

杜飞雁 林钦 贾晓平 杨圣云 马胜伟 陈海刚 李纯厚. 大亚湾西北部春季大型底栖动物群落特征. 生态学报 2011, 31(23): 7075-7085.

Du F Y, Lin Q, Jia X P, Yang S Y, Ma S W, Chen H G, Li C H. Analysis on the characteristics of macrobenthic community in the North-west Daya Bay of South China Bay in spring. Acta Ecologica Sinica 2011, 31(23): 7075-7085.

大亚湾西北部春季大型底栖动物群落特征

杜飞雁^{1,2} 林钦^{1,*} 贾晓平¹ 杨圣云² 马胜伟¹ 陈海刚¹ 李纯厚¹

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广州 510300; 2. 厦门大学海洋与环境学院博士后流动站, 厦门 361005)

摘要: 利用 2008 年春季在大亚湾西北部海域开展的 12 个测站的大型底栖动物调查资料, 对该海域大型底栖动物的群落特征进行分析。结果表明该海域内大型底栖动物优势种由粗帝汶蛤 (*Timoclea scabra*)、波纹巴非蛤 (*Paphia undulata*)、上野螺赢蜚 (*Corophium uenoi*)、方背鳞虫 (*Lepidonotus squamatus*)、刀明樱蛤 (*Moerella culter*) 和角海蛹 (*Ophelia acuminata*) 等 6 种组成; 可划分为 4 个群落, 群落 II 和群落 I 为主体群落, 群落 III 和群落 IV 分布区较小, 群落间差异较大。大型底栖动物数量上以个体较大的软体动物占优, 但群落的组成则以多毛类和甲壳类为主, 其组成情况基本上反映了群落的特征。群落 I 以多毛类-甲壳类为表征, 群落 II 则以甲壳类-多毛类-软体动物为表征。栖息环境的差异, 是造成群落间差异的主要原因; 群落多样性水平呈群落 III > 群落 II > 群落 I > 群落 IV, 沉积环境的污染状况和人为扰动是影响多样性水平的主要因素; 群落整体的稳定性较好, 未受到明显的扰动, 但分布于航道区域和渔业生产作业区的群落 IV 和群落 III 在航道建设、疏浚和渔业生产的影响下, 群落受到一定程度的扰动, 稳定性较弱。

关键词: 大型底栖动物; 群落特征; 春季; 大亚湾西北部

Analysis on the characteristics of macrobenthic community in the North-west Daya Bay of South China Bay in spring

DU Feiyan^{1,2}, LIN Qin^{1,*}, JIA Xiaoping¹, YANG Shengyun², MA Shengwei¹, CHEN Haigang¹, LI Chunhou¹

1 South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China

2 Post-doctor Research Station, College of Oceanography and Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China

Abstract: Based on the data collected from 12 research stations in the North-west Daya Bay, South China Sea in spring 2008, the characteristics of macrobenthic community were examined. The results showed that the dominant macrobenthic species were *Timoclea scabra*, *Paphia undulate*, *Corophium uenoi*, *Lepidonotus squamatus*, *Moerella culter* and *Ophelia acuminata*. The macrobenthos community could be divided into four groups with notable differences. Group I and II were the dominant groups, while the distribution areas of Groups III and IV were relatively small. Overall, molluscs was dominant in quantity in the macrobenthos community but the community was mainly composed of Annelida and Arthropoda, reflecting the characteristics of the community. The dominant macrobenthic species of group I were *Timoclea scabra*, *Nephtys oligobranchia*, *Theora lata*, *Sigambra hanaokai*, *Glycinde gurjanvae*, *Prionospio malmgreni*, *Timoclea scabra*, *Turritella bacillum*, *Corophium tridentium*, *Phyllodocidae* und., *Nectoneanthes alatopalpis*, *Erichthonius pugnax*, *Pseudopythina* sp. and *Stylochus ijimai*. Species belonging to this group distributed in the nearshore area of Aotou Harbor and Nanhai Petrochemicals Basement Group II assemblage includes *Paphia undulata*, *Timoclea scabra*, *Corophium uenoi*, *Prionospio malmgreni*, *Sigambra hanaokai*, *Ophelia acuminata*, *Mediomastus* sp., *Nephtys oligobranchia*, *Moerella culter*, *Corophium lamellatum*, *Paraprionospio pinnata* and *Prionospio pulchra*. These species distributed mainly around the

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, 2010YD10)

收稿日期: 2010-10-09; 修订日期: 2011-04-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: linqin@scs@21.cn.com.

Chunzhou Island where suspended long line culture of oyster was common. The discriminating species for Group I were *S. hanaokai*, *N. soligobranchia*, *P. malmgreni*, *N. alatopalpis* and *E. pugnax* while group II were *C. uenoi*, *P. malmgreni*, *S. hanaokai*, *N. oligobranchia*, *T. scabra*, *M. sp.*, *Phyllodocidae* und., *P. pinnata*, *O. acuminata*, *C. lamellatum*, *M. culter* and *Chaetozone* sp. Group III assemblage were mainly found in the west side of Mabianzhou, where it was a fishing ground for Arthropoda in Daya Bay. Group IV was distributed in area where main shipping routes passed through, in the east side of area of Group II and in between the area of Group I and III. For each community group, while group II Group I was dominated by Annelida and Arthropoda while Group II was dominated by arthropoda, annelida and mollusca; such difference is mainly because of the difference in habitat conditions. Diversity of macrobenthos community was highest in Group III, followed by Group II, Group I and then Group IV. Poor habitat condition caused by pollution, sedimentation and other human disturbances were the main reasons for the differences in diversity between groups. In general, macrobenthos community in the North-west Daya Bay of South China Sea was stable in spring. However, community structure of Groups IV and III, which distributed in the main navigation route and fishing grounds, were less stable; suggesting the disturbances from maintenance of navigation channel and fishing activities might have reduced community stability.

