

象山港大型底栖动物群落特征*

顾晓英¹ 陶磊¹ 尤仲杰^{1,2} 焦海峰² 施慧雄² 楼丹²

(1. 宁波大学生命科学与生物工程学院 宁波 315211; 2. 宁波市海洋与渔业研究院 宁波 315012)

提要 2006 年 7 月—2008 年 8 月, 对象山港全港海域设立的 13 个采样站位采集的调查资料, 用物种丰富度指数、物种均匀度指数和物种多样性指数分析象山港大型底栖动物物种的多样性和群落种类的组成, 以及采用 ABC 曲线方法和大型多元统计分析软件 PRIMER5 对象山港大型底栖动物进行 Bray-Curtis 相似性聚类分析和非度量 MDS 标序, 研究象山港大型底栖动物群落结构。调查显示象山港大型底栖动物不同采样站位之间物种丰富度指数(d)、均匀度指数(J)、辛普森多样性指数(D)和香农-威纳多样性指数(H')差异皆高度显著($P < 0.01$)。群落结构聚类分析和 MDS 标序表明, 13 个采样站位的大型底栖动物群落大致可分为 3 组。根据所调查象山港大型底栖动物的丰度和生物量资料做的 ABC 曲线分析表明, 该海域大型底栖动物群落受到了严重的环境污染或者扰动, 逐渐由一种或几种个体较小的种类占优势。

关键词 象山港, 大型底栖动物, 群落生态学, 多样性

中图分类号 Q958.1

海洋大型底栖生物在水生态系统中起着多种作用, 除加速水底碎屑的分解、调节泥水界面的物质交换及促进水体的自净等作用外, 还是水生态系统食物链的重要环节, 其数量的多少影响着经济鱼、虾资源的数量和渔业的发展。与此同时, 由于海洋大型底栖动物生活相对稳定(固定底内或短距离活动), 对海洋环境污染反应敏感, 因此其污染效应具有指示性、综合性和持续性。在污染监测研究领域, 海洋大型底栖动物一直是研究的焦点。研究者普遍认为, 深入开展海洋大型底栖动物的生态学研究, 对于了解海洋底栖生态系统的结构和功能, 开展海洋生物监测, 建立生态动力学模型和讨论水层-底栖耦合机制, 进而对实现海洋生物资源的持续利用和海洋农牧化生产具有十分重要的科学意义(张志南, 2000; Margalef, 1979; Rhoads, 1970, 1974; Rhoads *et al.*, 1978; Bonsdorff *et al.*, 1993; Officer *et al.*, 1991; Resh *et al.*, 1995)。

海洋大型底栖动物的研究一直备受关注。早期工作主要针对海洋大型底栖动物群落的定性研究(林双淡等, 1980, 1984, 1986; 杨万喜, 1996, 1998, 1999),

近来研究则主要集中在海洋大型底栖动物群落的定量及其群落结构的生态学研究(章飞军等, 2007; 陈斌林等, 2007; 郑荣泉等, 2007)。关于象山港底栖生物生态的研究, 自 20 世纪 70 年代以来有一些报道。高爱根等(2003, 2005)在研究象山港内网箱养殖容量时对港内养殖区和非养殖区的底栖生物做过比较研究, 王金辉等(2006)研究了象山港大型底栖生物的多样性, 高爱根等(2004)报道了象山港电厂建设前 2002 年冬季底栖生物的分布特征。作者于 2006—2008 年对象山港的海洋大型底栖动物生态进行了初步研究, 旨在揭示该区域底栖动物群落生态变化规律, 为进一步研究群落结构乃至海洋生态系统打下基础。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

象山港是宁波市东部沿海沿西南方向楔入内陆的一个半封闭式狭长型港湾, 海域总面积 563km², 岸线总长 270km, 有大小岛屿 59 个。象山港区域内环境优美、资源丰富, 集“港、渔、涂、岛、景”五

