

文章编号: 1674 - 5566(2015)03 - 0430 - 11

象山港中部海域大型底栖动物群落组成及多样性特征

董 鹏¹, 张海波¹, 叶仙森¹, 徐 韧², 周 进³

(1. 国家海洋局宁波海洋环境监测中心站, 浙江 宁波 315040; 2. 国家海洋局东海环境监测中心, 上海 201206;
3. 中国水产科学研究院东海水产研究所 农业部东海与远洋渔业资源开发利用重点实验室, 上海 200090)

摘 要: 2012 年 4 月、7 月、9 月和 12 月对象山港海域 11 个大面站进行了大型底栖动物调查研究, 采用优势度 (Y)、Shannon-Weaver 多样性指数 (H')、Margalef 丰度指数 (d)、Pielou 均匀度指数 (J') 分析该海域大型底栖动物优势种、物种多样性及群落种类组成, 用 Bray-Curtis 相似性系数聚类分析和多维排序尺度 (MDS) 分析大型底栖生物群落结构, 以及采用丰度/生物量比较曲线 (ABC 曲线) 法分析大型底栖动物群落受污染扰动的状况。调查结果显示软体动物中的半褶织纹螺 (*Nassarius semiplicatus*) 成为最主要的优势种, 4 季均可成为优势群体; Shannon-Weaver 多样性指数平面分布与 Margalef 丰度指数平面分布大体一致, Pielou 均匀度指数的空间变化相较于 Margalef 丰度指数与 Shannon-Weaver 多样性指数变化不大, 说明每站种类组成的差异较小, 站间分布均匀; 大型底栖动物群落 4 季主要分布为靠近调查海域北岸和中部的站位相似性较高和靠近调查海域南岸的站位相似性较高, 海域环境的不同形成不同的生境, 进而在群落结构分布上形成不同的类群; ABC 曲线分析表明, 4 月、7 月大型底栖动物群落未受到污染扰动, 9 月、12 月受到了轻微的污染或者扰动, 主要影响因素与温排水、工业三废的排放、自然岸线和湿地面积的减少有关。

研究亮点: 近年来象山港西周工业园、临港开发区建设的多座电厂、水泥厂等相继投入生产, 加上原有的船厂、避风锚地等海洋工程建设, 对海湾生态系统构成了巨大压力, 这些海洋工程主要集中在象山港中部海域, 目前鲜有研究者分析象山港中部海域两岸海洋工程对大型底栖动物群落结构的影响, 本研究以 4 月、7 月、9 月、12 月为 4 个季度代表月对象山港中部海域大型底栖动物进行定量调查, 研究结果可为象山港海域海洋资源科学利用与可持续发展提供一定的现实依据和技术支撑。

关键词: 象山港; 大型底栖动物; 群落结构; 多样性

中图分类号: Q 145.2; S 932.8

文献标志码: A

象山港处于浙江北部沿海, 北面紧靠杭州湾, 南邻三门湾, 东侧为舟山群岛, 位于 $29^{\circ}24' \sim 29^{\circ}48'N$, $121^{\circ}23' \sim 122^{\circ}03'E$, 是一个纵长约 70 km 的较为典型的半封闭狭长海湾, 湾内水产资源丰富, 气候条件适宜, 岸线曲折, 陆地岸线总长 280 km, 是浙江省最重要的海水增殖基地和渔业资源产地, 也是浙江省发展海洋经济重要的天然资源, 因其独特的地理区位和资源优势, 掀起了前所未有的海洋开发热潮^[1-3], 近年来象山港西周工业园、临港开发区建设的多座电厂、水泥厂等相继投入生产, 再加上原有的船厂、避风锚

地等海洋工程建设, 对海湾生态系统构成了巨大压力。原来的岸线环境被破坏后影响栖息于其中的生物, 那些依靠水流滤食浮游生物的底栖动物首先面临威胁, 原来的沙质底可能变成泥质底, 群落结构就将发生变化^[4]。此外, 作为半封闭的海湾纳潮量不足、水动力减弱、自净能力有限, 长期积累的大量污染物质无法扩散出去更加重了这一压力。海湾是一个十分敏感的海陆交替的复合生态系统, 承受了人类高强度的开发利用活动^[5]。

底栖生物在海洋生态系统的能流和物流中

收稿日期: 2014-09-22 修回日期: 2015-03-02

基金项目: 农业部东海与远洋渔业资源开发利用重点实验室项目(2013K05)

作者简介: 董 鹏(1988—), 男, 硕士研究生, 研究方向为海洋生态环境监测与评价。E-mail: dongpeng@eastsea.gov.cn

通信作者: 张海波, E-mail: zhanghaibo@eastsea.gov.cn

占有重要位置,底栖生物中的大型种类具有浮游生活的幼体阶段,沉积食性的生物扰动和悬浮食性的生物沉降对海洋生态系统起着调节和控制作用^[6],底栖动物可以利用水层沉降的有机碎屑,通过营养关系促进有机物质的分解,在水层-底栖耦合过程中使海洋生态系统连接成为一个整体。可以根据其群落结构的变化来了解周围生态环境的动态变化,因此大型底栖动物群落结构和多样性的变化常常用来评价和监测湖泊、河流、海湾等水环境的质量和污染状况,国内外在这方面的研究也较多^[7-14]。本研究通过 2012 年象山港海域大型底栖动物定量调查数据,分析象山港海域两岸海洋工程对大型底栖动物群落结构的影响,探究该群落多样性与季节及海洋工程关系特征,旨在丰富该海域大型底栖动物群落结构的理论认知,并为象山港海域海洋资源科学利用与可持续发展提供一定的现实依据和技术支撑。

1 研究方法

1.1 站位设置与采样方法

本研究所用数据来源于 2012 年对象山港中部海域 11 个大面站开展的调查采样(图 1)。以春(4 月)、夏(7 月)、秋(9 月)、冬(12 月)4 个季节代表月为采样时间,使用 0.1 m² 箱式采泥器定量取样,每站连续取样 4 次。泥样用孔径 0.5 mm 网筛现场冲洗,底栖样品用 5% 福尔马林现场固定。实验室中进行分拣、鉴定、称重及分析。样品的获取及实验室处理均严格按照《海洋调查规范》^[15] 进行。