Key Words: North-west Daya Bay; spring; macrobenthos; community characteristics

位于我国南海北部大陆架的大亚湾,东邻红海湾,西接珠江口,是广东省内较大海湾之一。大亚湾岸线曲折、湾内岛屿众多,生境复杂、多样,有丰富的生物资源和极高的生物多样性,1983年成立省级水产资源自然保护区。因其独特的地理位置和丰富的资源,在20世纪90年代后,大亚湾经济也进入了一个快速发展的时期。因过渡人为扰动,目前大亚湾生态系统正经历着快速退化的进程^[1-2]。而人为的开发和扰动活动,主要集中在大亚湾湾顶附近区域。大亚湾西北部西侧是大亚湾最大的港口—惠州港,其年吞吐能力达1600万t以上,是国家一类口岸。其东北侧是大亚湾(国家级)经济技术开发区,辖陆地面积265km²,海域面积488km²,该区域内有亚洲最大的石化投资项目—南海石化项目。西北部纯州周围海域有大面积的太平洋牡蛎养殖区。栖息于底质中的底栖生物,因其活动能力弱,生活相对稳定、对海洋环境反应敏感,长期以来一直作为监测人为扰动造成对生态系统变化的主要研究对象^[3]。经研究表明,湾顶区域大型底栖动物的群落稳定状况最差,处于明显的扰动状态之中^[4]。而湾顶附近区域人类活动的扰动强度、类型均有所差异,通过对湾顶西北部大型底栖动物群落特征的研究,以深入了解不同类型人类活动对海洋生态系统的扰动情况,也可为该区域大型底栖动物群落的变化研究,提供可靠的背景资料。

1 材料与方方法

1.1 站位设置及取样方法

2008年3月12日在大亚湾西北部海域设置12个测站对大型底栖动物进行了定量采样,站位分布见图1,各调查站位地理坐标见表1。采样使用取样面积为0.1m²的抓斗式采泥器,每站取样2次,合并为1个样品,用0.5mm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》^[5]操作。

表1 调查站位地理坐标

Table 1 Geographical positions of the sampling stations

站号 Station	经度 Longitude	纬度 Latitude	站号 Station	经度 Longitude	纬度 Latitude
S1	114°32'56.01"E	22°41'3.27"N	S2	114°34'18.02"E	22°43'23.18"N
S3	114°34'46.35"E	22°42'36.95"N	S4	114°34'51.35"E	22°41'47.32"N
S5	114°34'35.70"E	22°40'52.71"N	S6	114°35'33.31"E	22°43'7.74"N
S7	114°36'7.55"E	22°42'25.91"N	S8	114°36'10.70"E	22°41'45.19"N
S9	114°36'11.96"E	22°40'53.40"N	S10	114°37'28.90"E	22°44'4.61"N
S11	114°38'1.44"E	22°40'13.74"N	S12	114°39'55.90"E	22°42'15.32"N

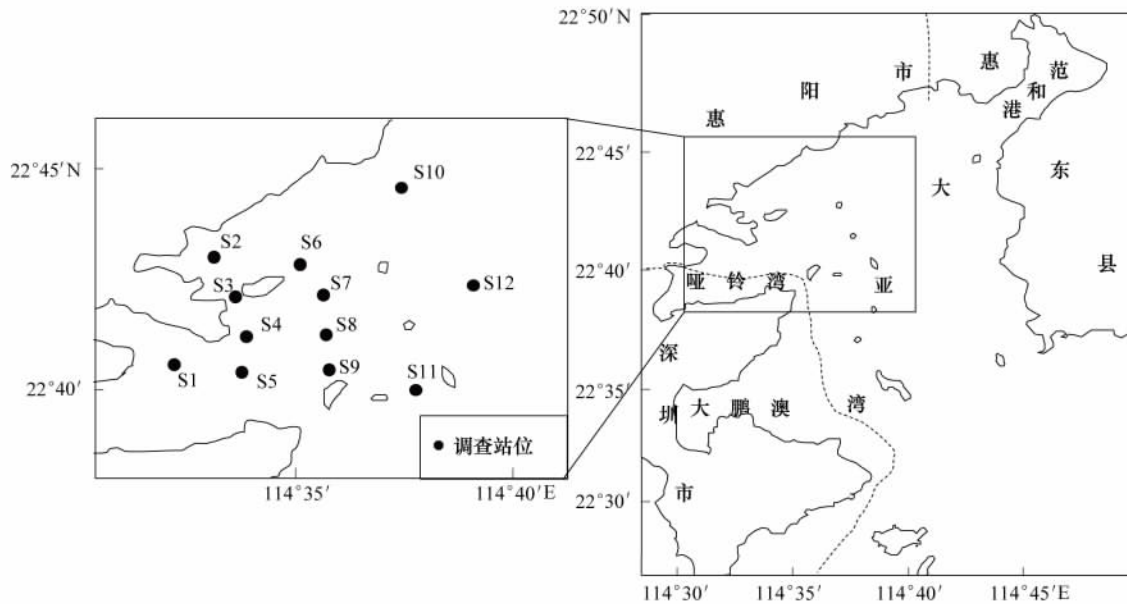


图1 调查站位设置示意图

Fig. 1 Sketch map of sampling stations

1.2 数据统计及分析

大型底栖动物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,首先根据丰度四次方根转换计算的 Bray-Curtis 相似性矩阵,应用组间平均聚类分析和非度量多维标度排序 MDS (Non-metric multi-dimensional scaling) 分析来研究群落结构^[6-9]。SIMPER (Species contributions to similarity) 分析用于分析造成各组内群落结构相似的典型种以及造成不同组之间群落结构差异的分歧种。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。

采用相对重要性指数确定群落中的优势种 相对重要性指数: $IRI = (W + N) \times F$; 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 为该种的出现频率。

采用 Margalef 种类丰富度指数 R 、Shannon-Wiener 指数 H' 以及 Pielou 均匀度 J 来研究大型底栖生物群落多样性。Margalef 种类丰富度指数 R 计算式为: $D = (S - 1) / \ln N$; Shannon-Wiener 指数: $H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$; Pielou 均匀度: $J = H' / \log_2 S$; 式中, S 为样品中的种类总数, P_i 为第 i 种的个体数 (n_i) 与总个体数 (N) 的比值 (n_i/N)。

2 结果

2.1 群落组成

春季大亚湾西北部海域共采集到底栖生物 117 种,其中,多毛类 62 种,软体动物 13 种,节肢动物 31 种,其它动物 11 种,分别占总种数的 53%、11%、26% 和 9%。平均生物量为 122.77 g/m²,平均丰度为 783 个/m²。软体动物占总生物量比例最高,其次为多毛类动物。软体动物的生物量为 106.11 g/m²,占总生物量的 86.4%;多毛类动物的生物量为 10.48 g/m²,占 7.5%;节肢动物生物量为 4.86 g/m²,占 1.8%;而节肢动物和多毛类动物在总丰度中所占比例较高,其数量分别为 293 个/m²、292 个/m²,占总丰度的 37.4%、37.2%,软体动物平均丰度为 182 个/m²,占 23.2%。棘皮动物等其它类群所占比例最低,见表 2。

2.2 群落划分

聚类分析和 MDS 分析表明,春季大亚湾西北部海域大型底栖动物可划分为 4 个群落。S1 和 S10 站组成群落 I, S2、S3、S4、S5、S6、S7、S8 和 S9 站组成群落 II, S11 站形成群落 III, S12 站形成群落 IV。MDS 分析的 stress=0.1,表明该结果较好地反映了样本间的相似关系(图 2)。One-way ANOSIM 检验表明,各群落间的差

