: A

文章编号: 1673-2227-(2008)06-0033-09

## Study on species diversity of macrobenthos in Daya Bay, South China Sea

DU Feiyang<sup>2</sup>, WANG Xuehui<sup>1</sup>, LI Chunhou<sup>1</sup>, ZHANG Hanhua<sup>1</sup>, JIA Xiaoping<sup>1</sup>

(1. Key Lab of Fishery Ecology Environment Ministry of Agriculture, South China Sea Fisheries Research Institute

Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China

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

**Abstract:** Based on the data of macrobenthos collected from the surveys of 4 cruises which were conducted in Mar, May, Sep, Dec 2004 in Daya Bay, South China Sea, the species diversity of macrobenthos was studied. The results showed that nowadays the level of species diversity was lower than that in 1987 due to the more impacts of human activities on the bay since then. In 2004, the number of macrobenthos species was 79. The mean of richness index (J), evenness index (D) and Shannon-Wiener index (H') were 1.17, 0.74 and 2.06, respectively. The seasonal changes of each diversity index was small without significant different (P>0.05). The level of species diversity showed the trend of winter<spring<summer<autumn. It has been found that the distinct change of dry and wet season, the species diversity in wet season was higher than those in dry season. The species diversity of macrobenthos in outer

收稿日期: 2008-07-16 修回日期: 2008-09-08

资助项目: 科技部社会公益研究专项资金项目(2005D83J020); 广东省重大科技兴海项目(A200099E01); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(中国水产科学研究院南海水产研究所)资助项目(2007ZD08); 农业部海洋与河口渔业重点开放实验室基金项目(开-2-04-15); 农业部渔业生态环境重点开放实验室开放基金项目(2004-2, 2005-2)

作者简介: 杜飞雁(1974-), 女, 博士, 助理研究员, 从事渔业生态环境保护和渔业资源评估研究, E-mail: feiyang@163.com

通讯作者: 贾晓平, E-mail: jiaxiaoping53@163.com

©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

Bay was the highest among other areas. The dominant species of *Vermetoparmicra* and *Tinoclea scabra* were so abundant that the species diversity of macrobenthos in center Bay and inner Bay were low. The seasonal change of the species diversity of macrobenthos in center Bay and inner Bay was caused by the change of the abundance of *V. micra* and *T. scabra*. Then the abundance of *V. micra* and *T. scabra* fluctuated with the water temperature directly.

Key words: macrobenthos; species diversity; Daya Bay; South China Sea

大亚湾是广东省最重要的海湾之一，因其物种资源丰富，1983年被设立为省级水产自然保护区，其湾口东南侧还建有国家级海龟自然保护区。然而目前大亚湾在过度的人为扰动下，其生态系统正经历着快速退化的进程<sup>[1-2]</sup>。在过去的20多年间，该海域的叶绿素 *a*、营养盐含量和组成结构等均发生了较大的变化<sup>[3-5]</sup>。底栖动物生活于底质环境中，活动能力较弱，对环境变化反应敏感，常用于监测生态环境的变化<sup>[6]</sup>。历史上大亚湾大型底栖动物物种多样性非常丰富<sup>[7]</sup>，但目前其物种多样性的变化状况缺乏报道。文章以2004年4个季度月在大亚湾海域开展的大型底栖动物调查数据为基础，对大亚湾大型底栖动物物种多样性现状进行分析，为海湾生物多样性的研究、生物群落的动态变化及演替提供基础资料。

### 1 材料方法

#### 1.1 站位布设

2004年3、5、9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(图1)。其中3和5月的采样站位为S<sub>1</sub>~S<sub>4</sub>，9和12月的采样站位为S<sub>5</sub>~S<sub>8</sub>、S<sub>9</sub>和S<sub>10</sub>。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》操作。

#### 1.3 数据处理

数据分析采用单变量分析和分布图形分析。单变量分析选用：群落种数(S)、丰富度(D)、

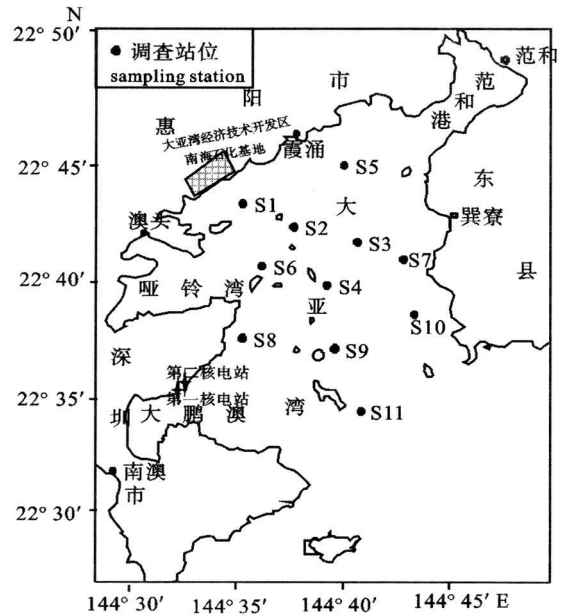


图 1 大亚湾调查站位设置示意图

Fig. 1 Sketch map of sampling stations

均匀度(J)和 Shannon-Wiener 指数(H'), 计算公式如下:

$$\text{Margalef 丰富度指数: } D = (S - 1) / \log_2 N$$

式中 S 为样品中的种类总数; N 为样品中的生物总个体数;

$$\text{Shannon-Wiener 指数: } H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$$

