

# 象山港人工鱼礁区浮游动物种类组成及群落结构特征

陈涛<sup>1,2</sup>, 王云龙<sup>1</sup>, 廖勇<sup>1,2</sup>

(1. 中国水产科学研究院 东海水产研究所 农业部海洋与河口渔业资源及生态重点开放实验室, 上海 200090; 2. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306)

**摘要:** 2011年和2012年期间两个夏季(7月)在象山港人工鱼礁区及其邻近海域进行了浮游动物及主要环境因子调查, 根据采集的浮游动物样品的分析鉴定及其他环境因子测试结果, 对调查海域的浮游动物群落进行研究。结果表明, 象山港人工鱼礁区及其邻近海域有浮游动物6大类36种, 优势种为短尾类幼体(*Brachyura larvae*)、汤氏长足水蚤(*Calanopia thompsoni*)、真刺唇角水蚤(*Labidocera euchaeta*)、太平洋纺锤水蚤(*Acartia pacifica*)等。两个航次鱼礁区浮游动物生物量无显著差异性, 与对照区相比, 2012年鱼礁区明显较高; 浮游动物丰度则出现明显的差异(2011年较大), 与对照区相比, 鱼礁区无明显差异性; 多样性和均匀性变化一致, 且出现显著差异(投礁后, 多样性明显升高, 且高于对照区)。通过对调查水域浮游动物群落聚类分析发现, 鱼礁区浮游动物的类群与对照区存在明显的差异, 主要分为两个类群, 以鱼礁区和对照区的典型两个区域。

**关键词:** 浮游动物; 人工鱼礁; 种类组成; 群落结构; 象山港

中图分类号: S937.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2014)07-0041-06

doi: 10.11759/hyhx20130910001

象山港是浙江北部一个半封闭的深水港湾, 主湾中心线长约 60 km。自 20 世纪 80 年代全国海岸带海洋生物资源调查以来, 对象山港浮游动物的研究已有一些报道<sup>[1-4]</sup>。由于港湾纵深和港顶表层向海而底层向湾顶的重力环流结构, 该区水交换缓慢, 水体富营养化严重<sup>[5]</sup>。为改善象山港水域生态环境, 保护渔业资源, 宁波市制定了 2011~2012 年“象山港人工鱼礁建设”项目, 并于 2012 年 4 月投放完毕。相关研究表明<sup>[6-8]</sup>, 人工鱼礁的设置会改变投放海域的局部流态, 使得投放海域产生上升流及涡流等流态。在上升流和涡流的作用下, 底质中沉积的营养物质会再次进入到水体中, 因而使海水中营养盐得到补充, 营养盐结构得到优化。这些营养物质的变化会促进饵料生物的生长、繁殖, 进而通过食物链的传递, 最终对渔业资源产生影响。

本文根据投礁前后象山港人工鱼礁海域的浮游动物调查资料, 对浮游动物的种类组成、数量分布及群落结构进行分析研究, 探讨人工鱼礁投放对海域生态环境的改善效果。

## 1 材料与方法

### 1.1 调查站位

2011年7月(投礁前)和2012年7月(投礁后)

分别在象山港海洋牧场人工鱼礁区及其附近水域进行的两个航次的生态环境随机调查。在鱼礁区 S2、S4、S5、S8、S10 和 S13, 以及断面对照区的 D1A、D1C、D2A 和 D2B 共 10 个站位采集浮游动物样品(图 1)。