异极为显著($R=0.953$ $P=0.001$)。

表2 底栖生物各类群的数量

Table 2 The abundance and biomass of macrobenthos in North-west Daya Bay

	软体动物 Mollusca	多毛类 Annelida	节肢动物 Arthropoda	其它动物 Others	总计 Total
W	106.11	10.48	4.86	1.32	122.77
$W/\%$	86.4	7.5	1.8	0.2	100
N	182	292	293	16	783
$N/\%$	23.2	37.2	37.4	2.1	100

$W, N, W\%, N\%$ 分别表示平均生物量(g/m^2)和平均丰度(个/ m^2)及其占总量的百分比

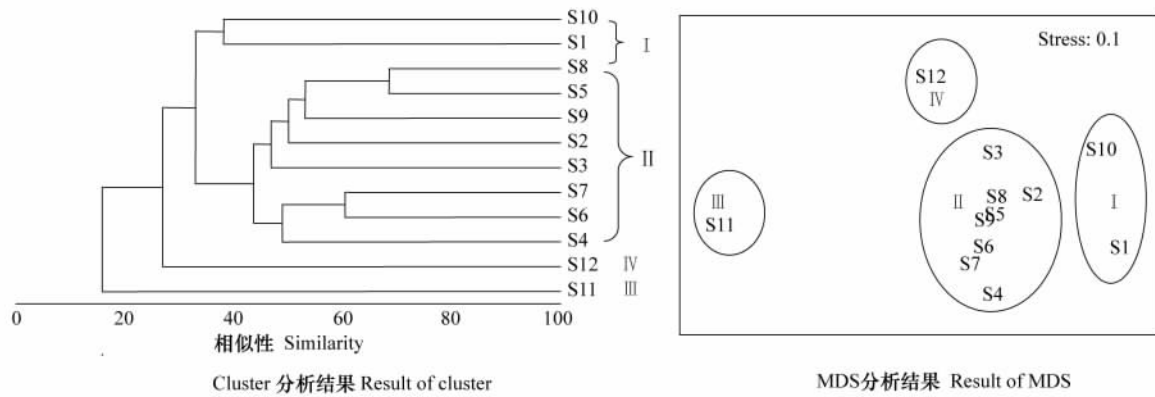


图2 大亚湾西北部大型底栖动物群落结构的聚类分析和序列分析

Fig. 2 Cluster and MDS ordination of macrobenthos in North-west of Daya Bay

2.3 空间分布

群落 I 由分散在澳头港和南海石化基地以南的 2 处近岸区域组成。群落 II 为主体群落, 分布于湾顶西北部围绕着纯州的大部分水域内。群落 IV 分布于群落 II 东侧区域内, 群落 III 分布于马鞭州西侧海域内, 见图 3。

2.4 优势种和特征种组成

2.4.1 全海域优势种组成

春季, 大亚湾西北部海域大型底栖生物优势种由粗帝汶蛤、波纹巴非蛤、上野螺赢蜚、方北鳞虫、刀明樱蛤和角海蛹等 6 种组成($IRI > 1$ 为划分标准), 见表 3。粗帝汶蛤($IRI = 36.5$) 为第一优势种, 其出现频率高达 83%, 在总生物量和丰度中所占比重分别为 25.66% 和 18.12%; 波纹巴非蛤在总生物量和丰度中所占比重分别为 54.177% 和 1.73%, 为第二优势种; 上野螺赢蜚在 75% 的测站中均有出现, 其数量占总生物量和丰度的 0.12% 和 18.12%, 为第三优势种, 其它优势种在总量中所占比例相对较低。

2.4.2 群落优势种组成

因群落 III 和群落 IV 均由一个站位的底栖生物构成, 无法进行优势种和特征种的分析, 以下仅对群落 I 和群落 II 进行优势种和特征种组成分析。

如表 4 所示, 群落的优势种组成远较全海域复杂, 优势种组成之间也存在较大的差异。群落 I 有 14 个优势种, 除波纹巴非蛤和粗帝汶蛤是全海域的优势种外, 其它均为群落 I 的独有优势种; 群落 II 有 12 种优势种,

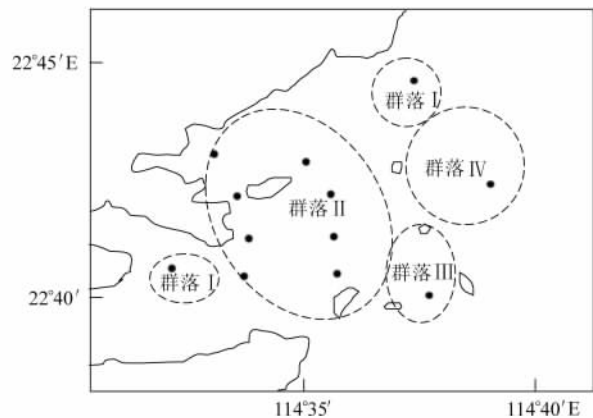


图3 群落空间分布示意图

Fig. 3 The spatial distribution of macrobenthic groups

其中 5 种与全海域的优势种组成相同。群落 I 与群落 II 共同优势种仅有 5 种, 表明群落间的差异较为明显。虽然群落 I 与群落 II 的第一优势种均为软体动物波纹巴非蛤, 但优势种中均以多毛类占优。群落 I 的优势种组成中有寡鳃卷吻沙蚕、花冈钩毛虫和寡节甘吻沙蚕等 6 种多毛类, 群落 II 有丝鳃稚齿虫、花冈钩毛虫和角海蛹等 7 种多毛类, 但群落 II 中多毛类的优势地位低于群落 I。

表 3 底栖生物优势种组成

Table 3 The dominating macrobenthic species in North-west Daya Bay in spring

种类 Species	IRI	W	W/%	N	N/%	F
粗帝汶蛤 <i>Timoclea scabra</i>	36.5	31.50	25.66	143.8	18.12	83
波纹巴非蛤 <i>Paphia undulata</i>	23.2	66.50	54.17	13.8	1.73	42
上野螺赢蜚 <i>Corophium uenoi</i>	13.7	0.12	0.10	143.8	18.12	75
方背鳞虫 <i>Lepidonotus squamatus</i>	1.6	0.01	0.01	0.8	9.66	17
刀明樱蛤 <i>Moerella culter</i>	1.4	2.43	1.98	7.1	0.89	50
角海蛹 <i>Ophelia acuminata</i>	1.4	2.89	2.35	8.8	0.05	58

W, N, W/%, N/% 分别表示平均生物量 (g/m^2) 和平均丰度 ($\text{个}/\text{m}^2$) 及其占总量的百分比, F 表示出现频率