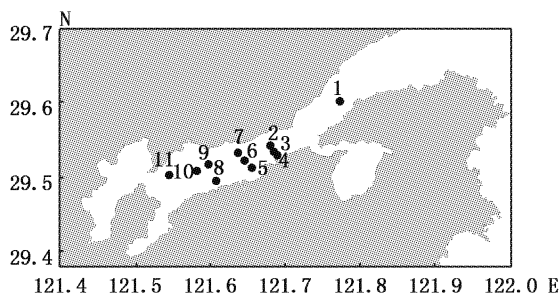


图 1 采样站位

Fig. 1 Sampling stations in the Xiangshan Bay

1.2 数据处理

使用多元统计软件 PRIMER 5.2.8 进行统计分析,大型底栖生物群落划分采用 Bray-Curtis 相

似性系数,Bray-Curtis 相似性系数高的站位可以认为具有相同的生态群落组成,将得到的相似矩阵分别进行 CLUSTER 聚类 and MDS 排序分析,聚类分析和多维排序尺度分析均在种类丰度数据进行平方根转换以后进行^[16]。群落稳定性分析采用丰度生物量比较法进行^[17-18],为减少机会种对群落结构的干扰,本研究删除在总体中相对丰度小于 1% 的种,但保留其中在任一站位相对丰度大于 3% 的种^[19]。

群落多样性是衡量群落稳定性的重要尺度。测量生物群落的多样性一般从以下两个方面来考虑,一是群落中物种的丰富性,二是群落中物种的异质性,不同的多样性指数所强调的物种丰富性和异质性的程度有所不同^[20]。本研究使用 Shannon-Weaver 多样性指数(H')、Margalef 丰度指数(d)和 Pielou 均匀度指数(J')3 种指数,同样使用多元统计软件 PRIMER 5.2.8 进行计算。上述 3 项指数的空间分布等值线图使用 Surfer 11.0 绘制。

优势种的优势度(Y)公式:

$$Y = \frac{n_i}{N} \cdot f_i \quad (1)$$

式中: n_i 为第 i 种的个体数; f_i 为该种在各站位出现的频率; N 为每个种出现的总个数。当 $Y > 0.02$ 时该种为优势种。

2 结果与分析

2.1 种类组成和优势种

大型底栖动物共鉴定出 25 种,其中多毛类 7 种,占总数的 28%;软体动物 11 种,占总数的 44%;甲壳类 1 种,占总数的 4%;棘皮动物 4 种,占总数的 16%;其他 2 种,占总数的 8%,种类组成以沿岸低盐广布种为主。冬季(12 月)20 种,种类最多;夏季(7 月)18 种,种类次之;秋季(9 月)15 种,种类略低;春季(4 月)11 种,种类最少。

大型底栖动物优势种 8 种,包括多毛类 2 种,为不倒翁虫(*Stetnaspis sculata*)和双鳃内卷齿蚕(*Aglaophamus dibranchis*);软体动物 4 种,为半褶织纹螺(*Nassarius semiplicatus*)、薄云母蛤(*Yoldia similis*)和纵肋织纹螺(*Nassarius varicifex*)、马氏光螺(*Melanella martinii*);棘皮动物 2 种,为棘刺锚参(*Protankyra bidentata*)和金氏真蛇尾

(*Ophiura kinbergi*)。其中,4月优势种是不倒翁虫(优势度0.17)、半褶织纹螺(优势度0.16)、薄云母蛤(优势度0.03);7月优势种是半褶织纹螺(优势度0.23)、金氏真蛇尾(优势度0.06)、棘刺锚参(优势度0.03)、马氏光螺(优势度0.02);9月优势种是不倒翁虫(优势度0.22)、半褶织纹螺(优势度0.17)、纵肋织纹螺(优势度0.03)、双鳃内卷齿蚕(优势度0.02);12月优势种是半褶织纹螺(优势度0.16)、不倒翁虫(优势度0.09)、双鳃内卷齿蚕(优势度0.04)、金氏真蛇尾(优势度0.03)、纵肋织纹螺(优势度0.03)。半褶织纹螺(*Nassarius semiplicatus*)在本研究调查采样中成为最主要的优势种,4季均可成为优势群体,优势度(Y)最高为0.23,出现频率以7月、12月最高,可达91%,9月次之,为82%,4月为64%。

2.2 栖息密度和生物量

4月大型底栖动物栖息密度变化范围为5~10 ind/m²,平均为7.76 ind/m²,软体动物栖息密度占总密度的44.44%;7月栖息密度变化范围为5~40 ind/m²,平均为10.55 ind/m²,软体动物栖息密度占总密度的51.72%;9月栖息密度变化范围为5~25 ind/m²,平均为9.36 ind/m²,软体动物栖息密度占总密度的47.73%;12月栖息密度

变化范围为5~20 ind/m²,平均为9.17 ind/m²,软体动物栖息密度占总密度的45.45%(表1)。栖息密度季节变化为夏季>秋季>冬季>春季,软体动物栖息密度的季节变化决定了平均栖息密度的季节变化。

4月大型底栖动物生物量变化范围为0.05~18.35 g/m²,平均为2.69 g/m²;7月生物量变化范围为0.05~23.95 g/m²,平均为2.43 g/m²;9月生物量变化范围为0.05~9.40 g/m²,平均为1.34 g/m²;12月生物量变化范围为0.05~13.85 g/m²,平均为1.98 g/m²。4季生物量组成均以棘皮动物为主,4月占总生物量的91.92%,7月占82.37%,9月占58.74%,12月占62.43%,棘皮动物生物量的季节变化决定了平均生物量的季节变化,据近年监测结果显示该海域有机营养物质极为丰富,大量代谢产物和有机碎屑的沉降为生活在底层的食沉积物动物和滤食性底栖动物提供了较佳的生长空间。高爱根等在象山港养殖区与非养殖区大型底栖生物的研究中指出,棘皮动物在大型底栖生物生物量分布中占很高比率,该类动物在一些河口软底质区内能获得大量发展,并成为群落优势种^[21]。

表1 大型底栖动物栖息密度及生物量组成

Tab. 1 Inhabited density and biomass of macrobenthos in the Xiangshan Bay

类别 species	4月 April		7月 July		9月 September		12月 December	
	范围 range	平均值 average	范围 range	平均值 average	范围 range	平均值 average	范围 range	平均值 average
栖息密度/(ind/m ²) density	5~15	7.76	5~40	10.55	5~25	9.36	5~20	9.17
生物量/(g/m ²) biomass	0.05~18.35	2.69	0.05~23.95	2.43	0.05~9.40	1.34	0.05~13.85	1.98