式中 S 为样品中的种类总数; P 为第 i 种的个体数 (n<sub>i</sub>) 与总个体数 (N) 的比值 (n<sub>i</sub>/N);

Pielou's evenness index 是先估计理论上的最大 Shannon-Wiener 指数 (H<sub>max</sub>), 然后以实际测得的 H' 对 H<sub>max</sub> 的比值获得, 其计算式为: J = H' / H<sub>max</sub>

式中 H' 为前式计算的 Shannon-Wiener 多样性指数值; H<sub>max</sub> 为 log<sub>2</sub> S 表示多样性指数的最大值, S 为样品中总种类数。

丰富度、Shannon-Wiener 指数和均匀度用 PRIMER V5<sup>[8]</sup> 软件计算得出。同时使用方差分析 (ANOVA) 对上述多样性指数进行差异性检验。

分布图形分析为通过 k 优势度曲线, 对各季的多样性水平进行分析评价<sup>[7]</sup>。图中 X 轴是种类依丰度重要性的相对种数 (对数) 排序, Y 轴是丰度优势度的累积百分比。在图中最下方的曲线代表多样性最高的群落, 最上方的曲线则代表多样性最低的群落。

## 2 结果

### 2.1 出现种类数

经鉴定大亚湾海域 2004 年共出现大型底栖动物 79 种, 隶属于 6 门、11 纲、49 科。软体动物的种类数最多 (32 种), 其次是环节动物 (18 种) 和节肢动物 (17 种)。此外, 棘皮动物 (8 种)、脊索动物 (3 种) 和昆虫动物 (1 种) 也有出现。冬季出现种类数最多, 42 种, 各站的出现种类也较多; 春季次之, 41 种; 夏季 37 种; 秋季最少, 30 种, 各站的种类数也最少。各季种类数的平面分布情况大致相同。湾顶和湾中部海域种类数较少、湾口海域种类数最多, 呈北低南高的趋势 (图 2)。

### 2.2 多样性的变化

2.2.1 丰富度 大亚湾大型底栖动物多样性指数的季节变化见表 1, 丰富度变化范围较大, 从 0.53~2.29 年均丰富度为 1.17。各季丰富度均值在 1.06~1.37 之间, 冬季>夏季~春季>秋季。

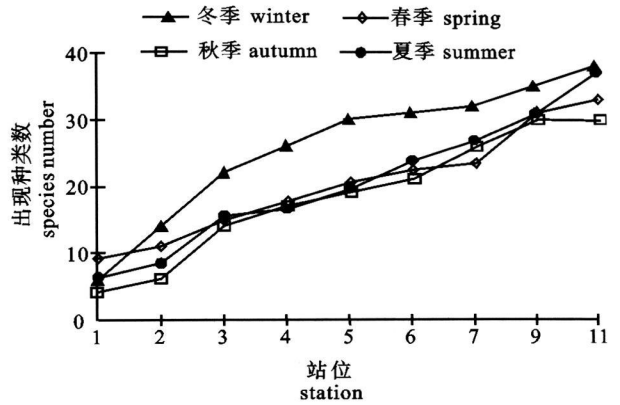


图 2 大亚湾大型底栖动物种类数的变化

Fig 2 Changes of species number of macrobenthos in Daya Bay

经单因素方差检验 (one-way ANOVA) 显示, 各季的丰富度之间没有显著性差异 ( $P > 0.05$ )。

冬季丰富度变幅最小 ( $SD=0.34$ ), 各站的分布范围为 0.67~1.71, 全海域平均为 1.37。90.9% 的站位丰富度集中于 1.0~2.0 之间 (图 3); 春季全海域丰富度均值为 1.12, 各站的分布范围最广, 从 0.58~2.29 变幅最大 ( $SD=0.54$ ), 63.6% 的站位丰富度集中分布于 0.5~1.0 之间; 夏季全海域丰富度略有提高至 1.13, 各站在 0.57~1.56 之间变动, 77.8% 的站位丰富度分布于 0.5~1.5 之间; 秋季丰富度降至全年最低 1.06, 各测站在 0.53~1.74 之间变化, 77.8% 的站位丰富度分布于 0.5~1.5 之间。丰富度的平面分布总体呈现北低南高的趋势。

表 1 大亚湾大型底栖动物多样性指数的季节变化

Tab 1 Seasonal changes of macrobenthos diversity indices in Daya Bay

季节 season	丰富度 (D) richness index		均匀度 (J) evenness index		Shannon-Wiener 指数 (H') Shannon-Wiener index	
	均值 average	范围 range	均值 average	范围 range	均值 average	范围 range
冬季 winter	1.37±0.34	0.67~1.71	0.74±0.20	0.47~1.00	2.27±0.60	1.21~2.99
春季 spring	1.12±0.54	0.58~2.29	0.70±0.16	0.57~0.93	1.98±0.71	1.16~3.51
夏季 summer	1.13±0.38	0.57~1.56	0.76±0.20	0.42~0.94	2.05±0.66	1.19~2.98
秋季 autumn	1.06±0.49	0.53~1.74	0.75±0.22	0.44~1.00	1.96±0.73	0.90~2.91
均值 average	1.17	0.53~2.29	0.74	0.42~1.00	2.06	0.90~3.51