表 4 群落优势种组成

Table 4 The dominating macrobenthic species in different groups

群落 I Group I		群落 II Group II	
种类 Species	IRI	种类 Species	IRI
波纹巴非蛤 <i>Paphia undulata</i>	32.1	波纹巴非蛤 <i>Paphia undulata</i>	31.9
寡鳃卷吻沙蚕 <i>Nephtys oligobranchia</i>	16.8	粗帝汶蛤 <i>Timoclea scabra</i>	24.6
侧底理蛤 <i>Theora lata</i>	16.1	上野螺赢蜚 <i>Corophium uenoi</i>	22.1
花冈钩毛虫 <i>Sigambra hanaokai</i>	15.1	丝鳃稚齿虫 <i>Prionospio malmgreni</i>	13.3
寡节甘吻沙蚕 <i>Glycinde gurjanvae</i>	6.8	花冈钩毛虫 <i>Sigambra hanaokai</i>	11.6
丝鳃稚齿虫 <i>Prionospio malmgreni</i>	4.8	角海蛹 <i>Ophelia acuminata</i>	3.8
粗帝汶蛤 <i>Timoclea scabra</i>	4.8	中蚓虫 <i>Mediomastus</i> sp.	3.4
棒锥螺 <i>Turritella bacillum</i>	4.7	寡鳃卷吻沙蚕 <i>Nephtys oligobranchia</i>	3.3
三齿螺赢蜚 <i>Corophium tridentium</i>	4.0	刀明樱蛤 <i>Moerella culter</i>	2.2
<i>Phyllodocidae</i> und.	3.8	薄片螺赢蜚 <i>Corophium lamellatum</i>	1.5
锤角全刺沙蚕 <i>Nectoneanthes alatopalpis</i>	2.9	奇异稚齿虫 <i>Paraprionospio pinnata</i>	1.3
好斗埃蜚 <i>Erichthonius pugnax</i>	2.4	稚齿虫 <i>Prionospio pulchra</i>	1.1
寄生蛤 <i>Pseudopythina</i> sp.	2.2		
今岛柄涡虫 <i>Stylochus ijimai</i>	1.6		

2.4.3 群落特征种组成

群落的特征种组成和优势种组成存在明显的差异(表 5)。群落 I 的 14 种优势种中仅有花冈钩毛虫、寡鳃卷吻沙蚕、丝鳃稚齿虫、锤角全刺沙蚕和好斗埃蜚 5 种是能表征群落特征的特征种。群落 II 的特征种组成较为复杂, 有上野螺赢蜚、丝鳃稚齿虫、花冈钩毛虫等 12 种组成, 有 9 种也是群落的优势种。群落 II 的优势种和特征种组成中, 各有 3 个种类有所差异; 群落中优势地位较强的种类为软体动物-波纹巴非蛤, 而群落的特征种基本上为多毛类和甲壳类。表明大亚湾西北部大型底栖动物数量上以个体较大的软体动物占优, 但群落的组成则以多毛类和甲壳类为主, 其组成情况基本上反映了群落的特征。

群落 I 和群落 II 种类组成的不相似性达到 82.90%, 第一特征种也完全不同。群落 I 的第一特征种为多毛类花冈钩毛虫和寡鳃卷吻沙蚕, 而群落 II 的第一特征种则为甲壳类上野螺赢蜚。从特征种的组成上划分, 群落 I 是以多毛类-甲壳类为表征, 群落 II 则以甲壳类-多毛类-软体动物为表征。

表5 群落特征种组成

Table 5 The discriminating macrobenthic species in different groups

群落 I Group I		群落 II Group II	
种类 Species	贡献率 Contribute/%	种类 Species	贡献率 Contribute/%
花冈钩毛虫 <i>S. hanaokai</i>	27.03	上野螺赢蜚 <i>C. uenoi</i>	23.38
寡鳃卷吻沙蚕 <i>N. soligobranchia</i>	27.03	丝鳃稚齿虫 <i>P. malmgreni</i>	18.19
丝鳃稚齿虫 <i>P. malmgreni</i>	13.51	花冈钩毛虫 <i>S. hanaokai</i>	17.97
锤角全刺沙蚕 <i>N. alatopalpis</i>	13.51	寡鳃卷吻沙蚕 <i>N. oligobranchia</i>	7.84
好斗埃蜚 <i>E. pugnax</i>	13.51	粗帝汶蛤 <i>T. scabra</i>	6.50
		中蚓虫 <i>M. sp.</i>	5.47
		<i>Phyllodocidae</i> und.	2.52
		奇异稚齿虫 <i>P. pinnata</i>	2.46
		角海蛹 <i>O. acuminata</i>	2.24
		薄片螺赢蜚 <i>C. lamellatum</i>	1.54
		刀明樱蛤 <i>M. culter</i>	1.44
		刚鳃虫 <i>Chaetozone sp.</i>	1.32

2.5 多样性特征

2.5.1 均匀度

大亚湾西北部海域大型底栖动物均匀度为 0.68, 变化范围较大(0.16—0.98)。各群落中, 以群落 I 均匀度最高(0.89), 其它依次为群落 III(0.79)、群落 II(0.68) 和群落 IV(0.16)。

表6 大型底栖动物多样性指数

Table 6 The diversity indices of macrobenthos in North-west Daya Bay

	站位 Station	均匀度(<i>J</i>) Evenness index	丰富度(<i>D</i>) Richness index	多样性指数(<i>H</i>) Shannon-wiener index
群落 I Group I	S1	0.80	2.2	2.01
	S10	0.98	2.4	2.34
	均值	0.89	2.3	2.18
群落 II Group II	S2	0.58	2.1	1.56
	S3	0.82	3.1	2.37
	S4	0.67	5.6	2.46
	S5	0.72	3.4	2.28
	S6	0.62	4.0	2.07
	S7	0.56	4.0	1.89
	S8	0.61	3.5	1.99
	S9	0.87	5.0	3.00
	均值	0.68	3.8	2.20
群落 III Group III	S11	0.79	6.0	2.98
群落 IV Group IV	S12	0.16	1.2	0.35
全海域均值 Average		0.68	3.5	2.11

2.5.2 物种丰富度

大亚湾西北部海域大型底栖动物物种丰富度指数为 3.5, 变化范围较大(1.2—5.6)。各群落中, 以群落 III 丰富度最高(6.0), 其它依次为群落 II(3.8)、群落 I(2.3) 和群落 IV(1.2)。

2.5.3 多样性指数

大亚湾西北部海域大型底栖动物多样性指数为 2.11, 变化范围较大(0.35—3.00)。各群落中, 以群落 III 多样性指数最高(2.98), 其它依次为群落 II(2.20)、群落 I(2.18) 和群落 IV(0.35)。

