

大亚湾大型底栖动物种类组成及物种多样性

杜飞雁^{1,2}, 张汉华¹, 李纯厚¹, 王雪辉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. 上海水产大学 海洋学院, 上海 200090)

摘要: 利用 1984~1985 年 4 个航次、1987 年 2 个航次和 2004 年 4 个航次在南海北部大亚湾海域开展的大型底栖动物调查结果, 对不同时段大型底栖动物的种类组成、群落相似性、丰富度、多样性指数和均匀度进行对比分析, 结果显示, 在大亚湾海域大型底栖动物种类组成和物种多样性方面, 表现为: (1) 种类数下降, 丰富度大幅降低, 群落趋向简单化; 1987 年大型底栖动物的站均出现种数为 50.6 种/站, 最高可达 100 种/站。而 2004 年站均出现种数仅为 7.6 种/站, 最高仅为 14 种/站。(2) 种类更替明显, 在过去的 20 年间, 几乎完成了整个群落的演替; 1984~1985 年, 大型底栖动物出现 98 种, 软体动物 31 种, 节肢动物 30 种, 棘皮动物 21 种, 环节动物 12 种。2004 年, 共出现大型底栖动物 79 种, 软体动物 32 种, 节肢动物 17 种, 棘皮动物 8 种, 环节动物 18 种。1984 年和 2004 年大型底栖动物的种类相似性仅有 25.5%, 其中环节动物的改变最为显著, 20 年前后的种类相似性仅为 8.1%。(3) 物种多样性水平大幅下降。虽然大亚湾海域大型底栖动物多样性平面分布趋势未发生较大改变, 种类的均匀度略有增加, 但多样性指数由 1988 年的 3.38 降至 2004 年的 2.08, 丰富度由 4.46 降至 1.17。以上结果表明, 大亚湾生态环境的改变已经对底栖动物群落产生了显著的影响。[中国水产科学, 2008, 15(2): 252-259]

关键词: 大亚湾, 大型底栖动物, 种类组成, 物种多样性, 南海

中图分类号: Q958.8

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737-(2008)02-0252-08

大亚湾为三面环山半封闭的海湾, 位于粤东西部、珠江口东侧, 东经 114°30′~114°55′, 北纬 22°30′~22°50′, 水域面积达 600 km², 湾内岛屿众多, 岸线曲折, 具有优越的自然环境和丰富的生物资源, 1983 年被广东省人民政府划为省级水产资源自然保护区。但近 20 年来由于沿岸经济的迅速发展, 大亚湾生态系统的稳定性受到影响, 朝异养演替方向发展, 大亚湾生态系统正经历着快速的退化过程^[1-2]。

海湾生态环境退化, 主要反映在物种组成、群落结构和生产力等结构和功能的变化以及生境的恶化。近 20 年间, 在不同的时期对大亚湾海域细菌、浮游植物、浮游动物、鱼类、珊瑚、底栖生物、潮间带生物、海藻、红树植物等海洋生物生态学及其与环境因素的关系等方面进行了大量的研究, 形成

了一批研究成果^[3-16]。为系统、深入开展海湾生态系统退化进程研究奠定了深厚的基础。然而, 对该海域生物群落的大时间尺度的系统研究较少。底栖动物生活在底质环境中, 活动能力较弱, 受人类活动影响最大。在历次对大亚湾海域开展的较大规模的生态环境调查中, 均将底栖动物列为重要调查对象。但与其他海域的研究相比, 大亚湾底栖动物的生态学研究缺乏系统性, 对群落的组成、变化和演替的深入研究较为缺乏。

本研究选取大亚湾海域大型底栖动物为主要研究对象, 以对历史和现状资料的整理和分析为基础, 对其种类组成和物种多样性等方面进行系统研究, 以为受损生态系统的恢复和生物资源的持续利用提供基础资料。

收稿日期: 2006-05-16; **修订日期:** 2006-12-14.