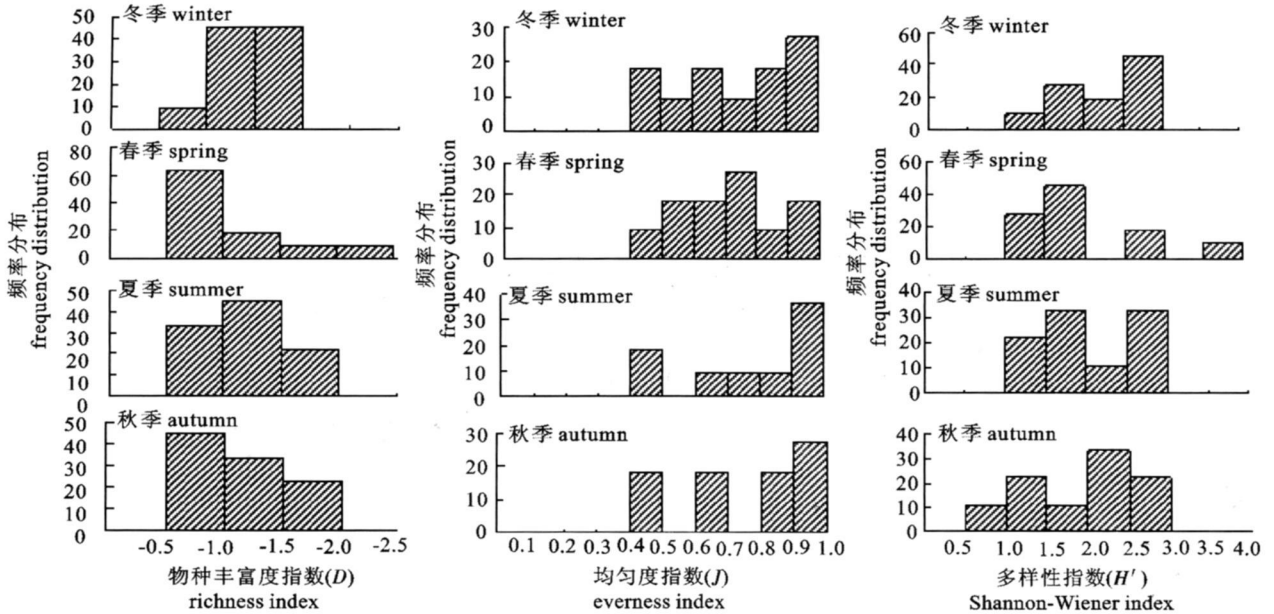


图3 大亚湾各季大型底栖动物多样性指数的频率分布

Fig 3 Frequency distribution of macrobenthos diversity indices in different seasons in Daya Bay

**2.2.2 均匀度** 大亚湾大型底栖动物均匀度均值为 0.74 变化范围为 0.42~1.00 各季均匀度的均值较为接近, 在 0.70~0.76 之间。夏季>秋季>冬季>春季 (表 1)。各季的物种丰富度之间没有显著性差异 ( $P>0.05$ )。

冬季均匀度均值为 0.74 各测站均匀度分布范围为 0.47~1.00 54.5% 的站位均匀度分布于 0.7~1.0 之间 (图 3); 春季均匀度最低, 为 0.70 各测站间的变幅最小 ( $SD=0.16$ ), 分布范围从 0.57~0.93 63.6% 的站位均匀度分布于 0.5~0.8 之间; 夏季均匀度最高, 达到 0.76 各测站均匀度分布于 0.42~0.94 之间, 63.6% 的站位均匀度分布于 0.5~1.0 之间, 其中以均匀度 0.9~1.0 之间的站次最高 (36.4%); 秋季均匀度均值为 0.75 各测站间的变幅最大 ( $SD=0.22$ ), 分布范围从 0.44~1.00 45.4% 的站位均匀度分布于 0.8~1.0 之间。大亚湾西北部近岸海域大型底栖动物的均匀度较低, 大辣甲附近海域均匀度较高。

**2.2.3 多样性指数** 大亚湾大型底栖动物平均 Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H'$ ) 为 2.06 分布

范围为 0.90~3.50 各季的均值在 1.96~2.27 之间变化, 以冬季>夏季>春季~秋季 (表 1)。

冬季多样性指数均值为 2.27 各测站在 1.21~2.99 之间变化, 变幅最小 ( $SD=0.60$ ), 63.6% 的站位多样性指数分布于 2.0~3.0 之间。其中, 2.5~3.0 之间的站次高达 45.4%; 春季多样性指数均值为 1.98 各站在 1.16~3.51 之间变化, 变幅较大 ( $SD=0.71$ ), 72.7% 的站位多样性指数集中分布于 1.0~2.0 之间; 夏季平均多样性指数为 2.05 在 1.19~2.98 之间变动, 55.6% 的站位多样性指数分布于 1.0~2.0 之间; 秋季多样性指数均值降至全年最低 1.96 各测站间的变幅最大 ( $SD=0.73$ ), 分布范围从 0.90~2.91 55.6% 的站位多样性指数分布于 2.0~3.0 之间 (表 1、图 3)。

