

doi: 10.3969/j. issn. 1673 - 2227. 2009. 03. 005

混凝土礁体和铁制礁体附着生物群落多元统计分析

张伟^{1,2}, 李纯厚², 贾晓平², 陈丕茂², 方良^{1,2}

(1. 广东海洋大学水产学院, 广东 湛江 524088; 2. 中国水产科学研究院南海水产研究所,
农业部海水养殖生态与质量控制重点开放实验室, 广东 广州 510300)

摘要: 根据 2008 年 9 月对深圳杨梅坑人工鱼礁区混凝土礁体和铁制礁体上附着生物的调查资料, 采用主成分分析、聚类分析和多维尺度分析方法研究了人工鱼礁附着生物组成及群落结构的基本特征。结果表明, 三角藤壶 (*Balanus trigonus*)、乳突皮海鞘 (*Molgula manhattensis*)、翡翠贻贝 (*Perna viridis*)、须鳃虫 (*Cirriformia tentaculata*)、细肋肌蛤 (*Musculus mirandus*)、美丽唇齿螺 (*Engina pulchra*)、真蛇尾 (*Ophiura* sp.)、变化短齿蛤 (*Brachidontes variabilis*)、背裂虫 (*Opisthosyllis brunnea*)、红网孔苔虫 (*Iodictyum axillare*)、多室草苔虫 (*Bugula neritina*)、珠带拟蟹守螺 (*Cerithidea cingulata*)、毛偏顶蛤 (*Modiolus barbatus*)、纹斑棱蛤 (*Trapezium liratum*)、乳螯虫 (*Thelepus* sp.) 和冠瘤海鞘 (*Styela canopus*) 等种类构成了人工鱼礁附着生物的主体。混凝土礁体和铁制礁体上层和下层的附着生物群落基本上聚为一类; 而中层的附着生物群落没有聚为一类。

关键词: 人工鱼礁; 附着生物; 群落结构; 主成分分析; 聚类分析; 多维尺度分析

中图分类号: S953.1; P714.5 文献标识码: A 文章编号: 1673 - 2227 - (2009) 03 - 0030 - 06

Multivariate analysis of organisms communities attached on concrete and iron reefs

ZHANG Wei^{1,2}, LI Chunhou², JIA Xiaoping², CHEN Peimao², FANG Liang^{1,2}

(1. *Fisheries College of Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China*; 2. *South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences; Key Lab. of Mariculture, Ecology and Quality Control and Safety, Ministry of Agriculture, Guangzhou 510300, China*)

Abstract: According to the survey data of organisms attached on concrete and iron reefs in September, 2008 in Yangmeikeng, Shenzhen, the compositions of common species and the characteristics of the community structure were studied based on principal components analysis, the hierarchical cluster analysis and multidimensional scaling. The results showed that the common species were composed of *Balanus trigonus*, *Molgula manhattensis*, *Perna viridis*, *Cirriformia tentaculata*, *Musculus mirandus*, *Engina pulchra*, *Ophiura* sp., *Brachidontes variabilis*, *Opisthosyllis brunnea*, *Iodictyum axillare*, *Bugula neritina*, *Cerithidea cingulata*, *Modiolus barbatus*, *Trapezium liratum*, *Thelepus* sp. and *Styela canopus*. Organisms both attached in upper layer and lower layer of concrete and iron reefs generally clustered together, but those in middle layer did not.

Key words: artificial reef; attaching organisms; community structure; principal component analysis; hierarchical analysis; multidimensional scaling

收稿日期: 2008-10-16; 修回日期: 2008-12-10

资助项目: 科技部科研院所社会公益研究专项资金项目(2005DIB3J020); 国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2006AA100303); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(中国水产科学研究院南海水产研究所)资助项目(2007ZD003)

作者简介: 张伟(1982-), 女, 硕士研究生, 从事渔业环境及其调控研究。E-mail: zhangwei_2004010@163.com

通讯作者: 李纯厚, E-mail: scslch@163.com

大亚湾地处亚热带, 位于珠江口东侧, 面临南海, 三面为山地丘陵环抱, 是一个山地溺谷型半封闭海湾, 月平均温度 $17.60 \sim 29.40^{\circ}\text{C}$, 盐度 $29.57 \sim 33.51$ 。深圳杨梅坑人工鱼礁区位于大亚湾中西部, 礁区的附着生物一年四季都能繁殖附着。同时, 附着生物是礁区渔业生物的主要饵料来源, 是人工鱼礁集鱼和诱鱼最主要的生物环境因子之一, 附着生物的种类组成和数量变化直接影响人工鱼礁的生态效应。因此, 研究附着生物群落的组成、分布以及结构特点对于了解人工鱼礁的生态效应具有重要的意义。