* 宁波市重大科技计划项目, 2006C100030 号。顾晓英, 副教授, E-mail: guxiaoying@nbu.edu.cn

通讯作者: 尤仲杰, 研究员, E-mail: zuyou@163.com

收稿日期: 2009-05-21, 收修改稿日期: 2009-07-26

大优势资源于一身,是浙江省乃至全国重要的海水增养殖基地和多种经济鱼类洄游、索饵和繁育场所以及菲律宾蛤仔等经济性贝类苗种自然产区。象山港作为一个完整的自然地理单元,是海洋生态系统与陆地生态系统的有机综合体,因其独特的地理区位和资源优势,是宁波市发展海洋经济最重要的天然资源之一,其海洋开发利用功能多重重叠,在宁波市发展海洋经济、建设“海洋经济强市”中具有重要的地位。

1.2 采样方法

定量采集 在象山港内共设 13 个大面站位(图 1)。2006 年 7 月—2008 年 8 月,以春(4 月)、夏(7 月)、秋(10 月)、冬(1 月)四个季度代表月为外业采样时间,采样用 0.05m² HNM 型采泥器,泥样经 0.5mm 套筛现场冲洗,生物样品用 5%福尔马林溶液现场固定,在实验室称重后分析鉴定。采样和室内分析按《海洋调查规范》(国家技术监督局,1991)进行。

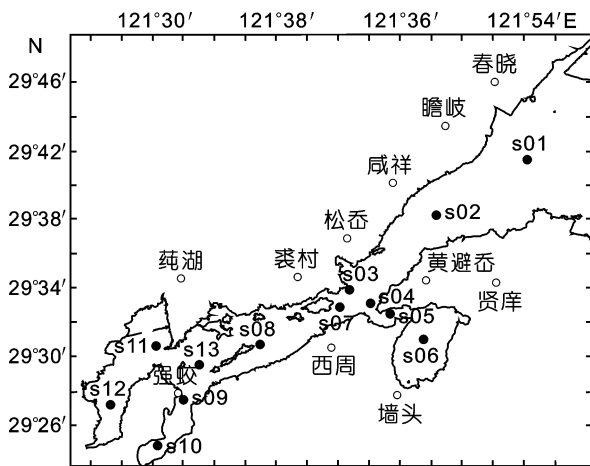


图 1 调查站位

Fig.1 The survey stations

1.3 数据处理与分析

运用物种丰富度指数(d)、均匀度指数(J)、辛普森多样性指数(D)和香农-威纳多样性指数(H')对潮间带大型底栖动物进行分析。公式如下:

Margalef 物种丰富度指数(species richness): $d =$

$$\frac{S-1}{\ln N};$$

Pielou 物种均匀度指数(species evenness or equi-

$$\text{tability}): J = \frac{H'}{\log_2 S};$$

辛普森多样性指数(Simpson's diversity index): $D =$

$$1 - \sum_{i=1}^S P_i^2;$$

香农-威纳多样性指数(Shannon-Weiner index):

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

其中, N 为采泥样品中所有种类的总个体数, S 为采泥样品中的种类总数, P_i 为第 i 种的个体数与样品中的总个数的比值(沈国英等, 2002)。用 SPSS13.0 软件对大型底栖动物群落数据进行站位和周年为因素的双因素方差分析, 显著水平设置为 0.05, 高度显著水平设置为 0.01。应用 Primer5.0 软件中的 Bray-Curtis 相似性系数聚类和多维排序尺度方法(MDS)对群落结构进行分析。并用丰度/生物量比较曲线, 即 ABC 曲线(Abundance and Biomass Curves)来监测环境污染对大型底栖动物群落的扰动。