冬、春 2 季多样性指数的平面分布基本相同, 均以湾西北近岸海域最低、东部海域次之, 并由这 2 处向西南、东南方向递增, 在大亚湾中央列岛附近海域形成高值区后, 在大辣甲以南海域略有所降低; 夏、秋 2 季多样性指数平面分布情况基本一致, 与冬、春季相比低值区主要出现在湾西北部海

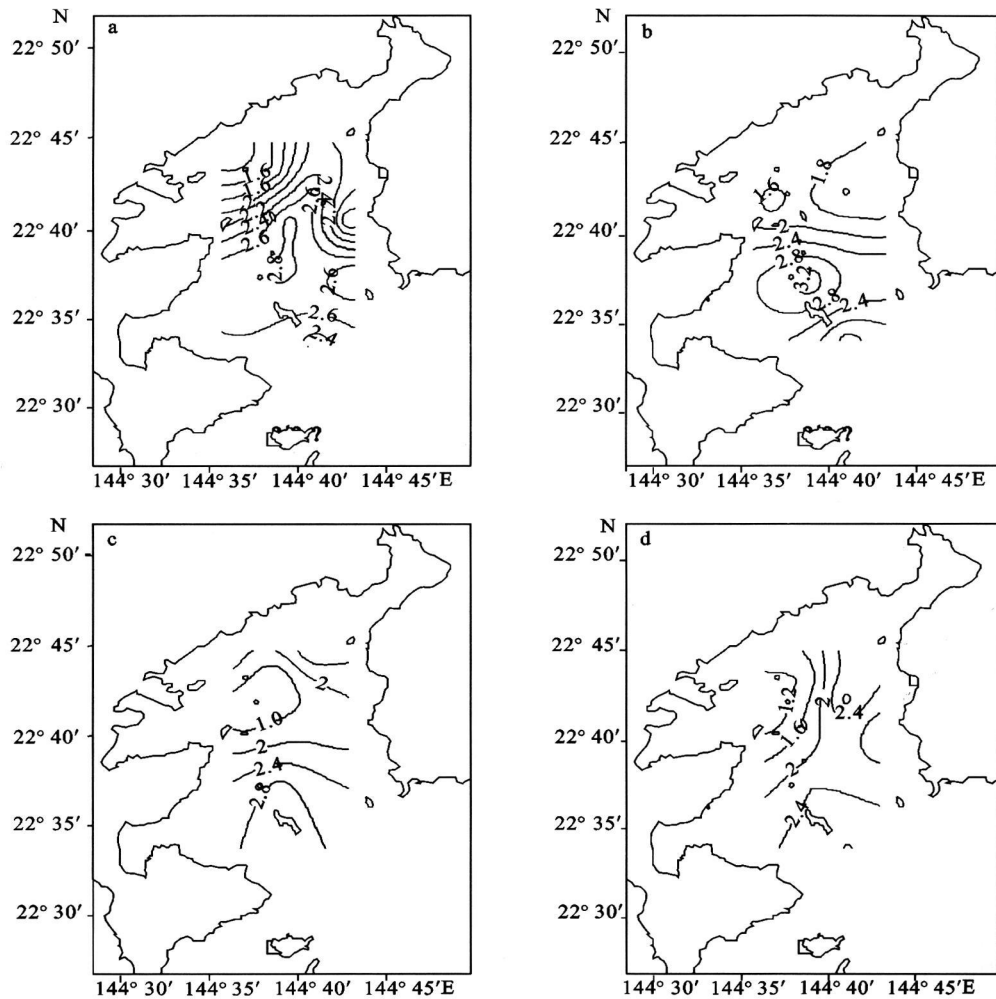


图 4 大亚湾大型底栖动物 Shannon-Wiener 指数 ( $H'$ ) 平面分布

a 冬季; b 春季; c 夏季; d 秋季

Fig 4 Spatial distribution of macrobenthic Shannon-Wiener index ( $H'$ ) in Daya Bay

a winter b spring c summer d autumn

域, 由此向南逐渐递增, 高值区主要分布在大辣甲附近海域, 此外湾东北部多样性指数也较高 (图 4)。总体而言, 各季多样性指数的平面分布趋势大致相同, 均呈北低南高的趋势。

### 2.3 多样性水平

2.3.1 全海域多样性水平变化 虽然各季的物种多样性指数之间均不存在显著的差异 ( $P > 0.05$ ), 但各自的季节变化情况均有所差异。因此, 通过各季的  $k$  优势度曲线评价多样性水平。