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项基金(2007ZD08、2007TS08、2007ZD07); 科技部公益项目(2005DIB3J020); 广东省重大科技兴海项目(A200099E01); 农业部海洋与河口渔业重点开放实验室基金(开-2-04-15); 农业部渔业生态环境重点开放实验室开放基金(2004-2、2005-2)。

作者简介: 杜飞雁(1974-), 女, 博士, 主要从事海洋生态环境保护研究。Tel: 020-89108301; E-mail: feiyaneegg@163.com

通讯作者: 贾晓平。Tel: 020-84451083; E-mail: jiaxiaoping53@163.com

1 材料与方法

1.1 研究航次和站位布设

本研究使用了 1984~1985 年^[3]、1987 年^[15] 和 2004 年 10 个航次对大亚湾海域的大型底栖动物定量采样的调查资料。

1984~1985 年调查时间为 1984 年 12 月、1985 年 3 月、6 月和 9 月 4 个季度月,在大亚湾内共设 18 个测站,分别为 A1~A18; 1987 年调查时间为 1987 年 3 月和 9 月,共设 30 个测站,分别为 H3~H18、H20~H33,其中,3 月设 30 个测站,9 月设 24 个测站。2004 年调查时间为 3 月、5 月、9 月和 12 月 4 个季度月,共设 11 个测站,分别为 S1~S11,其中,春、冬两季调查全部的 11 个站位,夏季和秋季调查除 S8 和 S10 外的 9 个站位。

10 个航次的调查站位分布如图 1 所示。站位分布于大亚湾的大部分海域,因此采样基本上能够反映大亚湾大型底栖动物的状况。

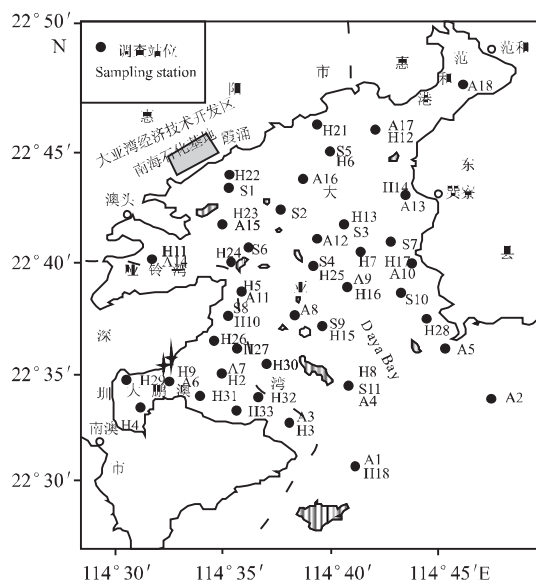


图 1 大亚湾调查站位设置示意图

Fig.1 Sketch map of sampling stations

1.2 样品采集、处理和分析

1984~1985 年和 2004 年调查均使用“大洋—50 型”采泥器,每站取样 2 次,合并为 1 个样品。1987 年调查使用“曙光 HNM 型”采泥器,每站取样 5 次,合并为 1 个样品,用 1 mm 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》^[17] 操作。

1.3 计算公式

1.3.1 相对重要性指数 (IRI)^[18] 计算式为:

$$IRI = (W + N) \times F$$

式中: W 为某一种的生物量占大型底栖动物总生物量的百分比; N 为该种的丰度占大型底栖动物总丰度的百分比; F 为该种出现的频率。

1.3.2 Jaccard 种类相似性指数 (J_s) 计算式为:

$$J_s = \frac{c}{a + b - c} \times 100\%$$

式中: a 为样品 A 的生物种类数 (或属数); b 为样品 B 的生物种类数 (或属数); c 为样品 A 和 B 的共有种数 (或属数)。

1.3.3 Margalef 丰富度指数 (D) 计算式为:

$$D = (S - 1) / \log_2 N$$

式中: S 为样品中的种类总数; N 为样品中的生物总个体数。

1.3.4 Shannon-Wiener 多样性指数 (H') 计算式为:

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$$

式中: S 为样品中总种类数; P_i 为第 i 种的个体数 (n_i) 与总个体数 (N) 的比值 (n_i/N)。

1.3.5 Pielou's 均匀度指数 (J) 该指数是先估计理论上的最大 Shannon-Wiener 指数 ($H_{\max}$), 然后以实际测得的 H' 对 $H_{\max}$ 的比值获得, 计算式为:

$$J = H' / H_{\max}$$

式中: H' 为种类多样性指数; $H_{\max}$ 为 $\log_2 S$, 表示多样性指数的最大值, S 为样品中总种类数。

丰富度指数 (D)、Shannon-Wiener 多样性指数 (H') 和均匀度指数 (J) 用 PRIMER v5 软件计算得出。

2 结果与分析

2.1 种类组成

经鉴定大亚湾海域 2004 年共出现大型底栖动物 6 门 11 纲 49 科 79 种, 其中软体动物出现种类最多, 有 32 种 (40.5%); 其次是环节动物 18 种 (22.8%)、节肢动物 17 种 (21.5%)、棘皮动物 8 种 (10.1%)、脊索动物 3 种 (3.8%)、蠕虫动物 1 种