2.5.4 多样性水平

各群落的种类优势度曲线的变化趋势有所差异,群落Ⅳ的优势度曲线明显高于其它群落,第一种粗帝汶蛤的丰度比例就超过了90%;群落Ⅰ前13种的累积丰度超过90%,其中侧底理蛤所占比例为21.3%,其它种类为寡鳃卷吻沙蚕、花冈钩毛虫、寡节甘吻沙蚕、三齿螺赢蜚、丝鳃稚齿虫等,所占比例均低于20.0%;群落Ⅱ前21种的累积丰度超过90%,其中上野螺赢蜚所占比例为25.1%,其它种类为丝鳃稚齿虫、花冈钩毛虫、粗帝汶蛤、三齿螺赢蜚和中蚓虫等,所占比例均低于15.0%;群落Ⅲ前25种的累积丰度超过90%,其中日本长尾虫和好斗埃蜚所占比例较为接近,分别为17.8%和17.4%,两种占总丰度的35.2%。第三位的是夏威夷亮钩虾,占总丰度的11.3%。其它种类为短刀偏文昌鱼、博氏双眼钩虾、粗帝汶蛤、畸形颚肢虫和瘤突地钩虾等,所占比例均低于5%。

通过种类的 *k*-优势度曲线的分布/图形分析,进行多样性水平的分析与评价。种类的 *k*-优势度曲线(依种类排序的丰度累积百分比图)是用来检验种类丰度组成中包含的优势种类的多少^[10],可用于物种多样性水平的评价^[11]。图中 *x* 轴是种类依丰度的重要性的种数(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水平最高的群落,最上方的曲线则代表多样性最低的群落。如图4所示4个群落中,群落Ⅲ的 *k*-优势度曲线始终位于最下方,群落中累积丰度达到90%所包含的种类数最多,达到25种,且各种所占比例差异较小。群落Ⅳ中仅粗帝汶蛤一种所占比例就高达92.1%,而其它种类所占比例均低于2.0%。因此,群落Ⅲ的多样性水平最高,群落Ⅳ的多样性水平最低。群落Ⅱ与群落Ⅰ的多样性水平与群落Ⅲ较为接近,分别居第二位和第三位。

2.6 群落稳定性

如图5所示4个群落的丰度生物量的ABC曲线均未出现交叉、翻转和重叠的现象,丰度的优势度曲线始终位于生物量优势度曲线的下方,表明大亚湾西北部大型底栖动物群落未受到明显的扰动,生物群落的稳定较好。

通过对比4个群落ABC曲线中丰度和生物量曲线之间的距离,群落Ⅰ和群落Ⅱ的稳定性最好。而群落Ⅲ和群落Ⅳ两条曲线之间的距离较近,表明群落Ⅲ和群落Ⅳ受到一定程度的扰动,群落稳定性较群落Ⅰ和群落Ⅱ差,尤其以群落Ⅳ的稳定性最弱。

3 讨论

3.1 群落差异

优势种和特征种的组成差异,反映出群落Ⅰ与群落Ⅱ之间存在明显的差别。以现场实测的水环境和沉积环境各因子与底栖生物数量分布之间的关系进行分析,表明底栖生物数量分布与海水盐度、海水溶解氧、悬浮物、pH、营养盐、重金属和沉积物总石油烃、有机质、硫化物之间没有显著的相关性,但与沉积物锌含量呈显著负相关。沉积物各因子与底栖生物丰度的相似性矩阵的相关性分析表明,底栖生物与沉积环境之间存在极为显著的相关性($\rho=0.447$, $P=0.002$)。说明大亚湾西北部大型底栖动物的分布与具体环境因子之间的相关性不明显,但受沉积环境各因子的综合影响极为显著。通过沉积环境各因子的主成份分析表明,各因子中硫化物、Cu和Zn的含量对底栖生物的影响较其它因子明显。