2 结果

2.1 物种丰富度、均匀度和群落多样性

2006 年 7 月—2008 年 8 月对象山港大型底栖动物的物种丰富度指数(d)、均匀度指数(J)、辛普森多样性指数(D)和香农-威纳多样性指数(H')进行分析, 结果见表 1。从表 1 中可以看出, 不同站位间大型底栖动物物种丰富度、均匀度和多样性指数波动幅度较大。用 SPSS13.0 统计分析软件, 以站位和周年为因子, 对 d 、 J 、 D 和 H' 进行双因素方差分析。结果表明: 不同站位之间 4 种指数的差异皆高度显著。 d ($F_{12,12} = 11.52 > F_{0.01(12,12)} = 4.16$)、 J ($F_{12,12} = 37.41 > F_{0.01(12,12)} = 4.16$)、 D ($F_{12,12} = 13.67 > F_{0.01(12,12)} = 4.16$)、 H' ($F_{12,12} = 15.51 > F_{0.01(12,12)} = 4.16$)。对周年之间的差异进行比较, J 无显著差异, d 差异显著, D 、 H' 差异皆高度显著。

J ($F_{1,12} = 0.21 < F_{0.05(1,12)} = 4.75$)、 d ($F_{1,12} = 6.62 >$

$F_{0.05(1,12)} = 4.75$)、 D ($F_{1,12} = 13.11 > F_{0.01(1,12)} = 9.33$)、

H' ($F_{1,12} = 11.48 > F_{0.01(1,12)} = 9.33$)。

2.2 群落分布聚类分析

Primer5.0 正是基于以等级相似性为基础的非参数多元统计技术而开发的大型多元统计软件, 已被广泛应用于海洋群落的结构、功能和生物多样性的研究, 并逐渐向生态监测和环境评价的方向发展。利用 Primer5.0 对象山港大面 13 个站位进行群落分布聚类分析, 根据群落 Bray-Curtis 相似性系数, 构建群落等级聚类树枝图(图 2)。由图 2 可以看出, 聚类分析结果中 13 个群落可分为 3 组, I 组包括 S06、S05、S09、S11 和 S12; II 组包括 S07、S02、S01、S03、S13、S08 和 S04; III 组包括 S10。III 组 S10 站位象山港的黄墩港流域, 该群落中大型底栖动物种类组成与 I 组群落

表 1 象山港大型底栖动物的物种丰富度指数(d)、均匀度指数(J)、辛普森多样性指数(D)和香农-威纳多样性指数(H')
Tab.1 The distribution of species richness (d), evenness indices (J), Simpson's diversity (D), and Shannon-Weiner index (H'), of macrobenthos in the Xiangshan Bay

站位	密度 (ind/m ²)	生物量 (g)	d	J	D	H'
S01	25.00	13.46	0.36	0.97	0.45	1.01
S02	28.33	6.36	0.38	0.95	0.47	1.07
S03	23.33	1.49	0.54	1.00	0.61	1.39
S04	51.67	15.06	0.55	0.92	0.60	1.50
S05	67.14	35.75	0.77	0.93	0.66	1.79
S06	91.88	38.28	1.03	0.92	0.76	2.27
S07	28.33	7.31	0.35	0.94	0.44	0.97
S08	37.00	14.29	0.32	0.98	0.46	1.02
S09	106.43	71.73	1.00	0.89	0.71	2.13
S10	715.00	97.31	0.65	0.32	0.22	0.73
S11	138.57	30.53	0.60	0.75	0.48	1.26
S12	245.63	31.18	0.51	0.64	0.32	0.89
S13	43.33	10.29	0.50	0.94	0.58	1.37