大亚湾大型底栖动物丰度的  $k$  优势度曲线见图

5 各季的丰度优势度曲线较为接近, 但还是存在较明显的高低区分。冬季、春季和夏季的优势度曲线变化情况基本一致, 其中以冬季曲线最高, 依次是春季和夏季。

冬、春和夏 3 季, 第一优势种小鳞帘蛤所占比例较为接近, 均略高于 50%; 而第二优势种粗帝纹蛤加入累积后, 累积丰度百分比均超过 70%。冬季的优势度曲线明显高于其它季度, 其前 6 种生物的丰度累积比例就超过了 85%, 其中小鳞帘蛤所占比例为 52.8%, 其它的优势种类为粗帝纹蛤、

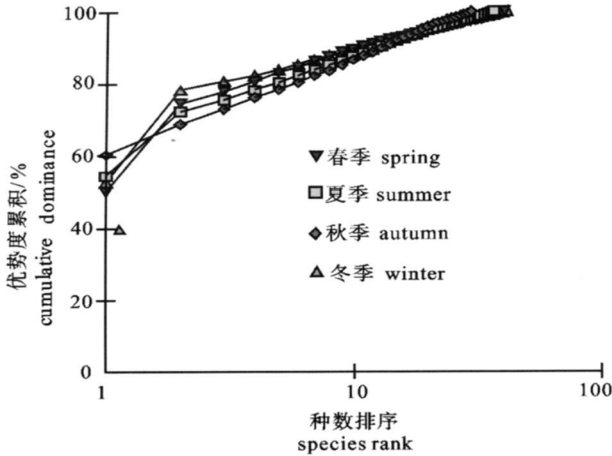


图 5 大亚湾大型底栖动物丰度的 k 优势度曲线

Fig 5 k dominance curves of macrobenthos abundance in Daya Bay

超 85%，小鳞帘蛤所占比例为 50.2%，其它依次为粗帝汶蛤、光滑倍棘蛇尾、短吻铲荚蛭、筒毛拟节虫、弦毛内卷齿蚕和异蚓虫等；夏季有 8 种生物丰度累积超过 85%，小鳞帘蛤所占比例高达 54.5%，其它依次为粗帝汶蛤、棒锥螺、中国小铃螺、假奈拟塔螺、泡状薄壳鸟蛤、光滑倍棘蛇尾和欧文虫等；秋季虽然第一优势种小鳞帘蛤所占比例高达 60.4%，致使优势度曲线的起点明显高于其它 3 季，但粗帝汶蛤加入累积后曲线明显低于其它 3 季。丰度百分比累积到 85% 时，累积的种类数在各季中最多，有 9 种。其余 8 种分别为弦毛内卷齿蚕、光滑倍棘蛇尾、异蚓虫、中国小铃螺、模糊新短眼蟹、棒锥螺和长锥虫等（表 2）。

单一的优势地位越突出、主导群落的种类越少，则群落的多样性水平越低。虽然各季的优势度曲线到最后时出现了交叉的现象，但总体上可以认为大亚湾大型底栖动物的物种多样性水平由冬季至春季、夏季至秋季，呈上升趋势，以秋季的物种多

中国小铃螺、棒锥螺、波纹巴非蛤和短吻铲荚蛭等；其次为春季，其前 7 种生物丰度累积丰度比例

表 2 大亚湾各季主要大型底栖动物丰度百分比

Tab 2 Percentage of dominant species of macrobenthos in different season in Daya Bay

冬季 winter		春季 spring		夏季 summer		秋季 autumn	
小鳞帘蛤 <i>Vermetopam micra</i>	52.8	小鳞帘蛤 <i>V micra</i>	50.2	小鳞帘蛤 <i>V. micra</i>	54.5	小鳞帘蛤 <i>V. micra</i>	60.4
粗帝汶蛤 <i>Timoclea scabra</i>	25.6	粗帝汶蛤 <i>T scabra</i>	24.5	粗帝汶蛤 <i>T scabra</i>	17.8	粗帝汶蛤 <i>T scabra</i>	8.5
中国小铃螺 <i>Minolia chinensis</i>	2.5	光滑倍棘蛇尾 <i>Amphiplys laevis</i>	3.1	棒锥螺 <i>T bacillum</i>	3.3	弦毛内卷齿蚕 <i>A lobatus</i>	4.1
棒锥螺 <i>Turricula bacillum</i>	1.5			中国小铃螺 <i>M chinensis</i>	2.7	光滑倍棘蛇尾 <i>A laevis</i>	3.3
波纹巴非蛤 <i>Paphia undulata</i>	1.5	短吻铲荚蛭 <i>L brevirostris</i>	2.9	假奈拟塔螺 <i>Turricula nellae spurus</i>	2.1	异蚓虫 <i>H filiformis</i>	2.2
短吻铲荚蛭 <i>Lisriobbus brevirostris</i>	1.5	筒毛拟节虫 <i>Praxillella graciles</i>	2.5			中国小铃螺 <i>M chinensis</i>	1.9
				泡状薄壳鸟蛤 <i>Fulvia buleta</i>	2.1	模糊新短眼蟹 <i>Neoxenophthalmus obscurus</i>	1.9
		弦毛内卷齿蚕 <i>Aglaophamus pbatus</i>	1.6	光滑倍棘蛇尾 <i>A laevis</i>	1.5		
		异蚓虫 <i>Hetermasus filiformis</i>	1.6	欧文虫 <i>Owenia fusiformis</i>	1.2	棒锥螺 <i>T bacillum</i>	1.5
						长锥虫 <i>Haploscolopops elongatus</i>	1.5
合计 total	85.4		86.3		85.2		85.2