2.3 群落物种多样性

大型底栖动物多样性指数平面分布见图2~图5。4月多样性指数变化范围为0.92~1.52,平均值为1.28,高值区出现在调查海域北岸的2、7、11号站位,低值区为靠近南岸的8号站位和弯外的1号站位;7月多样性指数变化范围为1.84~2.56,平均值为2.13,高值区为调查海域中部的6号站位,低值区为靠近内弯的10、11号站位;9月多样性指数变化范围为1.79~2.25,平均值为1.97,高值区为靠近北岸的11号站位,低值区靠近南岸的3、5号站位;12月多样性指数变化范围为1.79~2.48,平均值为2.20,高值区为

靠近北岸11号站位,低值区为靠近南岸的3、8号站位。

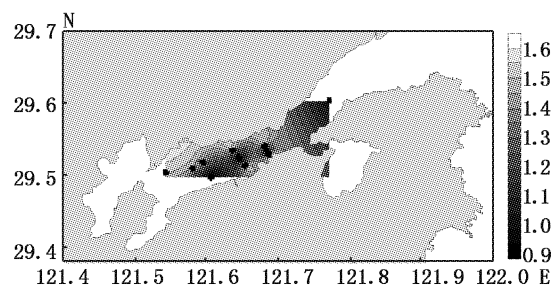


图2 4月大型底栖动物多样性指数平面分布
Fig. 2 Horizontal distribution of Shannon-Weaver diversity index in April

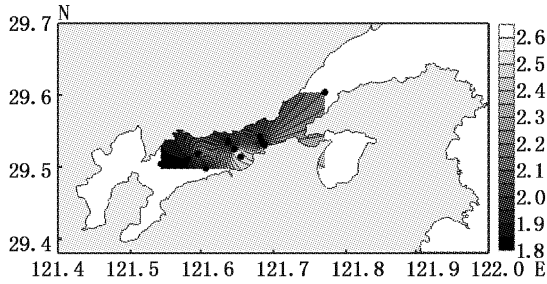


图 3 7 月大型底栖动物多样性指数平面分布
Fig. 3 Horizontal distribution of Shannon-Weaver diversity index in July

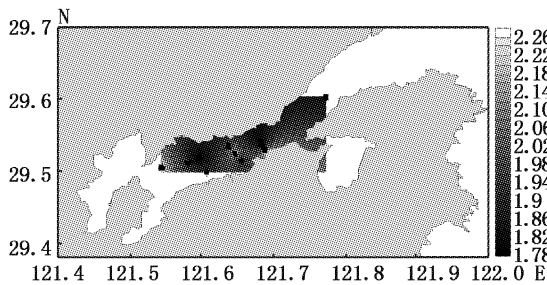


图 4 9 月大型底栖动物多样性指数平面分布
Fig. 4 Horizontal distribution of Shannon-Weaver diversity index in September

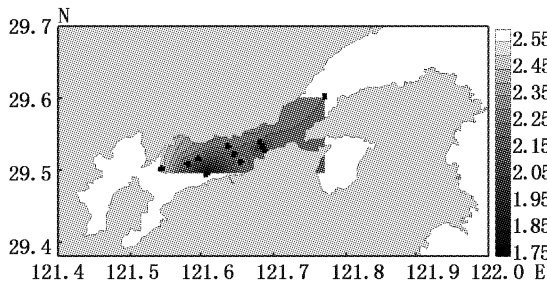


图 5 12 月大型底栖动物多样性指数平面分布
Fig. 5 Horizontal distribution of Shannon-Weaver diversity index in December

大型底栖动物 4 月丰度指数变化范围为 0.23 ~ 0.46, 平均值为 0.37, 高值区出现在调查海域北岸的 2、7 号站位, 低值区为靠近湾外的 1 号站位(图 6); 7 月丰度指数变化范围为 0.52 ~ 1.07, 平均值为 0.7, 高值区为调查海域中部的 6 号站位, 低值区为靠近南岸的 8 号站位和靠近内湾的 10、11 号站位(图 7); 9 月丰度指数变化范围为 0.52 ~ 0.82, 平均值为 0.62, 高值区为靠近北岸的 11 号站位, 低值区为靠近南岸的 3、5 号站位和靠近象山港湾外的 1 号站位(图 8); 12 月丰度指数变化范围为 0.61 ~ 0.86, 平均值为 0.72, 高值区为靠近北岸 11 号站位, 低值区为靠近南岸的 8 号站位(图 9)。Margalef 丰度指数的平面

分布与 Shannon-Weaver 多样性指数平面分布大体一致。

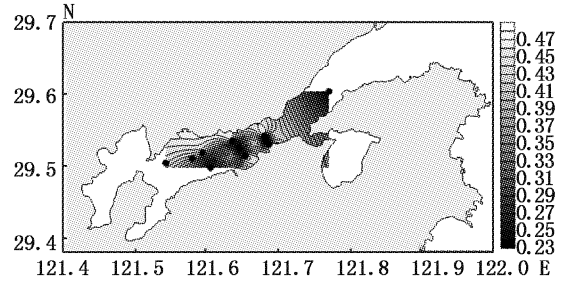


图 6 4 月大型底栖动物丰度指数平面分布
Fig. 6 Horizontal distribution of Margalef richness index in April

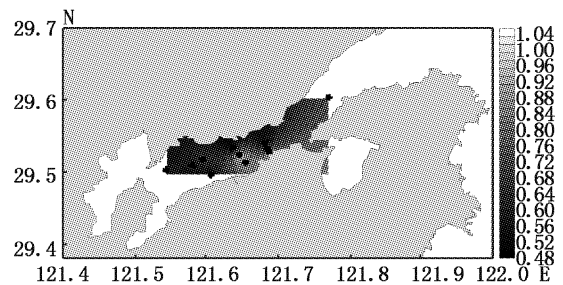


图 7 7 月大型底栖动物丰度指数平面分布
Fig. 7 Horizontal distribution of Margalef richness index in July

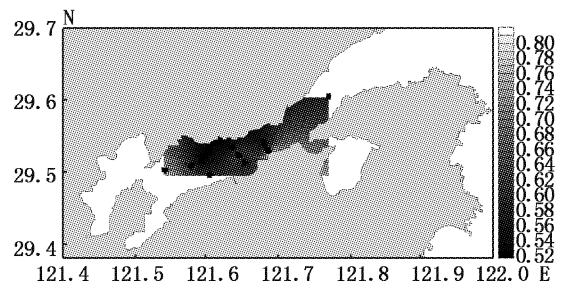


图 8 9 月大型底栖动物丰度指数平面分布
Fig. 8 Horizontal distribution of Margalef richness index in September