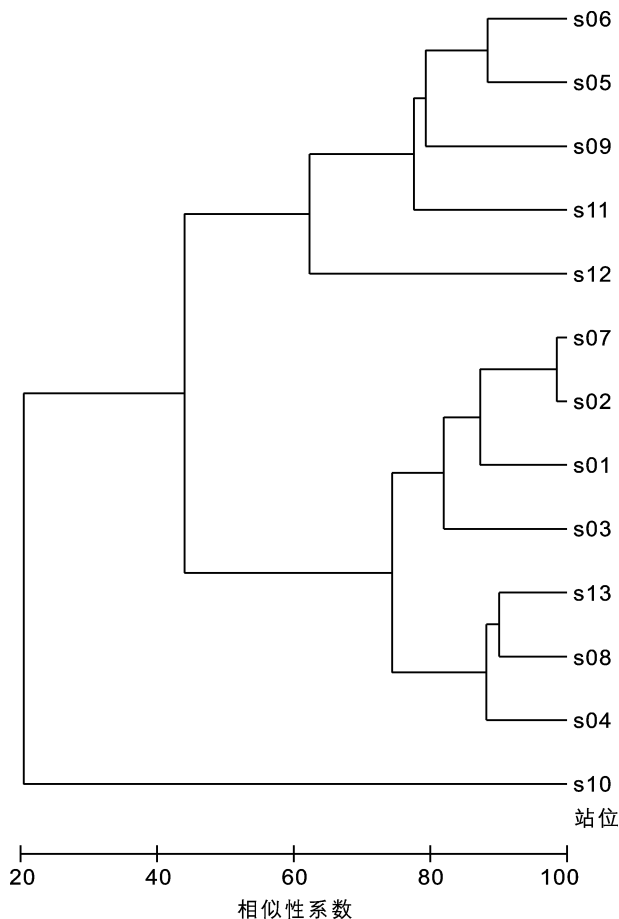


图 2 象山港大型底栖动物群落种类组成的等级聚类树枝图

Fig.2 The dendrogram for the similarity matrix of macrobenthic communities of the Xiangshan Bay

中的相似性较高, I 组包括的站位位于象山港铁港、西沪港等其它支港流域。因此, I 组、III 组群落最先聚合在一起。II 组包括的站位主要位于象山港的主港流域, 种类组成较 I、III 组有很大的差异。

2.3 群落 MDS 排序分析

用多维排序尺度方法(MDS)对象山港大面 13 个站位进行群落结构分析。由 MDS 排序图中呈现的不同程度分离点阵见图 3。由图 3 可知, 13 个站位群落样本可划分为 3 群。I 组包括 S03、S01、S07、S02、S08、S13 和 S04; II 组包括 S05、S11、S06、S09 和 S12; III 组包括 S10。MDS 排序结果与群落分布聚类分析结果一致, 进一步验证了聚类分析的结果。

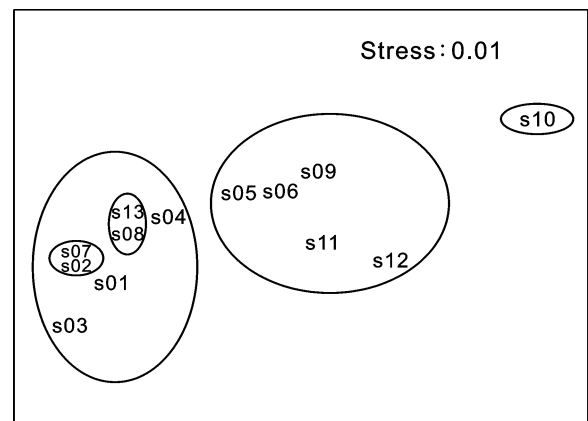


图 3 象山港大型底栖动物群落 MDS 排序分析
Fig.3 The MDS for the similarity matrix of macrobenthic communities of the Xiangshan Bay

2.4 ABC 曲线分析

海洋大型底栖动物生活相对稳定(固定底内或短距离活动),对海洋环境污染反应敏感,具有污染效应指示性。Warwick(1986)提出用丰度/生物量比较曲线(ABC 曲线)法来监测环境污染对大型底栖动物群落的扰动,并对不同海域、不同生境中的大型底栖动物群落进行了验证,结果表明:对于任何物理性、生物性以及污染扰动引起的大型底栖动物群落变化,ABC 曲线都能灵敏地做出反应(Craeymeersch, 1991; Dauer *et al.*, 1993; Stenton-Dozey *et al.*, 1999; Smith *et al.*, 1998)。根据所调查象山港 13 个大面站位的丰度和生物量数据做 ABC 曲线(图 4)。由图 4 可知,象山港大型底栖动物的 ABC 曲线中丰度曲线位于生物量曲线之上,说明象山港大型底栖动物群落受到了严重的环境污染或者扰动,大型底栖群落逐渐由一种或几种个体较小的种类占优势。