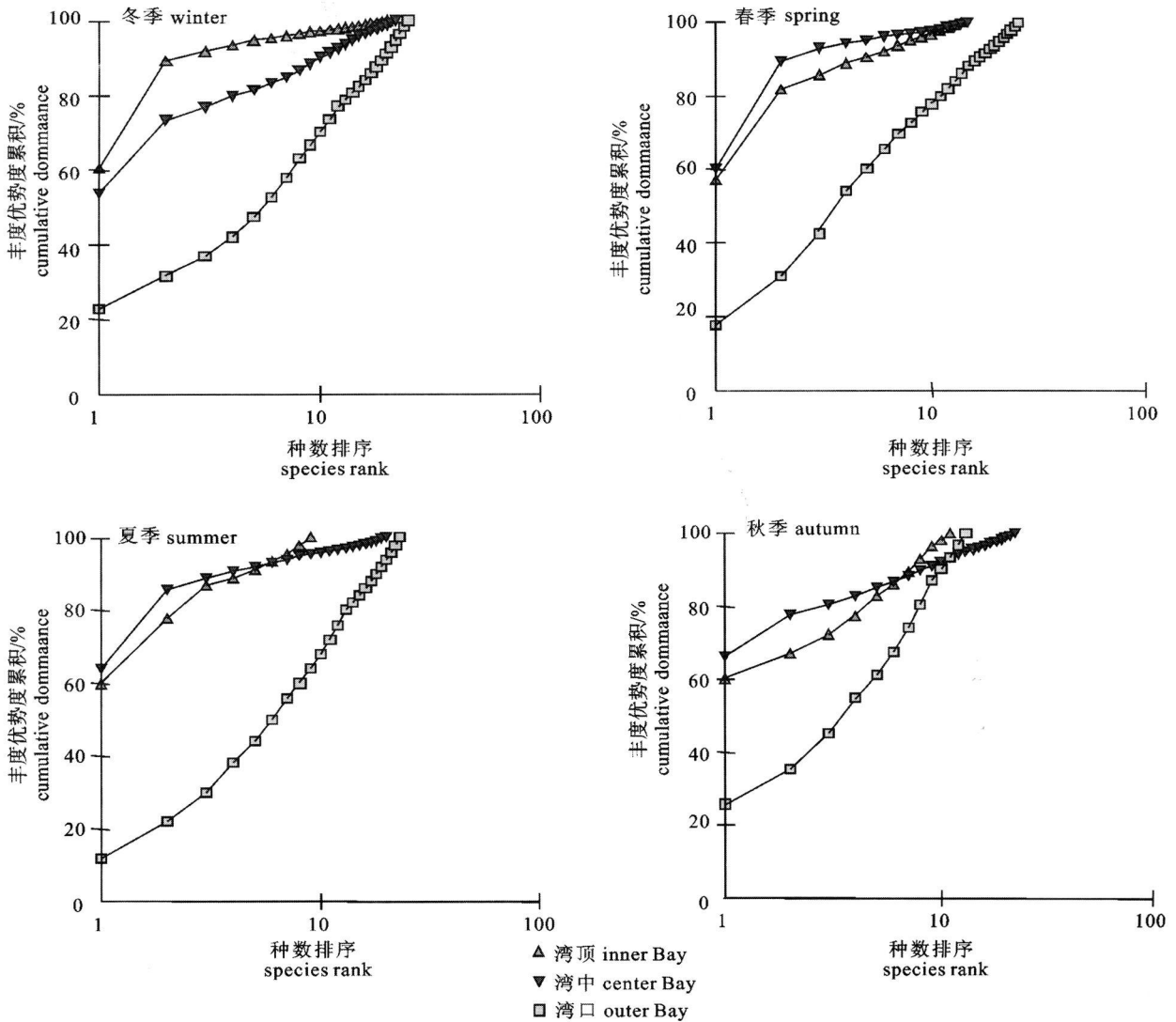


图 6 大亚湾不同区域大型底栖动物丰度的 k 优势度曲线

Fig 6 k-dominance curves of macrobenthos abundance in different area in Daya Bay

样性水平最高。

以累积丰度达到 85% 的种类来看, 大亚湾各季大型底栖动物主要种类变动不大, 全年均以小鳞帘蛤和粗帝汶蛤占绝对优势。此外, 3 个季节内丰度较高的种类有中国小铃螺、棒锥螺和光滑倍棘蛇尾。冬、夏 2 季以软体动物占绝对优势, 春、秋 2 季以软体动物和多毛类为主。

2.3.2 多样性水平的区域变化 虽然大亚湾各季大型底栖动物丰富度、均匀度和多样性指数的平

面分布趋势均有所差异, 但总体上呈现北低南高的趋势。为进一步明确各季各区域的多样性水平的情况, 以北纬 22°42' 和 22°38' 将大亚湾划分为湾顶、湾中和湾口 3 个区域, 对各区域的 k 优势度曲线变化趋势进行分析。