从分布的区域来看,群落Ⅰ分布在水深较深的区域内,平均水深为6.8m;群落Ⅱ基本上分布于近岸水域,

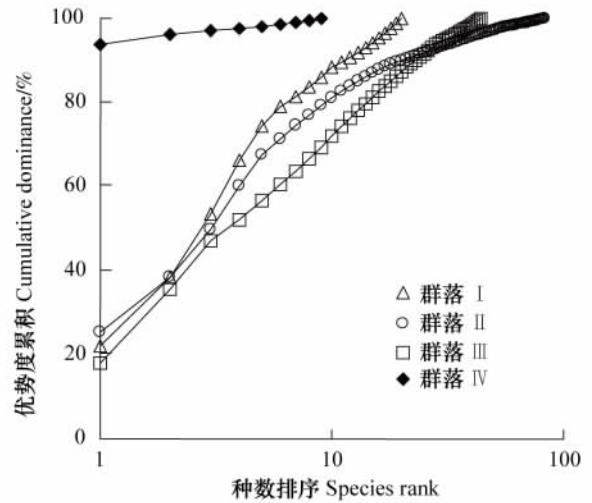


图4 大型底栖动物丰度的 *k*-优势度曲线

Fig.4 *K*-dominance curves of macrobenthos abundance

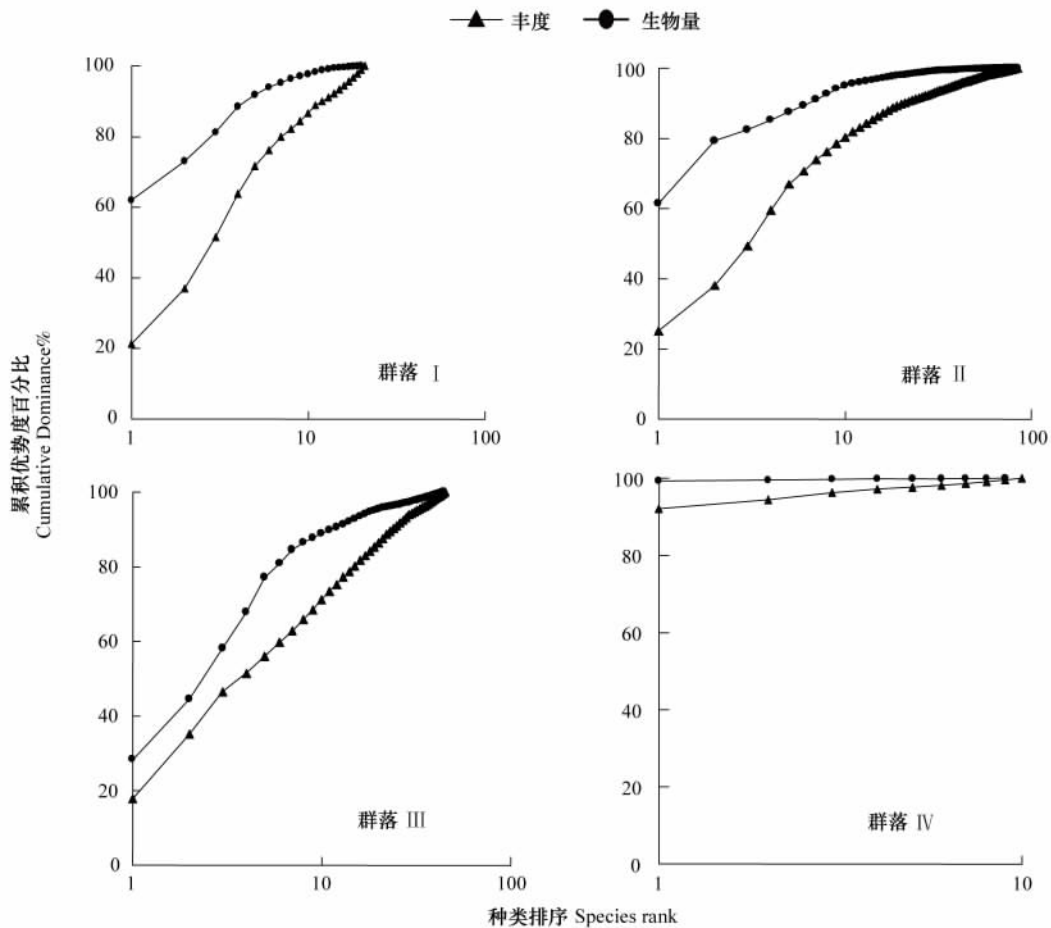


图5 大亚湾西北部大型底栖动物 ABC 曲线

Fig. 5 ABC curves of macrobenthic groups in North-west Daya Bay

平均水深 4.6 m,距河口最近 S2 站的水深仅有 1.0 m,说明水深是对大型底栖动物群落结构影响较大的因子之一^[6,12]。从栖息环境来看,群落 II 所在区域有淡水汇入,分布区域内有大面积的太平洋牡蛎吊养。群落 II 分布区域是大亚湾湾内水交换能力最弱的区域之一,牡蛎吊养产生大量的生物沉降外,还会阻碍水交换,加速淡水带来的大量悬浮物质在该区域内的沉降作用。生物沉降和物理沉降作用,会使该区域沉积物有机物的含量增加及营养水平的提高分布,而有机物和营养盐也是影响大型底栖动物群落的分布的因素之一^[6,9]。群落 II 所在区域内沉积物有机质和硫化物的含量(1.45%、 278.4×10^{-6}),水体悬浮物和活性磷酸盐的含量(33.2 mg/L、0.025 mg/L)均高于群落 I 的分布区(1.06%、 149.8×10^{-6} 、27.7 mg/L、0.018 mg/L)。因此,淡水汇入和牡蛎吊养造成栖息环境的差异,也是造成群落间差异的因素之一。

3.2 群落多样性水平

标志沉积物污染状况的重金属含量对大型底栖动物多样性有较大的影响,沉积物中重金属含量高的区域大型底栖动物多样性低^[13]。通过对 4 个群落所在区域沉积物中 Cu、Pb、Zn、Cr、Hg 和 As 等 6 种重金属含量的标准值进行比较,各群落所在区域含量顺序:群落 III(0.13) < 群落 IV(0.35) < 群落 II(0.46) < 群落 I(0.49)。除群落 IV 所在区域重金属含量较低,但群落多样性水平最低外,各群落所在区域沉积物重金属含量高低基本上反应了大型底栖动物多样性水平差别。表明群落 IV 除重金属的影响外,还有其它的影响因素。群落 IV 所在区域有南海石化的航道通过,航道建设和疏浚工程破坏和改变了原有的底质环境,短期内对大型底栖动物群落的直接影响表现为种类减少、丰度及生物量的降低^[14]。底质环境的稳定需要较长的时间,在这个过程中,生物多样性会出现明显下降的现象。因此,航道建设和疏浚工程带来的底质环境扰动和改变,可能是造成群

落Ⅳ大型底栖动物低多样性水平的主要因素。

3.3 群落稳定性

大亚湾西北部大型底栖动物群落的稳定性较好,群落的 ABC 曲线反映出各群落均未受到明显的扰动,但对比各群落丰度和生物量曲线之间的距离,可以发现群落Ⅲ和群落Ⅳ丰度和生物量曲线之间距离较近,表明这两个群落还是受到一定程度的扰动。群落Ⅰ分布于澳头港和南海石化码头外的海域内,虽然该区域附近建设有码头,海域内有船只频率往来,但海域内基本上没有大的航道通过、没有渔业生产活动开展,表现为人为扰动影响较小。因此,群落Ⅰ具有良好的稳定性;群落Ⅱ所在海域内有大面积的牡蛎吊养生产,沿岸也有围填海工程建设开展。虽然牡蛎吊养生产带来生物沉降和物理沉降作用,使海域内底质环境的有机质含量和营养水平提高,但该海域内牡蛎吊养生产活动开展的时间较短,而且吊养的牡蛎在自然状态下生长,没有人为投入饵料,对底质环境的扰动和影响远较网箱养殖小。此外,群落Ⅱ包含种类较多,优势种和特征种的组成较为复杂,群落也具有较高多样性水平。复杂的种类组成和较高的物种多样性有助于提高生物群落对外来干扰的抵抗能力,因此群落也具有较好的稳定性;群落Ⅲ所在区域是大亚湾海域内甲壳类资源较为丰富的海域,也是拖虾船只传统的作业场所。底拖网渔业生产活动虽然对底质环境的扰动较大,但其对海域底栖环境的“耕种”作用,能使大型底栖动物的数量上升^[15]。因此,群落Ⅲ虽然显示出受到一定程度的扰动,但群落的多样性依然保持较高的水平;群落Ⅳ所在区域有航道通过,4个群落中其包含种类最少,多样性水平最低。航道建设和疏浚工程往往会彻底改变底栖生境,而底栖生境的恢复需要漫长的过程^[16],是对底质环境最为强烈的扰动。因此,群落Ⅳ的稳定性最弱。

致谢:样品鉴定得到了国家海洋局第三海洋研究所江锦祥研究员、李荣冠研究员、郑凤武研究员、郑成祥研究员等的帮助,写作过程中得到了中国水产科学研究院南海水产研究所吴进锋研究员和邱永松研究员的指导,英国东安格利亚大学环境科学院 William W. L. Cheung 博士对英文摘要进行了修改和润色,课题组其它成员在外业调查、样品采集、分析过程中给予帮助,特此致谢。

References:

- [1] Wang Z D, Lian J S, Hu J X, Wei G F. Characteristics of degraded ecosystem in Daya Bay China, *Ecologic Science*, 2003, 22(4), 313-320.
- [2] 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.
- [3] Kroncke I. Long-term change in North Seabenthos. *Senckenbergiana Marit*, 1995, 26(1/2): 73-80.
- [4] Du F Y, Wang X H, Li C H, Zhang H H, Jia X P. Macrobenthic community structure in Daya Bay, South China Sea. *ACTA Ecologica Sinica*. 2009, 29(3), 1091-1098.
- [5] Standardization Administration of China. GB/T 12763. 6—2007 Specifications for oceanographic (survey-Part 6: Marine biological survey). Beijing: Standards Press of China, 2007.
- [6] 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.
- [7] Yuan W, Zhang Z N, Yu Z S, Deng K. A study of macrofauna in the Northwest of Jiaozhou Bay. *Periodical of Ocean University of China*, 2006, 36(Sup.), 91-97.
- [8] Yuan X Z, Lu J J. Influence of diking on the benthic macro-invertebrate community structure and diversity in the south bank of Changjiang Estuary. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(10), 1642-1647.
- [9] Sun Y W, Cao L, Qing Y T, Wang J H, Cheng X S. Analysis of macrobenthos community structure in the adjacent sea area of Changjiang River Estuary. *Marine Science Bulletin*, 2007, 26(2): 66-70.
- [10] Ellis J R, Rogers S I, Freeman S M. Demersal assemblages in the Irish Sea, St George's Channel and Bristol Channel. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 2000, 51(3): 299-315.
- [11] Plate H M, Shaw K M, Lamtshead P J D. Nematode species abundance patterns and their use in the detection of environment perturbations. *Hydrobiology*, 1984, 118(1): 59-66.
- [12] Bi H S. The environmental influences on macrobenthos in Jiaozhou Bay. *Marine Science*, 1997, 1(1), 37-40.
- [13] Han J, Zhang Z N, Yu Z S. Macrobenthic species diversity in southern and central Bohai Sea, China. *Biodiversity Science*, 2003, 11(1), 20-27.
- [14] Newell R C, Seiderer L J, Hitchcock D R. The impact of dredging works in coastal waters: a review of the sensitivity to disturbance and subsequent recovery of biological resources on the sea bed. *Oceanography and Marine Biology Annual Review*, 1998, 36: 127-178.

- [15] Du F Y, Wang X H, Li C H, Jia X P. The variability in secondary productivity of macrobenthos in Daya Bay, South China Sea. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(4), 873-880.
- [16] Zhong J C, Fan C X. Advance in the study on the effectiveness and environmental impact of sediment dredging. *Journal Lake Science*, 2007, 19(1), 1-10.

参考文献:

- [1] 王肇鼎, 练健生, 胡建兴, 韦桂峰. 大亚湾生态环境退化现状与特征. *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. *热带海洋学报* 2004, 23(5): 85-95.
- [4] 杜飞雁, 王雪辉, 李纯厚, 张汉华, 贾晓平. 大亚湾大型底栖动物的群落结构分析. *生态学报* 2009, 29(3): 1091-1098.
- [5] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 12763.6—2007 海洋调查规范(第6部分 海洋生物调查). 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [6] 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.
- [7] 袁伟, 张志南, 于子山, 邓可. 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.
- [8] 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.
- [9] 孙亚伟, 曹恋, 秦玉涛, 王金辉, 程祥圣. 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.
- [12] 毕洪生. 胶州湾环境对底栖生物的影响. *海洋科学* 1997, (1): 37-40.
- [13] 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. *生物多样性* 2003, 11(1): 20-27.
- [15] 杜飞雁, 王雪辉, 李纯厚, 贾晓平. 大亚湾大型底栖动物生产力变化特征初探. *应用生态学报* 2008, 19(4): 873-880.
- [16] 钟继承, 范成新. 底泥疏浚效果及环境效应研究进展. *湖泊科学* 2007, 19(1): 1-10.

附名录

叶须虫科 PHYLLODOCIDAE	球小卷吻沙蚕 <i>Micronephthys sphaerocirrata</i>
<i>Phyllodocidae</i> und. <i>Phyllodocidae</i> und.	锥头虫科 ORBINIIDAE
多鳞虫科 POLYNOIDAE	居虫 <i>Naineris</i> sp.
非拟海鳞虫 <i>Nonparahalosydna pleiolepis</i>	单指虫科 COSSURIDAE
方背鳞虫 <i>Lepidonotus squamatus</i>	单指虫 <i>Cossura</i> sp.
覆瓦哈鳞虫 <i>Harmothoe imbricata</i>	海稚虫科 SPIONIDAE
哈鳞虫 <i>Harmothoe</i> sp.	才女虫 <i>Polydora</i> sp.
蠕鳞虫科 ACOETIDAE	海稚虫 <i>Spio</i> sp.
黑斑蠕鳞虫 <i>Acoetes melanonota</i>	腹沟虫 <i>Scolelepis</i> sp.
锡鳞虫科 SIGALIONIDAE	丝鳃稚齿虫 <i>Prionospio malmgreni</i>
日本强鳞虫 <i>Sthenolepis japonica</i>	袋稚齿虫 <i>Prionospio ehlersi</i>
金扇虫科 CHRYSOPETALIDAE	稚齿虫 <i>Prionospio pulchra</i>
短卷虫 <i>Bhawania brevis</i>	稚齿虫 <i>Prionospio cf. sexoculata</i>
海女虫科 HESIONIDAE	奇异稚齿虫 <i>Paraprionospio pinnata</i>
结海虫 <i>Leocrates chinensis</i>	<i>Spionidae</i> und. <i>Spionidae</i> und.
狭细蛇潜虫 <i>Ophiodromus angustifrons</i>	长手沙蚕科 MAGELONIDAE
<i>Podarkeopsis</i> sp. <i>Podarkeopsis</i> sp.	栉状长手沙蚕 <i>Magelona crenulifrons</i>
白毛虫科 PILARGIIDAE	丝鳃虫科 CIRRATULIDAE
花冈钩毛虫 <i>Sigambra hanaokai</i>	刚鳃虫 <i>Chaetozone</i> sp.
钩毛虫 <i>Sigambra</i> sp.	细丝鳃虫 <i>Cirratulus filiformis</i>
裂虫科 SYLLIDAE	毛须鳃虫 <i>Cirriformai filigera</i>
<i>Syllidae</i> und. <i>Syllidae</i> und.	独毛虫 <i>Tharyx</i> sp.
沙蚕科 NEREIDAE	小头虫科 CAPITELLIDAE
光突齿沙蚕 <i>Leonnates persica</i>	小头虫 <i>Capitella capitata</i>
异须沙蚕 <i>Nereis heterocirrata</i>	中蚓虫 <i>Mediomastus</i> sp.
多齿全刺沙蚕 <i>Nectoneanthes multignatha</i>	异蚓虫 <i>Heteromastus</i> sp.
锤角全刺沙蚕 <i>Nectoneanthes alatopalpis</i>	背蚓虫 <i>Notomastus latericeus</i>
吻沙蚕科 GLYCERIDAE	海蛹科 OPHELIIDAE
倦旋吻沙蚕 <i>Glycera convoluta</i>	阿曼吉虫 <i>Armandia</i> sp.
白色吻沙蚕 <i>Glycera alba</i>	角海蛹 <i>Ophelina acuminata</i>
角吻沙蚕科 GONIADIDAE	仙女虫科 AMPHINOMIDAE
寡节甘吻沙蚕 <i>Glycinde gurjanvae</i>	拟刺虫 <i>Linopherus</i> sp.
齿吻沙蚕 NEPHTYIDAE	欧努菲虫科 ONUPHIDAE
双鳃内卷齿蚕 <i>Aglaophamus dibranchis</i>	智利巢沙蚕 <i>Diopatra chiliensi</i>
叶须内卷齿蚕 <i>Aglaophamus lobatus</i>	矾沙蚕科 EUNICIDAE
东方内卷齿蚕 <i>Aglaophamus orientalis</i>	滑指矾沙蚕 <i>Eunice indica</i>
内卷齿蚕 <i>Aglaophamus</i> sp.	扁平岩虫 <i>Marphysa depressa</i>
寡鳃卷吻沙蚕 <i>Nephtys oligobranchia</i>	索沙蚕科 LUMBRINERIIDAE