(1.3%)。冬季出现种类数最多,42种;春季次之,41种;秋季最少,30种;夏季出现37种。各季中均以软体动物出现种类数最高,14种周年出现种中7种为软体动物,由此可见软体动物是大亚湾大型底栖动物的主要类群。

表1列出2004年各季节相对重要性指数居前10位的大型底栖动物种名录,虽然不同季节种群的相

对重要性有所差异,但主要种类的组成较为稳定。其中,粗帝汶蛤(*Timoclea scabra*)、小鳞帘蛤(*Veremolpa micra*)、波纹巴非蛤(*Paphia undulata*)、棒锥螺(*Turritella bacillum*)、光滑倍棘蛇尾(*Amphioplus laevis*)为周年的主要种类;美叶雪蛤(*Clausinella calophylla*)、中国小铃螺(*Minolia chinensis*)和叶须内卷齿蚕(*Aglaophamus lobatus*)为3个季节共有的主要种类。

表1 大亚湾海域2004年各季节主要大型底栖动物的相对重要性指数(IRI)
Tab.1 Indices of relative importance (IRI) of dominating macrobenthic species in four seasons of 2004

冬季 Winter		春季 Spring		夏季 Summer		秋季 Autumn	
种名 Species	IRI	种名 Species	IRI	种名 Species	IRI	种名 Species	IRI
粗帝汶蛤 <i>Timoclea scabra</i>	4 797	小鳞帘蛤 <i>Veremolpa micra</i>	5 574	小鳞帘蛤 <i>Veremolpa micra</i>	4 479	小鳞帘蛤 <i>Veremolpa micra</i>	7 123
小鳞帘蛤 <i>Veremolpa micra</i>	751	粗帝汶蛤 <i>Timoclea scabra</i>	3 656	棒锥螺 <i>Turritella bacillum</i>	1 442	粗帝汶蛤 <i>Timoclea scabra</i>	826
美叶雪蛤 <i>Clausinella calophylla</i>	341	短吻铲荚蛭 <i>Listriolobus brevirostris</i>	424	粗帝汶蛤 <i>Timoclea scabra</i>	1 353	美叶雪蛤 <i>Clausinella calophylla</i>	538
波纹巴非蛤 <i>Paphia undulata</i>	315	波纹巴非蛤 <i>Paphia undulata</i>	341	泡状薄壳鸟蛤 <i>Fulvia bullata</i>	260	棒锥螺 <i>Turritella bacillum</i>	431
短吻铲荚蛭 <i>Listriolobus brevirostris</i>	191	棒锥螺 <i>Turritella bacillum</i>	179	中国小铃螺 <i>Minolia chinensis</i>	209	叶须内卷齿蚕 <i>Aglaophamus lobatus</i>	265
棒锥螺 <i>Turritella bacillum</i>	173	光滑倍棘蛇尾 <i>Amphioplus laevis</i>	161	波纹巴非蛤 <i>Paphia undulata</i>	138	波纹巴非蛤 <i>Paphia undulata</i>	241
中国小铃螺 <i>Minolia chinensis</i>	70	美叶雪蛤 <i>Clausinella calophylla</i>	122	假奈拟塔螺 <i>Turricula nelliiae spurius</i>	103	光滑倍棘蛇尾 <i>Amphioplus laevis</i>	190
叶须内卷齿蚕 <i>Aglaophamus lobatus</i>	57	叶须内卷齿蚕 <i>Aglaophamus lobatus</i>	85	异齿蜆 <i>Charybdis anisodon</i>	75	模糊新短眼蟹 <i>Neoxenophthalmus obscurus</i>	112
异足索沙蚕 <i>Lumbrineris heteropoda</i>	56	异蚓虫 <i>Heteromastus filiformis</i>	65	光滑倍棘蛇尾 <i>Amphioplus laevis</i>	60	中国小铃螺 <i>Minolia chinensis</i>	67
光滑倍棘蛇尾 <i>Amphioplus laevis</i>	42	海地瓜 <i>Acaudina molpadioides</i>	60	西格纹织螺 <i>Nassarius siquijorensis</i>	53	异蚓虫 <i>Heteromastus filiformis</i>	53