大亚湾不同区域大型底栖动物丰度的 k 优势度曲线见图 6 湾口海域的优势度曲线始终处于最下方, 表明湾口海域的大型底栖动物的多样性水平在 3 个区域中最高, 且较为稳定; 湾顶和湾中部海域

多样性水平随季节的变化则有所改变。冬季湾顶海域的多样性水平最低；而春季湾中部多样性水平降至各区域最低；夏、秋 2季虽然湾中部和湾顶的优势度曲线有所交叉，但还是以湾中部略高于湾顶海域，表明这 2个区域的多样性水平较为接近，以湾顶略高于湾中部海域。

小鳞帘蛤和粗帝汶蛤是大亚湾大型底栖动物的主要种类，其主要分布于湾顶和湾中部海域，在湾顶和湾中部的丰度累积百分比分别为 72.5% 和 81.6%，也正是这 2种生物丰度的季节变化引发了湾顶和湾中部大型底栖动物多样性水平的变化。冬季，湾顶海域内小鳞帘蛤和粗帝汶蛤丰度累积百分比高达 89.4%，远高于在湾中部的 73.5%，致使湾顶海域大型底栖动物多样性水平明显低于湾中部海域；春季，湾顶海域小鳞帘蛤和粗帝汶蛤丰度大幅下降，累积百分比也降至 81.7%。而在湾中部海域它们的丰度却大幅上升，累积百分比也升至 89.4%，致使湾中部大型底栖动物多样性水平低于湾顶海域；夏季，湾顶海域内小鳞帘蛤和粗帝汶蛤丰度继续大幅降低，其优势地位继续下降，累积百分比降至 62.8%。它们在湾中部海域丰度变化不大，但优势地位依然显著，累积百分比为 85.6%，远高于湾顶海域。该海域多样性水平仍低于湾顶海域；秋季，它们在湾顶海域丰度和累积百分比变化不大，而在湾中部海域其丰度明显下降，但依然保持较强的优势地位，累积百分比为 77.9%。湾中部海域大型底栖动物多样性水平还是低于湾顶海域。

### 3 讨论

#### 3.1 多样性的变化

从出现种类数来看，与 1987年相比大鹏澳至大辣甲之间的海域仍为大型底栖动物种数较多的区域，但站均种类数则明显下降。2004年单站最高种类数为 14种，平均每站 7.6种。而 1987年出现种类数最少的湾北部海域单站平均种数也达到 36.3种，出现种数最多的大鹏澳至大辣甲之间的海域，平均每站高达 60种，单站最高种类数为

100种<sup>[7]</sup>。虽然 2次调查的采样斗次有所差异，但依然可以明显地反映出大亚湾大型底栖动物群落组成简单化。

1987年大亚湾大型底栖动物 Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H'$ ) 为 3.3，丰富度 ( $D$ ) 为 4.4，均匀度 ( $J$ ) 为 0.6<sup>[7]</sup>。目前除均匀度略高外，多样性指数和丰富度远低于历史水平。随着时间的推移，底栖动物多样性下降的情况，在中国其它海域如长江口、胶州湾等均有发生，综合分析后将原因归结于人类开发活动的影响<sup>[9-11]</sup>，如不合理排污导致的富营养化、水利工程建设、滩涂围垦、过度捕捞等。大亚湾也是人类活动频繁、影响强烈的区域之一，湾内及周边地区各类大型工程建设繁多、人口增长迅速、水产养殖业发展迅猛、过度捕捞现象严重。海水的营养水平由原来的贫营养发展到中等营养状态，局部海域已出现富营养化<sup>[11]</sup>。大型底栖动物的物种多样性与营养水平呈负相关的变化趋势，即当水体从中营养型向富营养过渡中大型底栖动物多样性明显降低<sup>[13]</sup>。因此，大亚湾大型底栖动物多样性的降低是人类活动影响加剧的必然结果。

#### 3.2 多样性的空间差异

大亚湾大型底栖动物多样性的空间分布情况基本保持不变，呈明显的北低南高的趋势，即湾口多样性水平高，湾顶和湾中部海域多样性水平低，但在不同的季节湾顶和湾中部海域大型底栖动物多样性水平有所变化。软体动物集中分布于湾顶、湾中部海域，同时个别种的优势地位极强，是造成湾顶和湾中部海域大型底栖动物多样性水平低的主要原因。湾口海域软体动物数量较少，单一种的优势地位较弱，优势种的最大累积百分比不超过 25%，各个种类的丰度虽较低但种类组成丰富。因此，湾口海域大型底栖动物多样性水平较高。

生物多样性除受种的数量及其个体密度的影响外，还与多种环境因素有关，如水温、盐度和初级生产力等<sup>[13]</sup>。此外，底栖动物群落的多样性与底质类型密切相关<sup>[14-16]</sup>。大亚湾绝大部分区域的底质类型均为粘土质粉砂，因此，水温变化是导致大