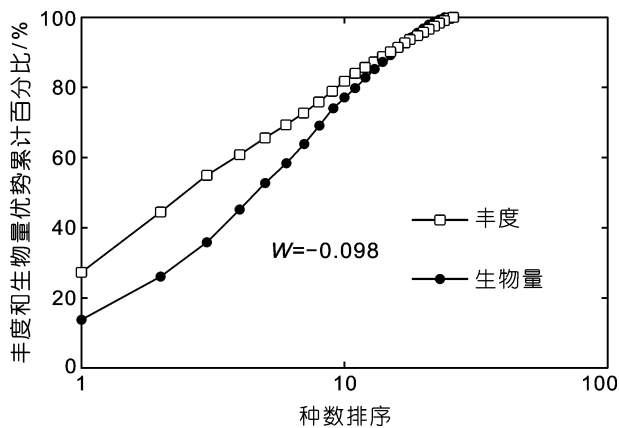


图 4 象山港大型底栖动物 ABC 曲线

Fig.4 ABC plots of macrobenthos in the Xiangshan Bay

3 讨论

3.1 底栖动物群落多样性分析

通过对象山港大型底栖动物种类数量的组成和物种多样性调查结果分析,以及与其它港湾地区的

调查数据比较(表 2)。结果表明:象山港海域的大型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)物种丰富度指数低,物种数目日益减少。象山港全港流域全年平均物种丰富度指数仅为 0.58,远远低于胶州湾、泉州湾以及大亚湾的物种丰富度指数,略高于乐清湾的物种丰富度指数。(2)物种多样性指数低,群落结构简单化。象山港大型底栖动物群落逐渐由一种或几种个体较小的种类占优势。大型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、大亚湾等其它海域也有发生。(3)种类更替明显,主要种类组成发生变化。与历史调查资料相比,象山港大型底栖动物种类组成中,多毛类的种类显著减少,软体动物和甲壳动物种类的数量有所上升。对周年之间的多样性指数进行方差分析,结果显示差异高度显著。这表明该海域底栖生态环境已发生了较大的改变。

3.2 群落结构特点

对象山港海域大型底栖动物群落结构聚类分析和 MDS 排序分析结果表明,13 个采样站位群落结构相似性程度较高。除 S10 号站位外,其它站位间 Bray-Curtis 相似性系数皆超过 50%。S10 站位作为菲律宾蛤仔的主产区,菲律宾蛤仔在数量组成上占据绝对的优势,使该海域的物种多样性指数皆为全港最低值。对 13 个站位进行群落结构分类,主要可以分为主港海域和支港海域两种类群。这是由于象山港主港海域环境与支港海域环境存在着显著差异,形成不同的生境,不同的生境栖息着不同结构的底栖动物群落,导致各个站位的底栖动物群落结构存在着差异。

3.3 海域环境的污染问题

对象山港海域大型底栖动物群落进行 ABC 曲线分析表明,象山港大型底栖动物群落受到了严重的环境污染或者扰动。该污染扰动的成因可能比较复杂,可能与包括电厂在内的临港工业快速开发以及港内

表 2 象山港与其它港湾地区的物种丰富度指数(d)、均匀度指数(J)、辛普森多样性指数(D)和香农-威纳多样性指数(H')比较

Tab.2 The distribution of species richness (d), evenness indices (J), Simpson's diversity (D), and Shannon-Weiner index (H'), of macrobenthos in the Xiangshan Bay compared with other harbour areas