目前, 对不同材料人工鱼礁附着生物种类和数量分布等已见于一些报道^[1-3]。而对人工鱼礁附着生物组成区系结构和群落划分的研究还鲜见报道。该文尝试利用多元统计分析方法^[4]对附着生物群落结构的动态变化和分布特征进行研究, 旨在为人工鱼礁附着生物的评估和其所产生的生态效益提供一定的理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料

2008年9月, 对广东省大亚湾深圳市杨梅坑人工鱼礁区2007年4月投放的表面粗糙的正方体混凝土鱼礁和表面粗糙的三角锥形铁制鱼礁进行附着生物潜水原位采样(图1), 2礁体所在位置相距22 m左右, 水深为12 m左右, 外界环境因子基

本一致。采样和分析方法均按《海洋调查规范》^[5]进行。对礁体上层(8 m)、中层(9.5 m)、下层(11 m)3个水层进行潜水定量采样, 每层分别在迎流面和背流面位置共采集3个样品, 每个采样位置的采样面积为 $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 。样品加入5%的福尔马林溶液固定带回实验室进行鉴定分析。

1.2 分析方法

多元统计分析方法作为一种实用、灵敏的分析方法^[6-7], 在生态系统的群落结构等研究中得到了广泛的应用^[8-13]。该文的研究采用基于SPSS统计分析软件的主成分分析方法、聚类分析方法和多维尺度分析方法^[4]。

1.2.1 主成分分析 该文采用主成分分析方法分别对混凝土礁体和铁制礁体所获样品种类的丰度做主成分分析^[4], 主成分分析方法可以在减少分析指标的同时, 尽量减少原指标所包含信息的损失。

1.2.2 聚类分析 使用分层聚类法进行。其中指标间距离采用欧氏距离(Euclidean distance), 系统聚类方法采用Ward最小方差法(Ward's method)^[4, 14]。

1.2.3 多维尺度分析 在群落结构多元变量统计分析中, 序列分析与聚类分析往往联合起来应用, 这样可以互相印证其分析结果的正确性。有多种序列分析方法, 其中多维尺度分析(multidimensional scaling, MDS), 被认为是最有效地分析群落

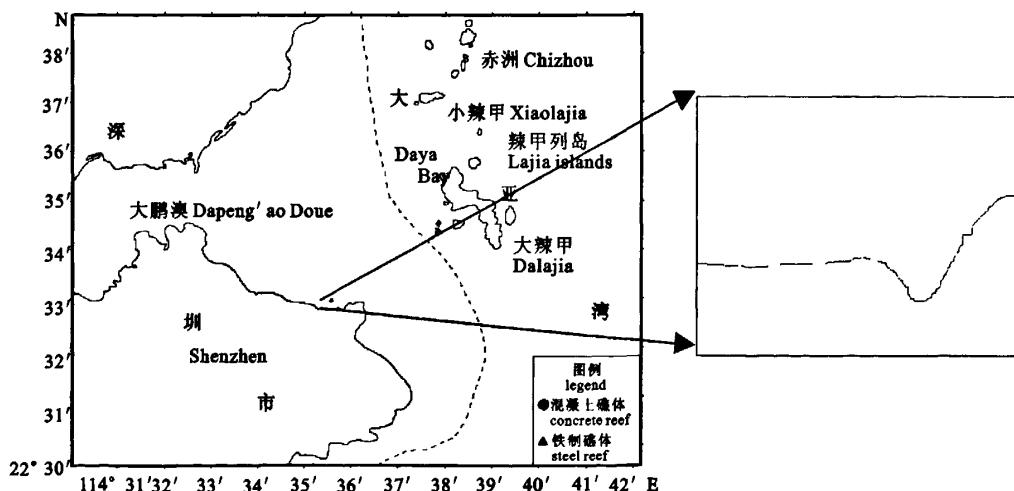


图1 混凝土鱼礁和铁制鱼礁附着生物采样位置示意图

Fig. 1 Sampling stations for attaching organisms on concrete reef and steel reef

结构变化的序列分析方法。

群落结构的 MDS 分析，就是把样本间复杂的生物相似性关系转变成图上（一般二维平面上的）样本点间的距离来表示。如果 2 样本生物组成相似，则代表这 2 样本的点在 MDS 图上的距离就越近，2 样本生物组成差别越大，则其相应在 MDS 图上的样本点间的距离就越远。将样本间生物组成的多维相似关系转变为低维或二维平面上连续的相似关系，则难免要丢失一些信息，衡量 MDS 分析结果是否可信，可用一个叫做 Stress 的参数来衡量，Stress 值小于 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，应改用更高维图形表示^[15]。