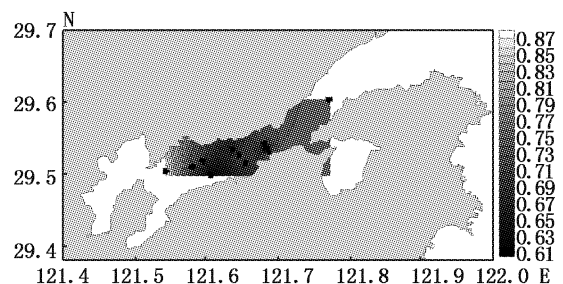


图 9 12 月大型底栖动物丰度指数平面分布
Fig. 9 Horizontal distribution of Margalef richness index in December

大型底栖动物 4 月均匀度指数变化范围为

0.86~1, 平均值为 0.93, 高值区出现在调查海域北岸的 11 号站位, 低值区为中部的 9 号站位(图 10); 7 月均匀度指数变化范围为 0.85~0.99, 平均值为 0.93, 高值区为靠近北岸的 2 号站位, 低值区为靠近南岸的 3 号站位(图 11); 9 月均匀度指数变化范围为 0.89~0.99, 平均值为 0.94, 高值区为靠近北岸的 7 号站位, 低值区为中部的 9 号站位和靠近南岸的 3、5 号站位和湾外的 1 号站位(图 12); 12 月均匀度指数变化范围为 0.90~0.99, 平均值为 0.96, 高值区为中部的 2 号站位, 低值区为靠近南岸的 8 号站位(图 13)。Pielou 均匀度指数的空间变化相较于 Margalef 丰度指数与 Shannon-Weaver 多样性指数变化不大, 说明每站种类组成的差异较小, 站间分布均匀。

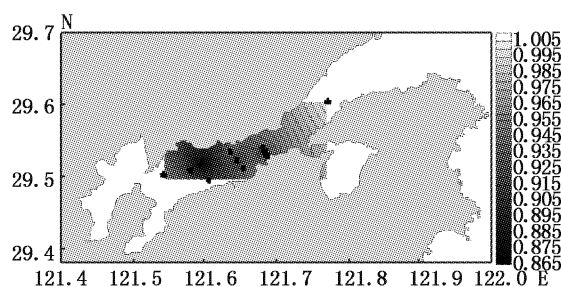


图 10 4 月大型底栖动物均匀度指数平面分布

Fig. 10 Horizontal distribution of Pielou evenness index in April

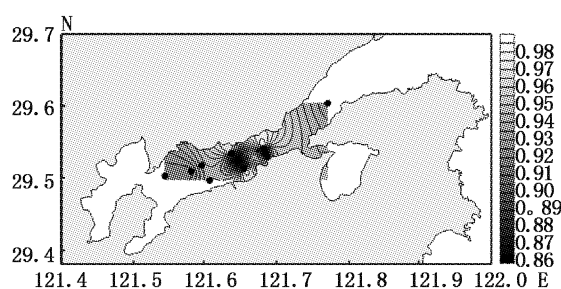


图 11 7 月大型底栖动物均匀度指数平面分布

Fig. 11 Horizontal distribution of Pielou evenness index in July

2.4 群落结构分析

4 月大型底栖动物群落 CLUSTER 聚类及 MDS 排序分析见图 14、15。根据群落 Bray-Curtis 相似性系数聚类分析, 在相似性系数为 40% 的水平上, 将 11 个站位大型底栖动物划分为 3 个群落。I 为金氏真蛇尾-纵肋织纹螺群落, 包括 2、7 站位, 靠近调查海域北部; II 为半褶织纹螺-薄云

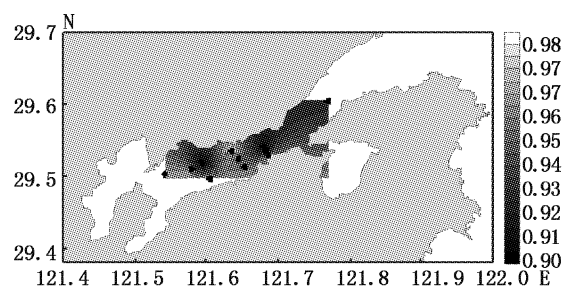


图 12 9 月大型底栖动物均匀度指数平面分布

Fig. 12 Horizontal distribution of Pielou evenness index in September

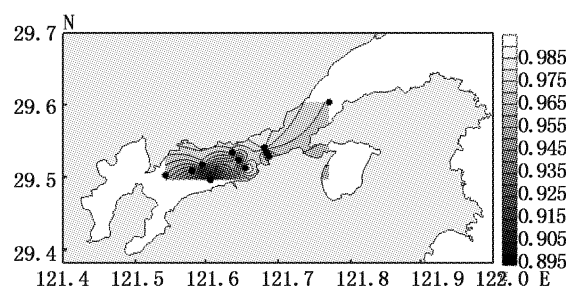


图 13 12 月大型底栖动物均匀度指数平面分布

Fig. 13 Horizontal distribution of Pielou evenness index in December

母蛤-棘刺锚参群落, 包括 1、4、5、8 站位, 靠近调查海域南岸; III 为不倒翁虫-半褶织纹螺-棘刺锚参群落, 包括 3、6、9、10、11 站位, 主要是调查海域中部站位。群落结构的二维 MDS 分析压力系数 (stress) 小于 0.1, 则认为所得到的 MDS 图形可以正确解释样本间的相似关系; 当其值小于 0.2, 认为其图形有一定的解释意义; 当其值大于 0.2, 则认为其图形不能正确解释群落结构间的关系^[22-24], 本研究压力系数为 0.07, 说明可以正确解释样本间相似关系, 为了更好地解释样本间群落组成相似关系, 在 MDS 图上相应勾划了聚类分析的聚类组, MDS 排序分析结果与聚类分析结果一致, 表明该图形很好地反映了群落间的相似性程度, 同时也进一步验证了聚类分析的结果。

7 月大型底栖动物群落 CLUSTER 聚类及 MDS 排序分析见图 16、17。根据群落 Bray-Curtis 相似性系数聚类分析, 在相似性系数为 40% 的水平上, 将 11 个站位大型底栖动物划分为 3 个群落。I 为金氏真蛇尾-不倒翁虫群落, 为 7 站位, 靠近调查海域北部; II 为半褶织纹螺-棘刺锚参群落, 为 4 站位, 靠近调查海域南岸; III 为半褶织纹