- 纳加索沙蚕 *Lumbrineris nagae*
 花索沙蚕科 ARABELLIDAE
 线沙蚕 *Drilonereis filum*
 不倒翁虫科 STERNASPIDAE
 不倒翁虫 *Sternaspis scutata*
 笔帽虫科 PECTINARIDAE
 笔帽虫 *Pectinaria* sp.
 双栉虫科 AMPHARETIDAE
Ampharete macrobranchia *Ampharete macrobranchia*
 等栉虫 *Isolda pulchella*
 毛鳃虫科 TRICHOBRACHIDAE
 梳鳃虫 *Terebellides stroemii*
 蛭龙介科 TEREELLIDAE
 似蛭虫 *Amaeana* sp.
 扁蛭虫 *Loimia medusa*
 树蛭虫 *Pista* sp.
 长吻海蜘蛛科 NYMPHONIDAE
 日本长吻海蜘蛛 *Nymphon japonicum*
 藤壶科 BALANIDAE
 三角藤壶 *Balanus trigonus*
 涟虫科 BODOTRIDAE
 细长涟虫 *Iphinoe tener*
 针尾涟虫科 DIASTYLIDAE
 三叶针尾涟虫 *Diastylis tricineta*
 长尾虫科 ASPEUDIDAE
 日本长尾虫 *Aspeudes nipponicus*
 畸形螯肢虫 *Sphyrapus anomalus*
 仿原足虫科 PARATANIDAE
 细螯原足虫 *Leptochelia dubia*
 巨颚水虱科 GNATHIIDAE
 锯齿巨颚水虱 *Gnathia dentata*
 拟背尾水虱科 PARANTHURIDAE
 日本拟背尾水虱 *Paranthura japonica*
 双眼钩虾科 AMPELISCIDAE
 美原双眼钩虾 *Ampelisca miharaensis*
 博氏双眼钩虾 *Ampelisca bocki*
 短角双眼钩虾 *Ampelisca brevicornis*
 利尔钩虾科 LILJEBORGIDAE
 中华利尔钩虾 *Liljeborgia sinica*
 弯指伊氏钩虾 *Idunella curvirectyla*
 钩虾科 GAMMARIDAE
 塞切尔泥钩虾 *Eriopisella sechellensis*
 螺赢蜚科 COROPHIIDAE
 好斗埃蜚 *Erichthonius pugnax*
 日本大螯蜚 *Grandidierella japonica*
 凯特螺赢蜚 *Corophium kitamorii*
 薄片螺赢蜚 *Corophium lamellatum*
 三齿螺赢蜚 *Corophium tridentium*
 上野螺赢蜚 *Corophium uenoii*
 杯尾螺赢蜚 *Corophium* sp.
 夏威夷亮钩虾 *Photis hawaiiensis*
 地钩虾科 PODOCERIDAE
 瘤突地钩虾 *Podocerus tuberculosus*
 麦杆虫科 CAPRELLIDAE
 圆鳃麦杆虫 *Caprella penantis*
 瓷蟹科 PORCELLANIDAE
 岩瓷蟹 *Petrolistes* sp.
 鼓虾科 ALPHEIDAE
 日本鼓虾 *Alpheus japonicus*
 梭子蟹科 PORTUNIDAE
 变态螯 *Charybdis variegata*
 长脚蟹科 GONEPLACIDAE
 太阳强蟹 *Eucrate solaris*
 扇蟹科 XANTHIDAE
 特异扇蟹 *Xantho distinguendus*
 长脚蟹科 GONEPLACIDAE
 齿腕拟盲蟹 *Typhlocarcinops denticarpes*
 豆蟹科 PINNOTHERIDAE
 模糊新短眼蟹 *Neoxenophthalmus obscurus*
 牡蛎科 OSTREIDAE
 长牡蛎 *Crassostrea gigas*
 拉沙蛤科 LASAEIDAE
 寄生蛤 *Pseudopythina* sp.
 猿头蛤科 CHAMIDAE
 草莓猿头蛤 *Chama fraga*
 樱蛤科 TELLINIDAE
 西咪樱蛤 *Cadella semen*
 刀明樱蛤 *Moerella culter*
 白樱蛤 *Macoma* sp.
 双带蛤科 SEMELIDAE
 侧底理蛤 *Theora lata*
 帘蛤科 VENERIDAE
 粗蒂汶蛤 *Timoclea scabra*
 美叶雪蛤 *Clausinella calophylla*
 波纹巴非蛤 *Paphia undulata*
 帽贝科 PATELLIDAE
 帽贝 *patelloida* sp.
 锥螺科 TURRITELLIDAE
 棒锥螺 *Turritella bacillum*
 壳蛞蝓科 PHILINIDAE
 经氏壳蛞蝓 *Philine kinglipini*
 沙菜科 HYPNEACEAE
 鹿角沙菜 *Hypnea cervicornis*
 丛柳珊瑚科 PLEXAURIDAE
 丛柳珊瑚 *Euplexaura* sp.
 柄涡科 STYLOCHIDAE
 今岛柄涡虫 *Stylochus ijimai*
 纽形动物 NEMERTINEA
 纽虫 *Nemertinea* und.
 革囊星虫科 PHASCOLOSOMATIDAE
 革囊星虫 *Phascolosoma* sp.
 草苔虫科 BUGULIDAE
 多室草苔虫 *Bugula neritina*
 阳遂足科 AMPHIURIDAE
 倍棘蛇尾 *Amphiplus* sp.
 克氏三齿蛇尾 *Amphiodia (Amphispina) clarki*
 近辐蛇尾 *Ophiactis affinis*
 裂星海胆科 SCHIZASTERIDAE
 凹裂星海胆 *Schizaster lacunosus*
 文昌鱼科 AMPHIOXIDAE
 短刀偏文昌鱼 *Asymmetron culfellum*