与1987年相比2004年大型底栖动物的主要种类组成相比有所变动,1987年主要种类为双鳃内卷齿蚕(*Aglaophamus dibranchis*)、袋稚齿虫(*Prionospio ehlersi*)、联珠蚶(*Mabellarca consociate*)、小鳞帘蛤(*Veremolpa micra*)、波纹巴非蛤(*Paphia undulata*)、模糊新短眼蟹(*Neoxenophthalmus obscurus*)、弯六足蟹(*Hexapus anfractus*)和光滑倍棘蛇尾(*Amphioplus laevis*)等^[15]。主要种类组成中,小鳞帘蛤、波纹巴非蛤和光滑倍棘蛇尾为两个时段共同种。2004年新出现的种有粗帝汶蛤、棒锥螺和叶须内卷齿蚕,未出现的种有双鳃内卷齿蚕、模糊新短眼蟹、弯六足蟹、袋稚齿虫和联珠蚶。

与1984~1985年调查结果相比,2004年大亚湾

海域大型底栖动物的种类数呈下降趋势,种类组成也发生了较大变化。

1984~1985年,大型底栖动物出现98种,软体动物31种,节肢动物30种,棘皮动物21种,环节动物12种,其他类群4种^[3]。1984~1985年和2004年间大型底栖动物的种类相似性仅有25.5%,几乎完成了整个群落的演替。底栖动物各类群均发生了不同程度的演替,其中以环节动物的改变最为显著,20年前后的种类相似性仅为8.1%;其他各类群的种类相似性较为接近,在30.6%~31.8%之间变动,见表2。表明近20年来,大亚湾海域生态环境的改变已经对栖息生物产生了显著的影响。

表 2 大亚湾大型底栖动物种类组成的年际变化及其种类相似性

Tab.2 Annual variation of species composition and comparability of macrobenthic fauna in Daya Bay

指标 Indicator	软体动物 Mollusc	环节动物 Polychaete	节肢动物 Crustacean	棘皮动物 Echinoderm	全类群 Whole community
1984~1985 年种类数 Species number in 1984-1985	31	12	30	21	98
2004 年种类数 Species number in 2004	32	18	17	8	79
共有种数 Number of common species	15	3	11	7	36
种类相似性指数 J_s	31.2%	8.1%	30.6%	31.8%	25.5%

此外,底栖动物在湾内的分布情况也有所改变。1984~1985 年,软体动物主要分布在湾北部海域,湾口个别站全年均未发现软体动物^[3],而 2004 年软体动物的分布区域已经遍及整个大亚湾。1984~1985 年,蠕虫类主要分布在大亚湾南半部水域^[3],而近几年其分布区已经扩展到湾内北部水域。由此提示,20 年来大亚湾海域的底质环境也发生了较大的改变。

2.2 物种多样性

2.2.1 种类丰富度 大亚湾海域大型底栖动物 2004 年年均种类丰富度指数为 1.17,各季变化不大,秋季相对较低,冬季最高(表 3)。虽然各季其平面分布略有所差异,但总体呈现北低南高的趋势。与 1987 年相比,底栖动物种数较多的区域,仍出现在大鹏澳至大辣甲之间的海域,但站均出现种类数明显下降。2004 年单站最高种类数为 14 种,

平均 7.6 种。而 1987 年种类数最少的北部海域单站平均种数也达到 36.3 种,种数最多的大鹏澳至大辣甲之间的海域平均则高达 60 种/站,单站最高种类数为 100 种^[15]。虽然两次调查的采泥斗次有所差异,但大亚湾海域大型底栖动物的种类数下降、群落简单化的趋势较为明显。

2.2.2 均匀度 各季大型底栖动物的均匀度指数在 0.70~0.76 之间变化,年平均为 0.74(表 3)。春季最低,夏季最高。秋季,湾内均匀度分布呈西北、东南低,中部高的趋势。而其他 3 个季度大致均呈由湾内西北部近岸向东南方向递增的趋势。总体上湾内西北部近岸海域底栖动物的均匀度较低。

2.2.3 多样性指数 大亚湾海域底栖动物 2004 年均多样性指数为 2.08,各季变化不大,且其平面分布趋势大致相同,均呈北高南低的趋势(表 3)。

表 3 2004 年大亚湾各季大型底栖动物多样性

Tab.3 Seasonal distribution of diversity indices of macrobenthic fauna in Daya Bay in 2004