螺-金氏真蛇尾-棘刺锚参-马氏光螺群落,包括 1、2、3、5、6、8、9、10、11 站位,站位比较分散,压力系数为 0.15,说明可以正确解释样本间相似关系。

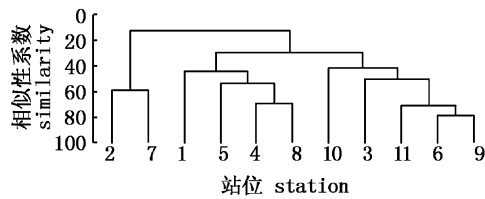


图 14 4 月大型底栖动物群落种类组成等级聚类树枝图

Fig. 14 The dendrogram for the similarity matrix of macrobenthos communities in April

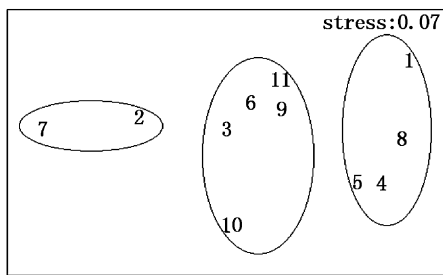


图 15 4 月大型底栖动物群落 MDS 排序分析
Fig. 15 The MDS for the Similarity matrix of macrobenthos communities in April

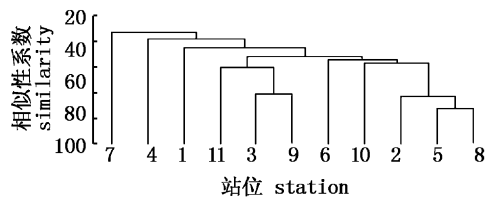


图 16 7 月大型底栖动物群落种类组成等级聚类树枝图

Fig. 16 The dendrogram for the similarity matrix of macrobenthos communities in July

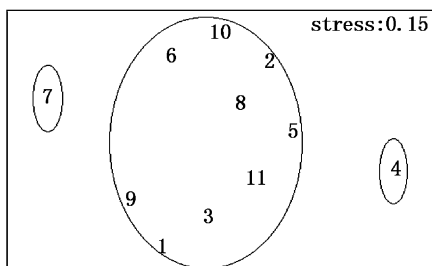


图 17 7 月大型底栖动物群落 MDS 排序分析
Fig. 17 The MDS for the similarity matrix of macrobenthos communities in July

9 月大型底栖动物群落 CLUSTER 聚类及 MDS 排序分析见图 18、19。据群落 Bray-Curtis 相似性系数聚类分析,在相似性系数为 40% 的水平

上,将 11 个站位大型底栖动物划分为 3 个群落。I 为半褶织纹螺-棘刺锚参群落,为 4 站位,靠近调查海域南岸;II 为不倒翁虫-半褶织纹螺-双鳃内卷齿蚕群落,包括 2、5、6、8、10、11 站位,靠近调查海域中部和南岸;III 为不倒翁虫-半褶织纹螺-纵肋织纹螺群落,包括 1、3、7、9 站位,靠近调查海域中部和弯外,压力系数为 0.13,可以正确解释样本间相似关系。

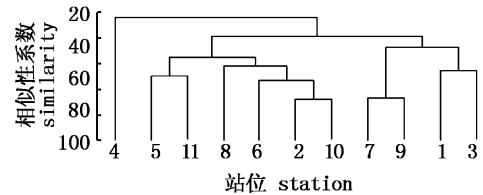


图 18 9 月大型底栖动物群落种类组成等级聚类树枝图

Fig. 18 The dendrogram for the similarity matrix of macrobenthos communities in September

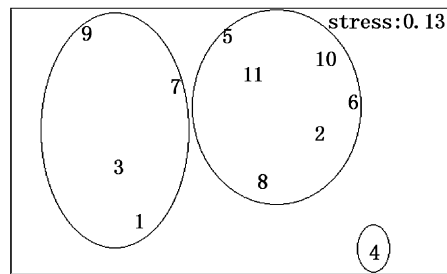


图 19 9 月大型底栖动物群落 MDS 排序分析
Fig. 19 The MDS for the similarity matrix of macrobenthos communities in September

12 月大型底栖动物群落 CLUSTER 聚类及 MDS 排序分析见图 20、21。据群落 Bray-Curtis 相似性系数聚类分析,在相似性系数为 40% 的水平上,将 11 个站位大型底栖动物划分为 4 个群落。I 为半褶织纹螺-不倒翁虫-纵肋织纹螺群落,包括 3、5、7、8、9 站位,靠近调查海域南岸和中部;II 为半褶织纹螺-棘刺锚参群落,为 4 站位,靠近调查海域南岸;III 为半褶织纹螺-不倒翁虫-双鳃内卷齿蚕-金氏真蛇尾群落,包括 1、2 站位,靠近调查海域中部和弯外;IV 为半褶织纹螺-双鳃内卷齿蚕-金氏真蛇尾-纵肋织纹螺群落,包括 6、10、11 站位,靠近调查海域中部,压力系数为 0.12,可以正确解释样本间相似关系。四季调查结果相比较,大型底栖动物群落结构发生了一定的季节性变化,但变化不大,主要分布为靠近调查海域北

岸和中部的 1、2、6、7、9、10、11 站位和靠近调查海域南岸的 3、4、5、8 站位,软体动物为主要代表种的群落保持了一定的稳定性,其中半褶织纹螺分布量尤为丰富,其大量出现可能与该海域沉积物特征有很大关系,该海域的沉积物主要是以较细颗粒的粘土质粉砂和粉砂质粘土为主,利于生长与繁衍;并且该种生物喜食其他动物尸体,大量残饵和养殖生物代谢产物等有机营养物沉积海底,为其提供了丰富的食物,在底层环境中起着“清道夫”的作用。

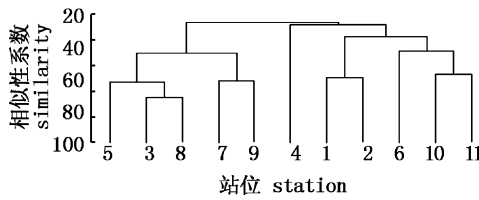


图 20 12 月大型底栖动物群落种类组成等级聚类树枝图

Fig. 20 The dendrogram for the similarity matrix of macrobenthos communities in December

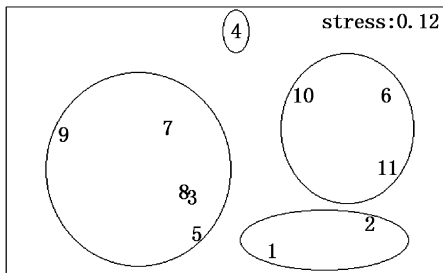


图 21 12 月大型底栖动物群落 MDS 排序分析

Fig. 21 The MDS for the similarity matrix of macrobenthos communities in December