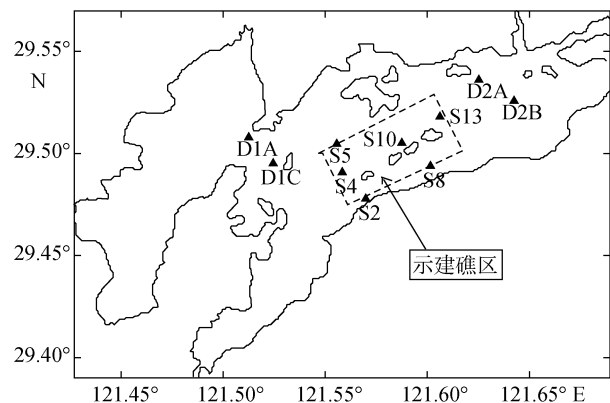


图 1 采样站位图

Fig.1 Map of sampling stations

收稿日期: 2013-12-03; 修回日期: 2014-03-23

基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项经费项目(201003068)

作者简介: 陈涛(1987-), 男, 硕士研究生, 主要从事海洋生态与浮游生物学研究, E-mail: chentao1113@yeah.net; 王云龙, 通信作者, E-mail: yunlong\_wang@hotmail.com

## 1.2 样品采集与数据分析

浮游动物采样使用带流量计的浅水型浮游生物网(网长 145 cm, 网口内径 50 cm, 网口面积 0.2 m<sup>2</sup>, 筛绢孔径为 505 μm)自海底至海面进行垂直拖网, 并记录流量计读数。样品用 5% 的福尔马林溶液固定保存, 带回实验室进行鉴定分析。采样及数据计算均按《海洋调查规范》要求进行<sup>[9]</sup>, 参照相关文献<sup>[10]</sup>进行种属鉴定及计数。同时, 在各测站测定水深和采集水样, 并按照《海洋调查规范》测定水温、盐度、溶解氧、叶绿素等环境参数。

使用 Surfer8.0 软件作图, R 统计软件进行数据分析<sup>[11]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 浮游动物种类组成及生态类群

#### 2.1.1 种类组成

投礁前, 调查水域共鉴定浮游动物 27 种, 分为 5 大类, 其中桡足类最多有 20 种, 占总种数的 74.07%, 毛颚类动物 3 种、糠虾类 2 种、端足类和磷虾类各 1 种; 浮游幼虫有 12 类。投礁后, 调查水域共鉴定浮游动物 25 种, 分为 6 大类, 其中桡足类 18 种, 占总种数的 72.00%, 毛颚类动物 2 种、糠虾类 2 种、水螅水母类、磷虾类和栉板水母各 1 种; 浮游幼虫有 9 类(图 2)。

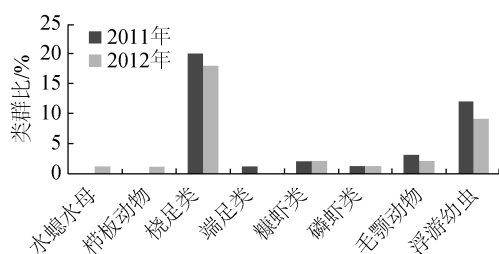


图 2 浮游动物类群比例

Fig.2 The proportion of each group of zooplankton

#### 2.1.2 生态类群

暖温近岸低盐类型 适盐的上限较上一类型为高, 其出现的丰度变动一般受控于沿岸水, 密度区大多出现于沿岸水和混合水锋面内侧。调查海域该类型种类不多, 但丰度较大。主要代表种有背针胸刺水蚤(*Centropages dorsispinatus*)、针刺拟哲水蚤(*Paracalanus aculeatus*)、太平洋纺锤水蚤(*Acartia pacifica*)、真刺唇角水蚤(*Labidocera euchaeta*)、中华假磷虾(*Psudeuphausia siasinica*)和

漂浮囊井伊小糠虾(*Liella pelagica*)等组成。

广温广盐生态类群 浮游动物丰度上占据相当的优势, 与热带大洋高温高盐类型相比, 其适温、适盐性较低, 在陆架混合水区广泛分布, 四季均有出现, 密集区一般出现在 125°E 以西混合水域黑潮暖流水锋面内侧。代表种有中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)、瓜水母(*Beroe cucumis*)等。