站位 Station	春季 Spring			夏季 Summer			秋季 Autumn			冬季 Winter		
	D	J	H'	D	J	H'	D	J	H'	D	J	H'
S1	1.23	0.57	1.80	1.08	0.75	2.10	0.54	0.64	1.29	0.67	0.47	1.21
S2	0.91	0.70	1.81	0.57	0.60	1.99	0.56	0.62	1.24	1.24	0.49	1.64
S3	0.85	0.41	1.16	1.49	0.50	1.71	1.74	0.84	2.91	1.69	0.77	2.67
S4	0.68	0.88	1.75	0.73	0.90	1.79	0.81	1.00	2.00	1.46	0.95	2.86
S5	0.85	0.67	1.74	1.42	0.92	2.75	1.06	0.96	2.18	1.71	0.62	2.24
S6	0.81	0.58	1.49	1.10	0.42	1.32	0.53	0.45	0.90	1.27	0.62	1.95
S7	0.79	0.62	1.61	0.73	0.90	1.79	1.70	0.44	1.62	1.07	0.53	1.60
S8	1.85	0.76	2.72	/	/	/	/	/	/	1.63	0.82	2.72
S9	2.29	0.92	3.51	1.56	0.94	2.98	1.16	0.85	2.40	1.64	0.88	2.81
S10	1.48	0.93	2.78	/	/	/	/	/	/	1.62	0.94	2.98
S11	0.58	0.70	1.41	1.52	0.89	2.83	1.44	0.94	2.82	1.02	1.00	2.32
均值 Mean	1.12	0.70	1.98	1.13	0.76	2.14	1.06	0.75	1.93	1.36	0.74	2.27

与 1988 年泥采底栖生物调查结果^[16]相比,虽然两次调查所用样品分选网筛的孔径有所差异,但仍可看出大亚湾大型底栖动物的多样性水平呈明显的下降趋势。种类多样性指数和丰富度均大幅降低,多样性指数由 3.38 降至 2.08,丰富度指数由 4.46 降至 1.17。种类的均匀度略有所增加,多样性水平的平面分布未发生明显变动,湾内北部近岸海域的多样性仍然较低。

3 讨论

通过对 1984~1985 年至 2004 年 20 年前后大型底栖动物种类组成和物种多样性调查结果的对比分析表明,该海域的底栖动物群落已发生了较大程度的改变,具体表现在以下几个方面:

(1) 种类数下降,丰富度大幅降低,群落简单化。历史上大亚湾海域底栖动物种类繁多、资源极为丰富。1987 年春、秋两季的拖网和采泥调查共鉴定出底栖动物 473 种,其中,软体动物 115 种、蟹 68 种、虾 22 种、多毛类 8 种、棘皮动物 24 种,泥采底栖动物的站均出现种数为 50.6 种/站,最高可达 100 种/站。^[3]而 2004 年的站均出现种数仅为 7.6 种/站,最高种数为 14 种/站,远低于历史水平。

(2) 种类更替明显。主要种类组成发生变化,1984 年与 2004 年大型底栖动物的种类相似性仅有 25.5%,表明大亚湾底栖动物在过去的 20 年间几乎完成了整个群落的演替。提示该海域底栖生态环境已发生了较大的改变。

(3) 物种多样性水平大幅下降。虽然大亚湾海域大型底栖动物多样性平面分布趋势未发生较大改变,但多样性指数和物种丰富度均明显下降。

在中国,底栖动物出现种类随时间的推移而减少,群落简单化的现象较为普遍,类似现象在胶州湾^[20]和深圳湾^[21]海域也有发生。底栖动物栖息于海底,其分布变化情况一般比水层内的动物(浮游动物、游泳动物)稳定得多,因此,在调查期 20 年内出现如此巨大的变化不应该仅仅是群落自然演替的结果。底栖动物与其生活的底质沉积生境有密切关系,人类活动常会导致底栖动物群落结构与生物多样性产生显著的变化^[23-24]。许多对海洋生态系统的长期研究都发现,大型底栖动物的组成和结构均已发生了显著的变化^[25-26]。大亚湾过去周边人口不多,以农业为主,基本无工业,只有几条小溪流入,输入的陆源物质不多,有众多的湿地,受到的人