2.5 群落稳定性

大型底栖动物 ABC 曲线见图 22 ~ 25。ABC 法能较客观地反映出海洋环境污染对底栖生物群落结构的影响,在稳定的海洋环境中,底栖生物群落近似平衡,群落的生物量由 1 个或几个大型的种占优势,且每个种有几个个体;当群落失去平衡时,在数量上占优势的种是随机的较小的种。对于未污染的群落,整条生物量曲线位于丰度曲线上方,说明丰度比生物量具更高的多样性;中度污染时,大个体的竞争优势种消失且丰度与生物量优势度间不平衡降低,生物量和丰度曲线间的差异不存在,或相互交叉,或重叠在一起;当严重污染时,底栖生物群落的个体数由 1 个或几个个体非常小的种占优势,丰度曲线整条

位于生物量上方,生物量比丰度具有更高的多样性^[25-28]。图 22、图 23 可以看出 4 月、7 月生物量曲线始终位于丰度曲线上方,说明该海域的大型底栖动物群落未受到污染扰动,图 24、图 25 虽然生物量曲线都高于丰度曲线,但由于生物量曲线起点明显较低,优势不明显,且起点处与丰度曲线相距较近,丰度和生物量曲线接近重合,表明 9 月、12 月底栖动物群落已受到一定程度的轻微污染扰动。

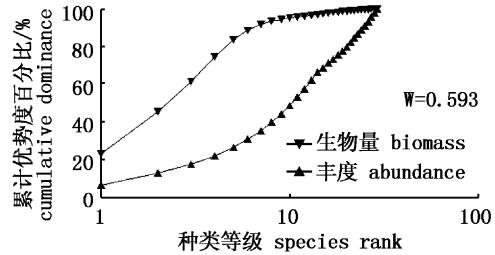


图 22 4 月大型底栖动物 ABC 曲线

Fig. 22 The ABC curves of macrobenthos in April

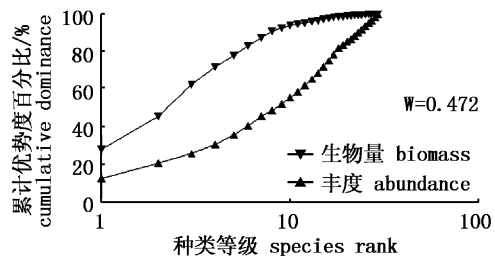


图 23 7 月大型底栖动物 ABC 曲线

Fig. 23 The ABC curves of macrobenthos in July

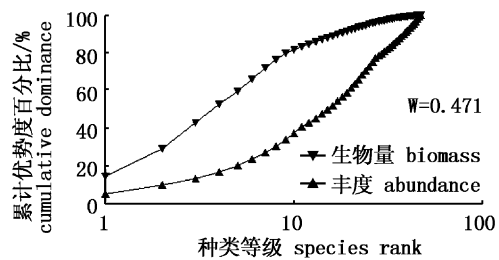


图 24 9 月大型底栖动物 ABC 曲线

Fig. 24 The ABC curves of macrobenthos in September

3 讨论

3.1 与历史资料的对比

王金辉等在 2001 年对象山港大型底栖动物调查研究中共鉴定出底栖动物 43 种,平均生物量和平均栖息密度分别为 15.6 g/m² 和 88.5 ind/m²^[29];陶磊等在 2006 年 7 月至 2008 年 8 月

对象山港大型底栖动物四季调查研究中乌沙山电厂站位年均栖息密度分别为 45.83 ind/m^2 、 45.21 ind/m^2 , 年均生物量分别为 14.60 g/m^2 、 13.81 g/m^2 ^[30], 与本研究结果相比, 象山港海域大型底栖动物数量发生了较大的变化, 种类数量及平均栖息密度、平均生物量显著减少, 呈总体下降趋势。栖息密度的减少说明底栖动物可栖息范围的缩小, 生境发生了变化, 底质从氧化态转变为还原态, 底质环境的持续恶化将改变底栖动物的群落结构, 群落中取而代之的是耐污能力强或厌氧性的生物, 这些后来的定居者可以生活在较深的沉积物中, 在生物量也在减少的同时, 正常的能流、物流渠道受阻, 生态功能逐渐衰退^[4], 说明两岸的海洋工程自建成到运行至今的时间里对港湾内大型底栖动物产生了较大的影响, 主要影响因素与温排水、工业三废的排放, 自然岸线、湿地面积的减少有关。

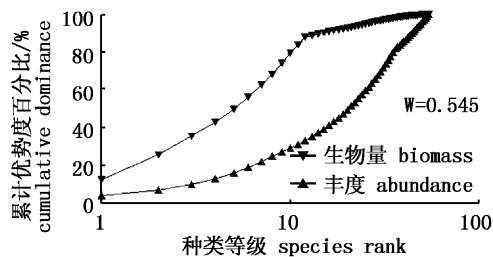


图 25 12 月大型底栖动物 ABC 曲线

Fig. 25 The ABC curves of macrobenthos in December

3.2 群落多样性分析与群落结构特征

Shannon-Weaver 多样性指数平面分布与 Margalef 丰度指数的平面分布大体一致。基本呈现出沿岸较低, 中部相对高的空间分布特征, 可能与两岸海洋工程的位置息息相关。相较于多样性指数与丰度指数, Pielou 均匀度指数的空间变化不大, 说明每站种类组成的差异较小, 站间分布均匀, 这也与本次调查研究的种类偏少的实际相符合, 从而造成各个站位物种组成比较单一。以上 3 个指数的季节变化亦不明显, 除 Pielou 均匀度指数四季几乎无变化, 都保持一个较高的水准外, Shannon-Weaver 多样性指数与 Margalef 丰度指数的季节变化都是冬季 > 夏季 > 秋季 > 春季。顾晓英等研究指出, 象山港的季节变化很大程度上是受温度变化的影响, 各季节温度的变化导致了其他因子的一系列变化, 从而影

响了个体分布范围, 因而使生物多样性发生变化^[31]; 廖一波等对象山港大型底栖动物群落主要类群和环境因子进行了 CCA 分析, 影响大型底栖动物群落主要类群的环境因子有盐度、氧化还原电位、总氮和总磷等^[32]。一般而言, 底栖生物群落与海底沉积和底质性质关系最为密切^[4]。四季大型底栖动物群落主要分布为靠近调查海域北岸和中部的 1、2、6、7、9、10、11 站位和靠近调查海域南岸的 3、4、5、8 站位, 北岸的海洋工程主要为避风锚地和船厂, 南岸的海洋工程主要为电厂和水泥厂, 海域环境的不同形成不同的生境, 进而在群落结构分布上形成不同的类群。