暖温广盐类型 丰度极低, 种类较多, 一般分布于黑潮锋及其以东的黑潮暖流海域, 特别是黑潮次层水中。代表种有坚长腹剑水蚤(*Oithona rigida*)。

高温广盐类型 丰度低, 分布较广, 一般出现在温度较高的夏秋季, 无密集区。代表种有汤氏长足水蚤(*Calanopia thompsoni*)、左突唇角水蚤(*Labidocera sinilobata*)、孔雀唇角水蚤(*Labidocera pavo*)等。

由上所述, 象山港浮游动物群落中以暖温近岸低盐类型和高温广盐类型性种类占大多数, 而且群落中也出现较多的底栖动物幼虫。根据象山港的环境条件和浮游动物群落结构特征, 象山港的浮游动物属于暖温带沿岸群落。

#### 2.1.3 优势种及其平均丰度

取优势度  $Y \geq 0.02$  时的浮游动物为优势种, 则投礁前, 共有优势种 7 种, 其中短尾类幼体的优势度最高为 0.57, 平均丰度为 104.01 个/m<sup>3</sup>, 其他优势种有汤氏长足水蚤、真刺唇角水蚤、太平洋纺锤水蚤、长尾类幼体以及鱼卵和仔鱼; 投礁后, 优势种增加为 8 种, 其中短尾类幼体的优势度最高 0.27, 其平均丰度为 15.57 个/m<sup>3</sup>, 其他优势种有汤氏长足水蚤、真刺唇角水蚤、长额刺糠虾、太平洋纺锤水蚤、长腹剑水蚤、长尾类幼体、仔鱼(表 1)。

## 2.2 浮游动物数量分布

### 2.2.1 浮游动物生物量

投礁前, 鱼礁区浮游动物的生物量平均值为 55.98 mg/m<sup>3</sup>, 对照区为 24.16 mg/m<sup>3</sup>, S10 站总生物量最高, 达 128.93 mg/m<sup>3</sup>; D1C 站生物量最低, 仅为 7.81 mg/m<sup>3</sup>(图 3)。投礁后, 鱼礁区浮游动物的生物量平均值为 56.65 mg/m<sup>3</sup>, 对照区为 18.82 mg/m<sup>3</sup>, S8 站总生物量最高, 为 90.28 mg/m<sup>3</sup>, D2B 站生物量最低, 仅为 15.80 mg/m<sup>3</sup>(图 4)。

### 2.2.2 浮游动物丰度

投礁前, 鱼礁区的浮游动物丰度平均值为 251 个/m<sup>3</sup>, 对照区仅为 81.48 个/m<sup>3</sup>, S5 站浮游动物丰

表 1 两次采样浮游动物优势种

Tab.1 Dominant species of zooplankton in two cruises

种类	投礁前		投礁后	
	优势度	平均丰度 (个/m <sup>3</sup> )	优势度	平均丰度 (个/m <sup>3</sup> )
汤氏长足水蚤	0.04	7.58	0.16	10.03
真刺唇角水蚤	0.02	4.75	0.06	4.26
太平洋纺锤水蚤	0.20	37.19	0.03	2.48
短尾类溞状幼体	0.57	104.01	0.27	15.57
长尾类幼体	0.05	8.35	0.03	1.54
长额刺糠虾	—	—	0.06	3.48
长腹剑水蚤	—	—	0.03	2.48
鱼卵	0.02	4.93	—	—
仔鱼	0.03	5.45	0.02	1.47