类活动影响较小,其营养状况接近贫营养水平,却维持高的初级生产力。但近 20 年来沿岸经济的快速发展,人类活动对大亚湾海域生态环境的影响日益加剧,其营养状态正经历着快速变化过程。目前大亚湾水域已处于中等营养水平,局部水域已有富营养化的迹象,而且富营养化的趋势仍在继续^[1]。研究表明,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^[27],这与本研究的结论相吻合。在大亚湾沿岸及湾内的各种大型工程,如港口、码头、防波堤、海域围填等的建设,会直接改变湾内的水动力环境,导致湾内底质类型和沉积环境发生改变,进而影响底栖动物群落的结构。从 1987 年大亚湾大型底栖动物主要种类的分布区来看,5 种在 2004 年主要种类中未出现,其中模糊新短眼蟹、弯六足蟹、袋稚齿虫和联珠蚶这 4 种动物的主要分布区均位于大鹏澳至大辣甲之间的海域,同时该海域也是 1987 年大亚湾大型底栖动物高生物量区所在^[15]。长期监测结果表明,该海域的底栖生物群落发生了较大变化,出现种类明显下降,生物量也显著下降,近几年已经成为大亚湾底栖动物的低生物量区^[20]。由此,受核电站的影响,附近海域底栖动物栖息生境遭到破坏,所引起的底栖生物种类和数量下降,是种类组成发生变化的主要原因之一。此外,拖网渔业活动、航道开掘、疏浚、爆破等对底质环境影响较大的人类活动,均会造成底栖生物群落结构的改变。正是在这种过度频繁的人为扰动下,大亚湾海域生态系统处于快速退化之中,大型底栖动物群落出现简单化、多样性大幅下降的趋势。

随着大亚湾周边各产业的进一步开发和运行,人类活动干扰的加剧,底栖生物还将继续受到影响,进而引起与底栖生物密切相关的其他生物类群和群落结构和生物多样性的变化。

致谢:中国水产科学研究院南海水产研究所邱永松研究员在本文修改中给予了指导,课题组其他成员协助进行了样品采集和分析工作,特此致谢。

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] 徐恭昭. 大亚湾环境与资源 [M]. 合肥: 安徽科学技术出版社, 1989: 191-208.
- [4] 国家海洋局第三海洋研究所. 大亚湾海域生态文集 (I) [M]. 北京: 海洋出版社, 1989.
- [5] 国家海洋局第三海洋研究所. 大亚湾海域生态文集 (II) [M]. 北京: 海洋出版社, 1990.
- [6] 广东省海岛资源综合调查大队. 大亚湾海岛资源综合调查报告 [M]. 广州: 广东科技出版社, 1993.
- [7] 余勉余, 马应良, 林青青, 等. 广东海岛调查研究文集 (I) [M]. 广州: 广东科技出版社, 1992.
- [8] 邹仁林. 大亚湾海洋生物资源的持续利用 [M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- [9] 彭安国, 黄奕晋, 刘广山, 等. 大亚湾细菌生产力研究 [J]. 海洋学报, 2003, 25 (4): 83-90.
- [10] 韦桂峰, 王肇鼎, 练健生. 大亚湾大鹏澳水域春季浮游植物优势种的演替 [J]. 生态学报, 2003, 23 (1): 2 285-2 292.
- [11] 陈菊芳, 徐宁, 王朝晖, 等. 大亚湾拟菱形藻种群的季节变化与环境因子的关系 [J]. 环境科学学报, 2002, 22 (6): 743-748.
- [12] 杜飞雁, 李纯厚, 廖秀丽, 等. 大亚湾海域浮游动物生物量变化特征 [J]. 海洋环境科学, 2006, 25 (增刊 1): 37-39.
- [13] 陈涛, 林金鍊, 郭金富, 等. 大亚湾真鲷资源状况研究 [J]. 热带海洋学报, 2003, 22 (3): 30-35.
- [14] 林炜, 赖丽萍, 唐以杰. 大亚湾潮间带软体动物的物种多样性初步研究 [J]. 生物多样性, 2001, 9 (3): 247-253.
- [15] 江锦祥, 蔡尔西, 吴启泉, 等. 大亚湾底栖生物的种类组成和数量分布 [A]// 大亚湾海洋生态文集 (II). 北京: 海洋出版社, 1990, 235-247.
- [16] 江锦祥, 李荣冠, 郑凤武, 等. 大亚湾底栖动物群落结构分析 [A]// 大亚湾海洋生态文集 (II). 北京: 海洋出版社, 1990, 282-289.
- [17] 国家技术监督局. 海洋调查规范—海洋生物调查 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1991.
- [18] Pinkas L, Oliphant M S, Iverson I L K. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters [J]. California Depart Fish Game Fish Bull, 1971, 152: 1-105.
- [19] Clarke K R, Gorley R N. PRIMER v5: User Manual/Tutorial [CP/CD], PRIMER-E Ltd, 2001.
- [20] 孙道元, 张宝琳, 吴耀泉. 胶州湾底栖生物动态的研究 [J]. 海洋科学辑刊, 1996, 37: 103-114.
- [21] 吴振斌, 贺锋, 付贵萍, 等. 深圳湾浮游生物和底栖动物现状调查研究 [J]. 海洋科学, 2002, 26 (8): 58-64.
- [22] 刘录三, 李新正. 东海秋、冬季大型底栖动物的分布 [J]. 生物多样性, 2002, 10 (4): 351-358.
- [23] 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 [J]. 生态学报, 2001, 21 (10): 1 642-1 647.
- [24] Grémare A, Amouroux J M, Vétion G. Long-term comparison of macrobenthos within the soft bottoms of the Bay of Banyuls-surmer (northwestern Mediterranean Sea) [J]. J Sea Res, 1998, 40: 281-302.
- [25] 于子山, 张志南, 王诗红. 胶州湾软相底质大型底栖生物的和生物量研究 [J]. 青岛海洋大学学报, 2000, 30 (2): 39-44.
- [26] 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.
- [27] 潘金培, 王肇鼎. 中国科学院大亚湾海洋生物综合实验站年报 (二) [M]. 北京: 科学出版社, 1998.