海域	d	J	H'	D	参考文献
象山港	0.58	0.86	1.34	0.52	—
胶州湾	2.88	—	0.83	3.44	于海燕等, 2006
泉州湾	2.41	0.59	1.68	0.14	李荣冠等, 2006
乐清湾	0.52	0.91	1.67	0.59	杨俊毅等, 2007
大亚湾	1.16	0.74	2.08	—	杜飞雁等, 2004

海水养殖迅猛发展有着密切的关系。主要因素为:(1)近20年来,象山港沿岸工农业、小城镇高速发展,大量污染物进入象山港海域,导致港内环境质量下降,局部出现富营养化现象,使该海域的大型底栖动物生物量急剧下降。(2)随着象山港沿岸围塘养殖面积不断扩大和海水养殖业的迅猛发展,使底栖动物的栖息地范围变小,使该海域的大型底栖动物种类数量日益减少。(3)象山港沿岸电厂长期向港内排放温水,致使电厂区域的水温急剧上升,破坏了生境,引起了生物种类和数量的变化,尤其对生活在海底表层、活动范围较小、栖息环境相对稳定的底栖生物的影响更为明显。这些因素都直接或间接地影响到象山港海域大型底栖动物的群落结构。

参 考 文 献

- 于海燕,李新正,李宝泉等,2006. 胶州湾大型底栖动物生物多样性现状. 生态学报, 26(2): 416—422
- 王金辉,杨春旺,孙亚伟等,2006. 象山港大型底栖动物的生物多样性和次级生产力研究. 天津农学院学报, 13(2): 24—28
- 杜飞雁,张汉华,李纯厚等,2004. 大亚湾大型底栖动物种类组成及物种多样性. 中国水产科学, 15(2): 252—259
- 李荣冠,王建军,郑成兴等,2006. 泉州湾大型底栖生物群落生态. 生态学报, 26(11): 3563—3571
- 杨万喜,1996. 嵎泗列岛潮间带群落生态学研究 I. 岩相潮间带底栖生物群落组成及季节变化. 应用生态学报, 7(7): 305—309
- 杨万喜,1998. 嵎泗列岛潮间带群落生态学研究 II. 岩相潮间带底栖动物的群落结构. 应用生态学报, 9(1): 75—78
- 杨万喜,1999. 嵎泗列岛潮间带群落生态学研究 III. 岩相潮间带底栖生物的种类分布. 东海海洋, 17(1): 60—65
- 杨俊毅,高爱根,宁修仁,2007. 乐清湾大型底栖生物群落特征及其对水产养殖的响应. 生态学报, 27(1): 34—41
- 沈国英,施并章,2002. 海洋生态学(第2版). 北京: 科学出版社, 7
- 张志南,2000. 水层-底栖耦合的某些进展. 青岛海洋大学学报, 30(1): 115—122
- 陈斌林,方涛,李道季,2007. 连云港近岸海域底栖动物群落组成及多样性特征. 华东师范大学学报(自然科学版), 3(2): 1—10
- 林双淡,张水漫,蔡尔西等,1980. 杭州湾北岸潮间带生态学研究 1. 软相底栖动物群落调查. 海洋学报, 12(4): 121—131
- 林双淡,张水漫,蔡尔西等,1984. 杭州湾北岸软相潮间带底栖动物群落结构的分析. 海洋学报, 3(2): 235—243
- 林双淡,张水漫,蔡尔西等,1986. 杭州湾北岸潮间带生态学研究 2. 软相底栖动物群落的变化. 生态学报, 9(3): 253—261
- 国家技术监督局,1991. 海洋调查规范,海洋生物调查, GB12763.6-91
- 郑荣泉,张永普,李灿阳等,2007. 乐清湾滩涂大型底栖动物群落结构的时空变化. 动物学报, 53(2): 390—398
- 高爱根,杨俊毅,陈全震等,2003. 象山港养殖区与非养殖区大型底栖生物生态比较研究. 水产学报, 27(1): 25—31
- 高爱根,杨俊毅,胡锡钢等,2004. 2002年冬季象山港大型底栖生物生态分布特征. 东海海洋, 22(2): 28—34
- 高爱根,陈全震,胡锡钢等,2005. 象山港网箱养鱼区大型底栖生物生态特征. 海洋学报, 27(4): 108—112
- 章飞军,童春富,张衡等,2007. 长江口潮下带春季大型底栖动物的群落结构. 动物学研究, 28(1): 47—52
- Bonsdorff E, Blomqvist E M, 1993. Biotic coupling on shallow water soft bottoms-examples from the Northern Baltic Sea. Oceanogr Mar Biol Ann Rev, 31: 153—176
- Craeymeersch J A, 1991. Applicability of the abundance/biomass comparison method to detect pollution effects on intertidal macrobenthic communities. Hydrobiological Bulletin, 24: 133—140
- Dauer D M, Luckenbach M W, Rodi Jr A J, 1993. Abundance biomass comparison (ABC method): effects of an estuarine gradient, anoxic/hypoxic events and contaminated sediments. Marine Biology, 116: 507—518
- Margalef R, 1979. The organization of space. Oikos, 33: 152—159
- Officer C B, Smayda T J, Mann R, 1991. Benthic filter feeding: a natural eutrophication control. Mar Ecol Prog Ser, 69: 179—188
- Resh V H, Norris R H, Barbour M T, 1995. Design and implementation of rapid assessment approaches for water resource monitoring using benthic macroinvertebrates. Australian Journal of Ecology, 20: 108—121
- Rhoads D C, 1970. Mass properties, stability and ecology of marine muds related to burrow activity. Journal of Geology, U K, 391—460
- Rhoads D C, 1974. Organism-sediment relations on the muddy sea floor. Oceanography and Marine Biology Annual Review, 12: 263—300
- Rhoads D C, McCall P L, Yingst J Y, 1978. Disturbance and production on the estuarine sea floor. American Scientist, 66: 577—586
- Smith S D A, Simpson R D, 1998. Recovery of benthic communities at Macquarie Island (sub-Antarctic) following a small oil spill. Marine Biology, 131: 567—581
- Stenton-Dozey J M E, Jackson L F, Busby A J, 1999. Impact of mussel culture on macrobenthic community structure in Saldanha Bay, South Africa. Marine Pollution Bulletin, 39: 357—366
- Warwick R M, 1986. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities. Mar Biol, 92: 557—562