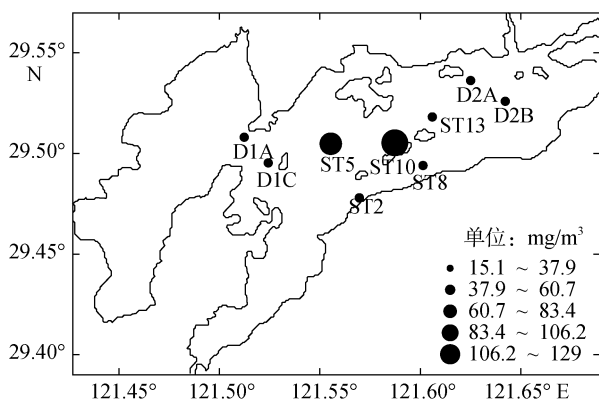


图 3 2011 年 7 月生物量分布

Fig.3 The horizontal distribution of zooplankton biomass in 2011

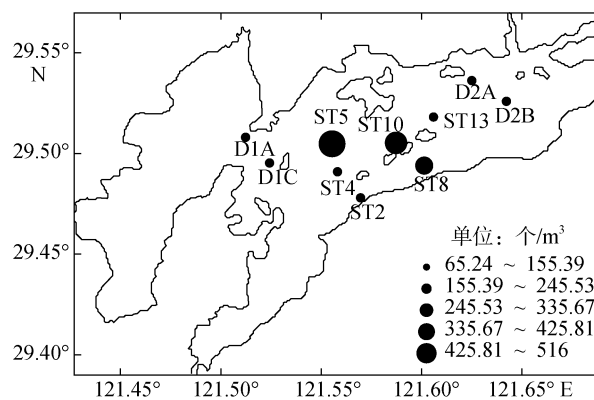


图 5 2011 年 7 月丰度分布

Fig.5 The horizontal distribution of zooplankton abundance in 2011

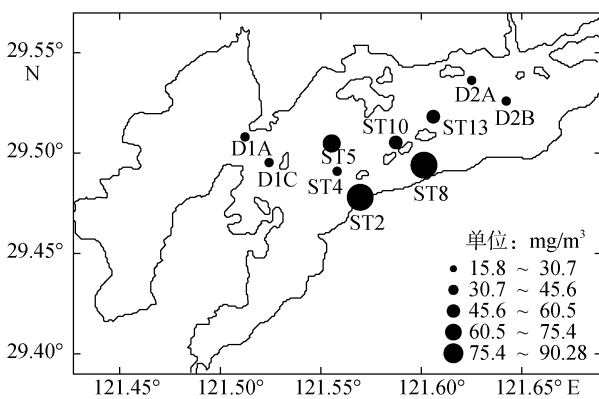


图 4 2012 年 7 月生物量分布

Fig.4 The horizontal distribution of zooplankton biomass in 2012

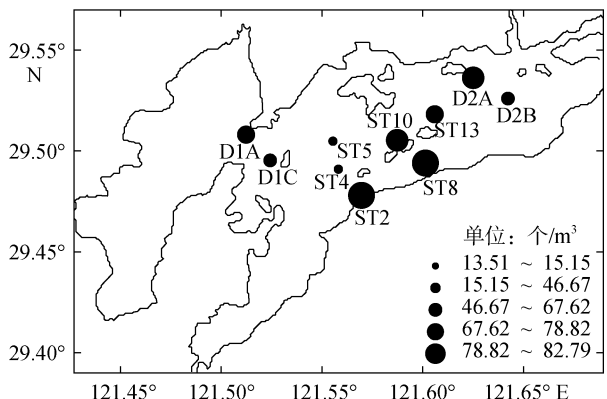


图 6 2012 年 7 月丰度分布

Fig.6 The horizontal distribution of zooplankton abundance in 2012

度最高, 为 515.94 个/m<sup>3</sup>, D1C 站丰度最低, 仅为 33.33 个/m<sup>3</sup>(图 5)。投礁后, 鱼礁区浮游动物的丰度平均值为 51.58 个/m<sup>3</sup>, 对照区仅为 50.63 个/m<sup>3</sup>, S2 站浮游动物丰度最高, 为 82.78 个/m<sup>3</sup>; S5 站生物丰度最低, 仅为 13.51 个/m<sup>3</sup>(图 6)。