Species composition and diversity of macrobenthic fauna in Daya Bay

DU Fei-yan^{1,2}, ZHANG Han-hua¹, LI Chun-hou¹, WANG Xue-hui¹, JIA Xiao-ping¹

(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. Ocean College of Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China).

Abstract: Daya Bay is a nature reserve for fisheries resources. However, there are conflicts between economic development and conservation, and ecosystem. And the habitat is degrading due to anthropogenic influences. Based on grab samples of macrobenthos collected in Daya Bay in 1984-1985, 1987-1988, and 2004, comparisons were conducted to investigate changes in faunal assemblage and species diversity over the past two decades. Results show that habitat degradation has led to decrease of species diversity. The average number of species collected per station was 50.6 with a maximum of 100 species in 1987-1988. However in 2004, the average species number per station decreased to 7.6 with a maximum of only 14 species. From 1987-1988 to 2004, the Shannon-Wiener diversity indices (H') declined from 3.38 to 2.08, and species richness indices from 4.46 to 1.17. However, horizontal pattern of high diversity in the north and low diversity in the south remains basically

unchanged, and evenness indices showed slight increase. In 1984–1985, totally 98 macrobenthic species were collected, comprising 31 species of molluscs, 12 polychaetes, 30 crustaceans, and 21 echinoderms. In 2004, totally 79 species were collected, consisting of 32 molluscs, 18 polychaetes, 17 crustaceans, and 8 echinoderms. Between 1984–1985 and 2004, the Jaccard's coefficient (J_s) donating species similarity was only 25.5%, and the lowest coefficient of 8.1% was observed for polychaetes, indicating remarkable changes in faunal assemblages. [Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15 (2): 252–259]

Key words: Daya Bay, macrobenthos, faunal assemblage, species diversity, northern South China Sea

Corresponding author: JIA Xiao-ping. E-mail: jiaxiaoping53@163.com

附录: 大亚湾大型底栖动物种类组成名录(2004 年)
Appendix: list of macrobenthic fauna in Daya Bay(2004)

种名 Species	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
软体动物门 Mollusca				
白带三角口螺 <i>Trigonaphera bocageana</i>				+
黄短口螺 <i>Inquistor flavidula</i>		+		+
假主棒螺 <i>Crassispira pseudoprinciplis</i>		+		
假奈拟塔螺 <i>Turricula nelliae spurius</i>	+	+	+	+
棒锥螺 <i>Turritella bacillum</i>	+	+	+	+
红带织纹螺 <i>Nassarius succinctus</i>				+
西格织纹螺 <i>Nassarius siquijorensis</i>	+	+		
光织纹螺 <i>Nassarius dorsatus</i>	+			
方格织纹螺 <i>Nassarius conoidalis</i>	+			
缝合海因螺 <i>Hindsia suturalis</i>	+		+	
伶鼬榧螺 <i>Oliva mustellina</i>				+
陷顶伶鼬榧螺 <i>Oliva mustelina concavospira</i>				+
四角细带螺 <i>Fasciolaria trapezium</i>		+		+
浅缝骨螺 <i>Murex trapa Roding</i>				+
中国小铃螺 <i>Minolia chinensis</i>	+	+	+	+
中国土耳其螺 <i>Turcica chinensis</i>			+	
爪哇窦螺 <i>Sinum javanicum</i>				+
双层笋螺 <i>Diplomeriza duplicata</i>			+	
梭形棒角贝 <i>Cadulus clavatus</i>		+		+
美叶雪蛤 <i>Clausinella calophylla</i>	+	+	+	+
波纹巴非蛤 <i>Paphia undulata</i>	+	+	+	+
粗帝汶蛤 <i>Timoclea scabra</i>	+	+	+	+
小鳞帘蛤 <i>Veremolpa micra</i>	+	+	+	+
结蚶 <i>Tegillarca nodifera</i>	+			
联珠蚶 <i>Mabellarca consociata</i>	+			+
密肋粗饰蚶 <i>Anadara crebricostata</i>				+
泡状薄壳鸟蛤 <i>Fulvia bullata</i>	+	+		+
日本杓蛤 <i>Cuspidaria japonica</i>				+
中国杓蛤 <i>Cuspidaria chinensis</i>			+	
紫边白樱蛤 <i>Macoma praerupta</i>				+
美女白樱蛤 <i>Macoma candida</i>	+			
小菱蛭 <i>Siliqua minima</i>				
环节动物门 Annelida				
异足索沙蚕 <i>Lumbrineris heteropoda</i>	+	+	+	+
锥唇吻沙蚕 <i>Glycera onomichiensis</i>	+		+	+
叶须内卷齿蚕 <i>Aglaophamus lobatus</i>	+	+	+	+