亚湾大型底栖动物多样性水平变化的主要原因。不同季节内湾顶和湾中部海域多样性水平的差异, 主要由小鳞帘蛤和粗帝汶蛤这 2 种优势种丰度的季节差异而引发的。冬季, 湾顶的小鳞帘蛤和粗帝汶蛤累积百分比高于湾中部海域, 湾顶的多样性水平低于湾中部。湾顶的水动力条件较差, 随着水温的升高, 底层海水氧含量降低, 该海域内小鳞帘蛤和粗帝汶蛤的数量在春、夏季大幅下降; 而湾中部水动力条件优于湾顶, 水温的增加促进了小鳞帘蛤和粗帝汶蛤的生长, 夏季其数量大幅上升, 优势地位迅速上升, 导致湾中部的多样性水平低于湾顶海域。

水温的升高导致湾顶海域小鳞帘蛤因缺氧而大量死亡的现象, 在 1987 年秋季就开始出现, 但近年内该现象发生的时间明显较以往有所提前 (2004 年提早到春季)。据推测可能与全球气候变暖、大亚湾海域海水温度提高、底质有机质含量增加等因素有关。具体原因有待于进一步深入研究。

### 3.3 多样性的季节差异

大亚湾大型底栖动物多样性季节变化较小, 相关分析也表明各季多样性指数间不存在显著差异, 体现出大亚湾各季环境状况相对稳定、变化较小。这与大亚湾为三面环山的半封闭海湾, 湾内无大的河流注入, 水动力条件相对较稳定有关。但从气象条件下来看, 大亚湾地处亚热带海域, 每年 3 月至 9 月西南季风盛行, 10 月至翌年 4 月盛行东北季风。西南季风带来丰沛的降雨, 降水量占全年的 80% 以上, 大亚湾也可分为明显的干、湿 2 季。在大量降雨的影响下, 大亚湾海水环境也存在明显的干、湿季差异<sup>[5]</sup>。水环境的变化必然会导致生物群落的变化。大亚湾大型底栖动物均匀度则呈明显的湿季高、干季低, 可能是强烈的降雨造成的环境扰动有利于底栖动物的均匀分布。此外, 湿季 (夏、秋) 的优势度曲线也低于干季 (冬、春), 即湿季的多样性水平高于干季。反应出大亚湾环境明显的干、湿季变化对大型底栖动物多样性水平的

变化也有所影响。

### 参考文献:

- [1] 王肇鼎, 练健生, 胡建兴, 等. 大亚湾生态系统退化特征 [J]. 生态科学, 2003, 22 (4): 313-320.
- [2] 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 [J]. 热带海洋学报, 2004, 23 (5): 85-95.
- [3] 丘耀文, 王肇鼎, 朱良生. 大亚湾海域营养盐与叶绿素含量的变化趋势及其对生态环境的影响 [J]. 台湾海峡, 2005, 24 (2): 131-139.
- [4] 彭云辉, 孙丽华, 孙浩如, 等. 大亚湾海区营养盐的变化及富营养化研究 [J]. 海洋通报, 2002, 21 (3): 44-49.
- [5] WU Mei-Lin, WANG You-Shao. Using chemometrics to evaluate anthropogenic effects in Daya Bay, China [J]. Estuarine Coastal Shelf Sci, 2007, 72 (6): 732-742.
- [6] KRONCKE, I. Long-term change in North Sea benthos [J]. Senckenbergiana Marit, 1995, 26 (12): 73-80.
- [7] 江锦祥, 蔡尔西, 吴启泉, 等. 大亚湾底栖动物群落结构分析 [M] // 大亚湾海洋生态文集 (II). 北京: 海洋出版社, 1990, 235-247.
- [8] 韩洁, 张志南, 于子山. 渤海中、南部大型底栖动物物种多样性的研究 [J]. 生物多样性, 2003, 11 (1): 20-27.
- [9] 王金辉, 黄秀清, 刘阿成, 等. 长江口及邻近水域的生物多样性变化趋势分析 [J]. 海洋通报, 2004, 23 (1): 32-39.
- [10] 毕洪生, 冯卫. 胶州湾底栖生物多样性初探 [J]. 海洋科学, 1996 (6): 58-61.
- [11] 龚志军, 谢平, 唐汇涓, 等. 水体富营养化对大型底栖动物群落结构及生物性的影响 [J]. 水生生物学报, 2001, 25 (3): 210-216.
- [12] 于海燕, 李新正, 李宝泉, 等. 胶州湾大型底栖动物生物多样性现状 [J]. 生态学报, 2006, 26 (2): 416-42.
- [13] GRAY, J. S. Animal-sediment relationships [J]. Oceanography and Marine Biology: An Annual Review, 1978, 12: 223-261.
- [14] 毕洪生. 胶州湾环境对大型底栖动物的影响 [J]. 海洋科学, 1997 (7): 37-40.
- [15] 李新正, 于海燕, 王永强, 等. 胶州湾大型底栖动物的物种多样性现状 [J]. 生物多样性, 2001, 9 (1): 80-84.
- [16] 袁伟, 张志南, 于子山. 胶州湾西部海域大型底栖动物多样性的研究 [J]. 生物多样性, 2007, 15 (1): 53-60.