### 2.3 群落结构

选取采样出现频率较高的浮游动物种类进行聚类分析, 系统聚类方法采用最长距离法。聚类分析在 R 统计软件上进行, 为消除数量级影响, 对数据作标

准化处理。结果如图 7 和图 8 所示。

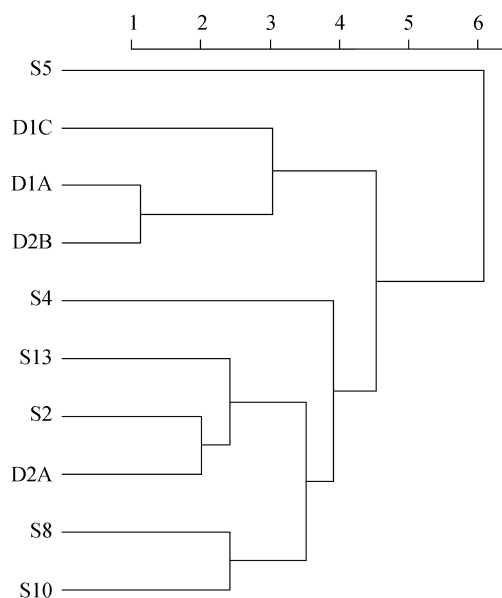


图 7 2011 年 7 月浮游动物聚类结果

Fig.7 The cluster analysis of zooplankton in July 2011

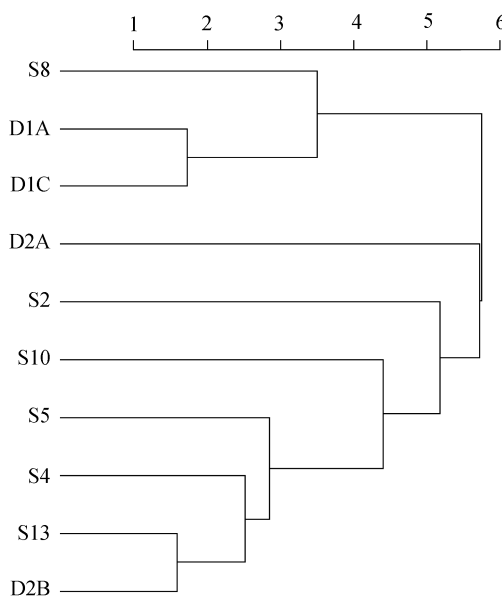


图 8 2012 年 7 月浮游动物聚类结果

Fig.8 The cluster analysis of zooplankton in July 2012

### 3 讨论

#### 3.1 象山港浮游动物主要生态群落

浮游动物缺乏发达的游泳器官, 只能随波逐流地随水流移动, 因此可作为海流和水团的指示种。调查水域共鉴定浮游动物 31 种, 分为 6 大类, 其中桡足类 22 种, 毛颚类动物 3 种、糠虾类 2 种、水螅水母类、磷虾类、端足类和栉板水母各 1 种; 浮游幼虫

有 14 类。在象山港的浮游动物中, 暖温近岸低盐类型和高温广盐类型性种类占了很大比例, 反映了高温高盐的外海水对调查区有强烈的影响。象山港浮游动物主要生态群落为近岸低盐群落, 这与王晓波等<sup>[12]</sup>的研究相一致。

#### 3.2 象山港鱼礁区及周围水域的浮游动物聚类分析结果

对象山港鱼礁区及周围水域的浮游动物聚类分析结果显示, 鱼礁区的浮游动物的类群与对照区存在明显的差异。主要分为两个类群, 以鱼礁区和对照区的典型两个区域。随着鱼礁建成后的时间推移, 区域性差别越来越明显。