续表

	种名 Species	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
	菱内卷齿蚕 <i>Aglaophamus vietnamensis</i>				+
	双鳃内卷齿蚕 <i>Aglaophamus dibranchis</i>	+		+	+
	不倒翁虫 <i>Sternaspis scutata</i>	+			+
	奇异稚齿虫 <i>Paraprionospio pinnata</i>			+	+
	异蚓虫 <i>Heteromastus filiformis</i>	+	+	+	+
	背毛背蚓虫 <i>Notomastus cf. aberans</i>	+			
	背蚓虫 <i>Notomastus latericeus</i>	+			
	小头虫 <i>Capitella capitata</i>	+			
	梳鳃虫 <i>Terebellides stroemii</i>		+	+	+
	长锥虫 <i>Haploscoloplos elongatus</i>	+	+	+	+
	欧文虫 <i>Owenia fusiformis</i>	+	+	+	
	曲强真节虫 <i>Euclymene lonbricoides</i>	+	+		
	简毛拟节虫 <i>Praxillella gracilies</i>	+			
	黑斑蠕鳞虫 <i>Acoetes melanonota</i>			+	
	角海蛭 <i>Ophelia acuminata</i>				+
螠虫动物门 Echiura					
	短吻铲莢螠 <i>Listriolobus brevirostris</i>	+	+	+	+
棘皮动物门 Echinodermata					
	光滑倍棘蛇尾 <i>Amphioplus laevis</i>	+	+	+	+
	长腕双鳞蛇尾 <i>Amphipholis loripes</i>		+		+
	翅棘真蛇尾 <i>Ophiura pteracantha</i>			+	
	扁拉文海胆 <i>Lovenia subcarinata</i>	+			+
	凹裂星海胆 <i>Schizaster lacunosus</i>	+			
	棘刺锚参 <i>Protankyra bidentata</i>		+		+
	锚参 <i>Protankyra sp.</i>	+			
	海地瓜 <i>Acaudina molpadioides</i>	+			
节肢动物门 Arthropoda					
	裸盲蟹 <i>Typhlocarcinus nudus</i>	+		+	+
	毛盲蟹 <i>Typhlocarcinus villosus</i>		+	+	
	颗粒六足蟹 <i>Hexapus granuliferus</i>	+			+
	绒毛细足蟹 <i>Raphidopus ciliatus</i>	+			
	伪装关公蟹 <i>Dorippe facchino</i>		+		
	强壮菱蟹 <i>Parthenopw validus</i>		+		
	模糊新短眼蟹 <i>Neoxenophthalmus obscurus</i>	+	+	+	+
	豆形短眼蟹 <i>Xeoxeno phthalmus</i>			+	
	三强蟹 <i>Tritodynamia sp.</i>		+		
	威迫梭子蟹 <i>Portunus tweediei</i>	+			
	变态螯 <i>Charybdis variegata</i>	+			
	异齿螯 <i>Charybdis anisodon</i>		+		
	贪食鼓虾 <i>Alpheus avarus</i>		+	+	+
	细巧仿对虾 <i>Parapenaeopsis tenella</i>	+			+
	长眼对虾 <i>Miyadiella podophthalmus</i>			+	
	中国毛虾 <i>Acetes chinensis</i>	+			
	网纹藤壶 <i>Balanus reticulatus</i>		+		
脊索动物门 Chordata					
	黄斑蓝子鱼 <i>Siganus oramin</i>		+		
	黄斑鲷 <i>Leiognathus bindus</i>		+		
	孔鰕虎鱼 <i>Trypauchen vagina</i>		+		