3.3 群落稳定性影响评价

从本研究的 ABC 曲线可以看出, 并没有出现生物量和丰度曲线相互交叉或丰度曲线位于生物量曲线之上的情况, 9 月、12 月大型底栖动物群落只是受到一定程度的轻微污染扰动, 这与海洋工程对大型底栖动物产生影响有关。当群落不断受到外界的扰动, 并且这些扰动超过其自身的调节能力时, 群落结构趋向单一, 造成群落不稳定, 长此以往, 群落的生态演替就会朝着异源演替的方向发展; 另一方面也与个体生物量较大的棘刺锚参、金氏真蛇尾等棘皮动物为优势种之一有很大关系。生物群落自身都有自然演化的特性, 一些细小的环境变化, 如气候、水温、水流等, 都可能使群落的物种组成发生变化^[17], 从进化论的观点讲, 这类底栖动物趋向于采取 r 选择对策, 是对不稳定的栖息场所的一种适应, 进而朝着适于栖息生境的方向进化。建议在日常监测工作中关注污染指示种的同时也注重机会种数量的增减, 尤其是种群-群落的生态效应, 谨防沉积物环境的持续恶化, 沉积物环境得到了改善, 底栖环境物质循环功能逐渐恢复, 群落才能趋向稳定。

参考文献:

- [1] 谢钦春, 冯应俊. 中国海湾志(第五分册)[M]. 北京: 海洋出版社, 1992: 166.
XIE Q S, FENG Y J. China bay records (fifth fascicule) [M]. Beijing: China Ocean Press, 1992: 166.
- [2] 董礼先, 苏纪兰. 象山港盐度分布和水体混合 I. 盐度分布和环流结构[J]. 海洋与湖沼, 2000, 31(2): 151 - 158.
DONG L X, SU J L. Salinity distribution and mixing in Xiangshangang Bay: I. Salinity distribution and circulation

- pattern [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2000, 31 (2): 151 - 158.
- [3] 江志兵, 朱旭宇, 高瑜, 等. 象山港春季网采浮游植物的分布特征及其影响因素[J]. *生态学报*, 2013, 33(11): 3340 - 3350.
JIANG Z B, ZHU X Y, GAO Y, et al. Distribution of net-phytoplankton and its influence factors in spring in Xiangshan Bay [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(11): 3340 - 3350.
- [4] 沈国英, 施并章. *海洋生态学* [M]. 2 版. 北京: 科学出版社, 2002: 155 - 421.
SHEN G Y, SHI B Z. *Marine ecology* [M]. 2nd ed. Beijing: Science Press, 2002: 155 - 421.
- [5] 张丹丹, 杨晓梅, 苏奋振, 等. 基于 PVS 的海湾开发利用程度评价——以大亚湾为例[J]. *自然资源学报*, 2009, 24(8): 1440 - 1449.
ZHANG D D, YANG X M, SU F Z, et al. Exploitative degree evaluation of bay based on PVS framework - A case study of Daya Bay [J]. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(8): 1440 - 1449.
- [6] 张培军. *海洋生物学* [M]. 济南: 山东教育出版社, 2004: 210.
ZHANG P J. *Marine biology* [M]. Jinan: Shandong Education Press, 2004: 210.
- [7] 宁怡, 高峰, 邓建才, 等. 巢湖流域水质生物学评价——以大型底栖动物为例[J]. *生态学杂志*, 2012, 31(4): 916 - 922.
NING Y, GAO F, DENG J C, et al. Biological assessment of water quality in Chaohu Lake watershed: A case study of benthic macroinvertebrate [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2012, 31(4): 916 - 922.
- [8] 徐梦珍, 王兆印, 潘保柱, 等. 雅鲁藏布江流域底栖动物多样性及生态评价[J]. *生态学报*, 2012, 32(8): 2351 - 2360.
XU M Y, WANG Z Y, PAN B Z, et al. Research on assemblage characteristics of macroinvertebrates in the Yalu Tsangpo River Basin [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(8): 2351 - 2360.
- [9] 霍堂斌, 刘曼红, 姜作发, 等. 松花江干流大型底栖动物群落结构与水质生物评价[J]. *应用生态学报*, 2012, 23(1): 247 - 254.
HUO T B, LIU M H, JIANG Z F, et al. Macrobenthos community structure of macrobenthos and bioassessment of water quality in main stream of Songhua River [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, 23(1): 247 - 254.
- [10] OCCHIPINTI-AMBROGI A, SAVINI D, FORNI G. Macrobenthos community structural changes off Cesenatico coast (Emilia Romagna, Northern Adriatic), a six-year monitoring programme [J]. *Science of the Total Environment*, 2005, 353(1/3): 317 - 328.
- [11] ÁLVAREZ-CABRIA M, BARQUÍN J, JUANES J A. Spatial and seasonal variability of macroinvertebrate metrics: Do macroinvertebrate communities track river health? [J]. *Ecological Indicators*, 2010, 10(2): 370 - 379.
- [12] WARWICK R M, PLATT H M, CLARKE K R, et al. Analysis of macrobenthic and meiobenthic community structure in relation to pollution and disturbance in Hamilton Harbour, Bermuda [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1990, 138(1/2): 119 - 142.
- [13] JOYDAS T V, QURBAN M A, AL-SUWAILEM A, et al. Macrobenthic community structure in the northern Saudi waters of the Gulf, 14 years after the 1991 oil spill [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2012, 64(2): 325 - 335.
- [14] CARDOSO I, DA FONSECA L C, CABRAL H N. Ecological quality assessment of small estuaries from the Portuguese coast based on benthic macroinvertebrate assemblages indices [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2012, 64(6): 1136 - 1142.
- [15] GB/T 12763. 6 - 2007, 海洋调查规范 第 6 部分: 海洋生物调查[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
GB/T 12763. 6 - 2007, Specifications for oceanographic survey — Part 6: Marine biological survey [S]. Beijing: China Standard Publishing House, 2008.
- [16] 周红, 张志南. 大型多元统计软件 PRIMER 的方法原理及其在底栖群落生态学中的应用[J]. *青岛海洋大学学报*, 2003, 33(1): 58 - 64.
ZHOU H, ZHANG Z N. Rationale of the multivariate statistical software PRIMER and its application in benthic community ecology [J]. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 2003, 33(1): 58 - 64.
- [17] 田胜艳, 于子山, 刘晓收, 等. 丰度/生物量比较曲线法监测大型底栖动物群落受污染扰动的研究[J]. *海洋通报*, 2006, 25(1): 92 - 96.
TIAN S Y, YU Z S, LIU X S, et al. Abundance/biomass curves for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities [J]. *Marine Science Bulletin*, 2006, 25(1): 92 - 96.
- [18] WARWICK R M, CLARKE K R. Relearning the ABC: taxonomic changes and abundance biomass relationship in disturbed benthic communities [J]. *Marine Biology*, 1994, 118(4): 739 - 744.
- [19] 韩洁, 张志南, 于子山. 渤海中、南部大型底栖动物的群落结构[J]. *生态学报*, 2004, 24(3): 531 - 537.
HAN J, ZHANG Z N, YU Z S. Macrobenthic community structure in the southern and central Bohai Sea, China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(3): 531 - 537.
- [20] 华尔. 长江口及其邻近海域小型底栖生物群落结构和多样性研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2006: 67.
HUA E. Studies on community structure and biodiversity of meiofauna in the Changjiang (Yangtze River) estuary and its adjacent waters [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2006: 67.
- [21] 高爱根, 杨俊毅, 陈全震, 等. 象山港养殖区与非养殖区大型底栖生物生态比较研究[J]. *水产学报*, 2003, 27