2011 年调查航次鱼礁区的平均丰度为 251 个/m<sup>3</sup>, 而对照区仅为 89.90 个/m<sup>3</sup>, 明显小于鱼礁区的分布数量, 且分布很不均匀。2012 年调查航次鱼礁区的平均丰度为 51.58 个/m<sup>3</sup>, 而对照区为 43.55 个/m<sup>3</sup>, 略小于对照区。调查结果显示, 拟建礁区水深适中, 温度盐度适宜, 并且透明度高于对照区(鱼礁区透明度平均 0.70, 对照区为 0.59), 光照充足有利于附着于礁体的部分生物进行光合作用, 增加该地区初级生产力; 海水平均最大流速为 50.9 cm/s, 并未超过 77 cm/s, 这种平缓的流速不但可以除去礁体表面的废物, 而且还能在礁体周围及水平面上减少沉积和为附着物的聚集提供合适的条件。礁体在这种流速下的稳定性也很高。不会发生滑移、翻滚。拟建礁区海水水质总体状况良好, 污染少, 有利于生物的繁殖栖息。一些研究表明<sup>[13]</sup>, 人工鱼礁的位置与现存的硬质底土层的关系是影响生物多样性和生物密度的一个因素。当人工鱼礁投放在远离天然硬质底土层上时, 最具增殖效果。拟建礁区海底底质属于硬质底质泥沙底, 能够很好地增殖渔业资源; 并且稳定性强, 不会沉陷。

#### 3.3 鱼礁区浮游动物丰度与浮游植物、营养盐的变化关系

营养盐是浮游植物生长繁衍所必需的基本成分, 是调控海域初级生产力水平的主要因子<sup>[14]</sup>。象山港是伸入内陆的半封闭海湾, 海域水动力条件弱, 生态环境十分敏感。人为因素影响十分明显, 加之电厂长期排放温排水会引起象山港局部水域环境物理、化学参数的改变, 进而引起海洋生物变化最终将导致港湾生态系统发生改变。投礁后无机氮几乎没有变化、亚硝态氮含量有所降低, 浮游植物首先利用的无机氮

有了较大程度的提高, 活性磷酸盐呈下降趋势, 活性硅酸盐也有一定程度的降低(表 2), 植物能直接利用

的铵态氮含量有了很大程度的增加, 营养盐的供应状况对浮游植物的群落结构产生重要的调节作用<sup>[15]</sup>。

表 2 鱼礁区投礁前后营养盐分布  
Tab.2 Nutrient distribution in reefs area

营养盐质量浓度(mg/L)		投礁前		投礁后	
		表层	底层	表层	底层
亚硝态氮	范围	0.04~0.07	0.02~0.05	0.01~0.03	0.01~0.03
	均值	0.05	0.04	0.02	0.02
硝态氮	范围	0.68~0.89	0.70~1.18	0.67~1.01	0.86~0.96
	均值	0.81	0.96	0.83	0.9
氨氮	范围	0.01~0.04	0.01~0.14	0.04~0.07	0.04~0.15
	均值	0.02	0.05	0.05	0.07
活性磷酸盐	范围	0.08~0.09	0.06~0.09	0.06~0.07	0.05~0.07
	均值	0.08	0.08	0.07	0.06
活性硅酸盐	范围	1.22~1.51	1.18~1.49	1.17~1.42	1.06~1.21
	均值	1.34	1.32	1.27	1.14
浮游植物细胞密度(个/m <sup>3</sup> )	范围	20745~55556		66333~722500	
	均值	40563		293563	

主要营养盐结构分析(N/P): 调查海区 N/P 值为 23.8, 大于 16, 表明海水中磷营养盐限制比较严重, 人为因素造成了营养盐结构及其比例的严重失衡<sup>[6]</sup>。因此, 浮游植物的大幅度上升可能与水环境的变化及浮游动物的丰度降低有关, 具体原因有待进一步研究分析。

参考文献:

[1] 徐兆礼, 顾新根, 王云龙, 等. 象山港赤潮期浮游生物生态特征的分析[J]. 海洋通报, 1992, 11(5): 46-53.