THE MACROBENTHIC COMMUNITY OF THE XIANGSHAN BAY

GU Xiao-Ying¹, TAO Lei¹, YOU Zhong-Jie^{1,2}, JIAO Hai-Feng²,
SHI Hui-Xiong², LOU Dan²

(1. Faculty of Life Science and Biotechnology, Ningbo University, Ningbo, 315211;
2. Ningbo Academy of Oceanology and Fisheries, Ningbo, 315012)

Abstract We collected macrobenthic samples in 13 intertidal stations in the Xiangshan Bay, Zhjejiang, in July 2006 to August 2008, and analyzed the macrobenthic community using the Species Richness Index (d), Species Evenness Index (J), Species Diversity Index (D), and Shannon-Weiner Index (H'). Adopted the ABC Curve method and PRIMER5.0 we analyzed the Bray-Curtis similarity matrix and MDS analysis of Xiangshan bay macrobenthos. The investigation showed that the differences in d , J , D and H' of Xiangshan Bay macrobenthos between different sampling stations were highly significant. The results of CLUSTER and MDS show that the macrobenthic community of the Xiangshan Bay constitutes three groups. The results of ABC Curve method indicated that the macrobenthic community affected by pollution and other human activities had been gradually dominated by one or several types of smaller individuals.

Key words Xiangshan Bay, Macrobenthos, Community ecology, Diversity