- (1): 25-31.
- GAO A G, YANG J Y, CHEN Q Z, et al. Comparative studies on macrobenthos between cultured and non-cultured areas in Xiangshan Bay[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2003, 27(1): 25-31.
- [22] 马藏允, 刘海, 王惠卿, 等. 底栖生物群落结构变化多元变量统计分析[J]. *中国环境科学*, 1997, 17(4): 297-300.
- MA Z R, LIU H, WANG H Q, et al. Multivariate analysis of community structure on macrobenthos [J]. *China Environmental Science*, 1997, 17(4): 297-300.
- [23] CLARKE K R, WARWICK R M. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation[M]. 2nd ed. Primer-E: Plymouth, 2001: 2-15.
- [24] FIELD J G, CLARKE K R, WARWICK R M. A practical strategy for analysing multispecies distribution patterns[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1982, 8(1): 37-52.
- [25] 李荣冠, 江锦祥. 应用丰度生物量比较法监测海洋污染对底栖生物群落的影响[J]. *海洋学报*, 1992, 14(1): 108-114.
- LI R G, JIANG J X. Abundance/biomass curves for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 1992, 14(1): 108-114.
- [26] WARWICK R M. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities [J]. *Marine Biology*, 1986, 92(4): 557-562.
- [27] WARWICK R M, PEARSON T H, RUSWAHYUNI. Detection of pollution effects on marine macrobenthos: further evaluation of the species abundance/biomass method [J]. *Marine Biology*, 1987, 95(2): 193-200.
- [28] WARWICK R M. The level of taxonomic discrimination required to detect pollution effects on marine benthic communities[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 1988, 19(6): 259-268.
- [29] 王金辉, 杨春旺, 孙亚伟, 等. 象山港大型底栖动物的生物多样性和次级生产力研究[J]. *天津农学院学报*, 2006, 13(2): 24-28.
- WANG J H, YANG C W, SUN Y W, et al. Secondary productivity and biodiversity of macrobenthos in Xiangshan Bay[J]. *Journal of Tianjin Agricultural University*, 2006, 13(2): 24-28.
- [30] 陶磊, 尤仲杰, 施慧雄, 等. 象山港大型底栖动物生态学初步研究[J]. *水生态学杂志*, 2010, 3(1): 49-55.
- TAO L, YOU Z J, SHI H X, et al. Ecological studies on macrobenthos in the Xiangshan Bay [J]. *Journal of Hydroecology*, 2010, 3(1): 49-55.
- [31] 顾晓英, 陶磊, 施慧雄, 等. 象山港大型底栖动物生物多样性现状[J]. *应用生态学报*, 2010, 21(6): 1551-1557.
- GU X Y, TAO L, SHI H X, et al. Macrobenthic faunal diversity in Xiangshan Bay[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(6): 1551-1557.
- [32] 廖一波, 寿鹿, 曾江宁, 等. 象山港不同养殖类型海域大型底栖动物群落比较研究[J]. *生态学报*, 2011, 31(3): 646-653.
- LIAO Y B, SHOU L, ZENG J N, et al. A comparative study of macrobenthic community under different mariculture types in Xiangshan Bay, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(3): 646-653.

Community structure and biodiversity characteristics of macrobenthos in the middle of Xiangshan Bay

DONG Peng¹, ZHANG Haibo¹, YE Xiansen¹, XU Ren², ZHOU Jin³

(1. Marine Environmental Monitoring Center of Ningbo, SOA, Ningbo 315040, Zhejiang, China; 2. East China Sea Environmental Monitoring Center, SOA, Shanghai 201206, China; 3. Key Laboratory of East China Sea & Oceanic Fishery Resources Exploitation and Utilization, Ministry of Agriculture, Shanghai 200090, China)

Abstract: In April, July, September and December, 2012, the investigations of macrobenthos in the Xiangshan Bay were carried out, and the macrobenthic dominant species, species diversity and community species composition were analyzed using the dominant species index (Y), Shannon-Weaver diversity index (H'), Margalef richness index (d) and Pielou evenness index (J'). We adopted the Bray-Curtis similarity matrix and MDS analysis of Xiangshan Bay macrobenthos community structure, pollution disturbance conditions analyzed by the ABC Curve method. The investigation showed that *Nassarius semiplicatus* became the dominant species and were four seasons dominant groups. Shannon-Weaver diversity index was broadly consistent with the distribution of Margalef abundance index horizontal distribution, and Pielou index changed compared to the Margalef richness and Shannon-Weaver diversity index changed little, indicating the various kinds of individuals in the community had little differences, evenly distributed between stations. Macrobenthic community was distributed mainly in the investigation area near the north coastal and central had higher similarities, and near the south coastal stations similarity with the same, marine environment different with the habitats formed, and then distributed in the community structure formed of two different groups. The results of ABC Curve method indicated that in April, July macrobenthic community was not polluted and September and December had slight polluted disturbance. The main factors were connected with thermal discharge, industrial waste emissions, natural coastline and reduced wetlands area.

Key words: Xiangshan Bay; macrobenthos; community structure; diversity