[2] 王春生, 刘镇盛, 何德华. 象山港浮游动物生物量和丰度的季节变动[J]. 水产学报, 2003, 27(6): 595-599.

[3] 徐晓群, 杜萍, 寿鹿, 等. 长期温排水影响下的象山港浮游动物群落分布和季节变化[C]//浙江省环境科学学会. 第七届长三角科技论坛——环境保护与生态文明分论坛论文集. 宁波: 浙江大学出版社, 2010.

[4] 王扬才, 吴雄飞, 施慧雄, 等. 象山港电厂附近海域浮游动物群落特征研究[J]. 宁波大学学报(理工版), 2011, 24(3): 5-10.

[5] 吕华庆, 常抗美, 石钢德. 象山港氮、磷营养盐环流和分布规律的研究[J]. 海洋与湖沼, 2009, 40(2): 138-144.

[6] 陶峰, 贾晓平, 陈丕茂, 等. 广东省澄海莱芜拟建礁区建礁可行性研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(18):

8608-8611.

[7] 周艳波, 陈丕茂, 李辉权. 广东省拓林湾海域溜牛礁区建礁可行性研究[J]. 广东农业科学, 2011, 23: 10-13.

[8] 章守宇, 张焕君, 焦俊鹏. 海洲湾人工鱼礁海域生态环境的变化[J]. 水产学报, 2006, 30(4): 475-480.

[9] 国家技术监督局. 海洋调查规范(GB/T 12763)[S]. 北京: 中国标准出版社, 1991.

[10] 郑重, 李少菁, 许振祖. 海洋浮游生物学[M]. 北京: 海洋出版社, 1984.

[11] 薛毅, 陈立萍. 统计建模与 R 软件[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006: 544-553.

[12] 王晓波, 邱武生, 秦铭俐, 魏永杰. 象山港浮游动物生态群落分布的研究[J]. 海洋环境科学, 2009, 28: 63-64.

[13] 陈金强, 陈武法. 建设莱芜人工鱼礁可行性分析及实施[J]. 水产科技, 2002(2): 32-33.

[14] 王勇, 焦念志. 北黄海浮游植物营养盐限制的初步研究[J]. 海洋与湖沼, 1999, 30(5): 512-519.

[15] 彭欣, 宁修仁, 孙军, 等. 南海北部浮游植物生长对营养盐的响应[J]. 生态学报, 2006, 26(12): 3959-3968.

[16] 杨东方, 高振会, 陈豫, 等. 硅的生物地球化学过程的研究动态[J]. 海洋科学, 2002, 26(3): 39-42.

# The species composition and community structure of zooplankton in Xiangshan Bay

CHEN Tao<sup>1, 2</sup>, WANG Yun-long<sup>1</sup>, LIAO Yong<sup>1, 2</sup>

(1. East China Sea Fisheries Research Institute Chinese Academy of Fishery Sciences, Key & Open Laboratory of Marine and Estuary, Ministry of Agriculture of China, Shanghai 200090, China; 2. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Received:** Dec., 3, 2013

**Key words:** zooplankton; artificial; species composition; community structure; Xiangshan Bay

**Abstract:** To investigate zooplankton community, zooplankton and the main environmental factors obtained from two cruises on artificial reef waters in Xiangshan Bay were studied in July of 2011 and 2012. Totally 6 categories and 36 species were identified and the main species included *Brachyura* larvae, *Calanopia thompsoni*, *Labidocera euchaeta* and *Acartia pacifica*. There was no significant difference in zooplankton biomass between two cruises on reef, but there was more scale on reef by comparing artificial reef waters in the control area in 2012. The zooplankton abundance in 2011 was greater on reef than that in 2012, while there was no significant difference between two years by comparing artificial reef waters with the control areas. The diversity and evenness were all raised after building artificial reef. The cluster analyses showed that the community structure during the artificial reef waters was significantly different compared to the control area.

(本文编辑: 梁德海)