2 结果

2.1 种类组成

该次调查共鉴定出 81 种生物，其中海绵动物 1 种，腔肠动物 4 种，扁形动物 1 种，环节动物 16 种，软体动物 43 种，节肢动物 8 种，棘皮动物 2 种，苔藓虫 3 种，被囊动物 3 种。软体动物占鉴定生物种类总数的 53%，环节动物占 20%。混凝土礁体鉴定出 58 种附着生物，而铁制礁体共鉴定出 71 种附着生物。单从种类组成看，不同礁体材料附着生物的种类组成有显著差别。

2.2 主成分分析

为了解混凝土礁体和铁制礁体上附着生物的种类组成情况，表 1 列出了混凝土礁体和铁制礁体主成分分析计算结果的特征值、贡献率、累计贡献率和各主成分的代表附着生物。

混凝土礁体附着生物的主成分分析，使用 Varimax 最大方差法旋转，经 5 次迭代收敛后提取了 2 个主成分，这 2 个主成分的累积贡献率达 96.575%，基本反映混凝土礁体附着生物的主要特征。在第一主成分中，载荷系数最大的为三角藤壶 (*Balanus trigonus*)，达到 7.2874，而乳突皮海鞘 (*Molgula manhattensis*)、翡翠贻贝 (*Perna viridis*)、须鳃虫 (*Cirriformia tentaculata*) 和细肋肌蛤 (*Musculus mirandus*) 的载荷系数与三角藤壶的差别比较大，变化范围为 0.02981 ~ 1.32607。在第二主成分中，载荷系数最大的为美丽唇齿螺 (*En-*

gina pulchra)，达到 5.94875，翡翠贻贝次之，为 3.84751，乳突皮海鞘、多室草苔虫 (*Bugula neritina*)、珠带拟蟹守螺 (*Cerithidea cingulata*)、毛偏顶蛤 (*Modiolus barbatus*)、纹斑棱蛤 (*Trapezium liratum*)、乳蟄虫 (*Thelepus* sp.) 和冠瘤海鞘 (*Styela canopus*) 载荷系数的变化范围为 0.01642 ~ 1.43302。

铁制礁体附着生物的主成分分析是抽取因子数为 2，使用 Varimax 最大方差法旋转，经 5 次迭代收敛后提取了 2 个主成分，这 2 个主成分的累积贡献率达 96.448%，基本反映铁制礁体附着生物的主要特征。在第一主成分中，三角藤壶的载荷系数最大，达到 8.03439，而乳突皮海鞘、变化短齿蛤 (*Brachidontes variabilis*)、纹斑棱蛤、背裂虫 (*Opisthosyllis brunnea*)、冠瘤海鞘、敦氏猿头蛤 (*Chama dunkeri lischke*)、真蛇尾 (*Ophiura* sp.) 和叶须虫 (*Phyllodoce laminosa*) 载荷系数的变化范围为 0.11434 ~ 0.55807。在第二主成分中，红网孔苔虫 (*Iodictyum axillare*) 的载荷系数最大，达到 7.32172，乳突皮海鞘、三角藤壶、变化短齿蛤和真蛇尾载荷系数的变化范围为 0.11301 ~ 3.5151。

从表 1 各主成分的代表附着生物可得出，在第一主成分中，混凝土礁体和铁制礁体附着生物占据绝对优势的种类基本一致，而在第二主成分中，混凝土礁体和铁制礁体附着生物各有其特点，可能由于礁体材料不同所致。然而，无论是出现频率还是丰度，表 1 中所列出的附着生物在各自的附着生物群落结构中都占有明显优势，它们共同构成人工鱼礁附着生物群落的主体。

2.3 群落结构特征

对混凝土礁体和铁制礁体分别进行聚类分析，分析结果见图 2。混凝土礁体和铁制礁体上层和下层附着生物群落基本一致，聚为一类。而在礁体的中层，附着生物群落结构相似性较差，没有聚为一类。同时，上层和下层相比来说，下层的聚类现象更加明显，主要是由于下层受人为干扰、降雨和台风的影响小。而上层有个别的样品聚类效果不是很理想，可能是受拖网渔船、渔网破烂后覆盖在礁体表面、降雨和台风等的影响较大所致。

2.4 群落结构序列分析 (MDS) 结果

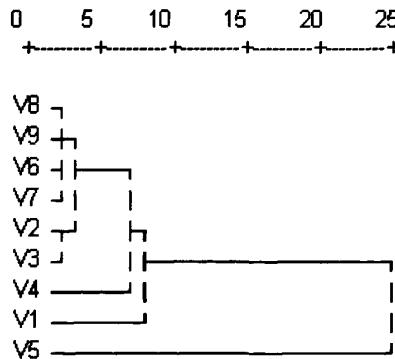
图 3 中，混凝土礁体图形(a) 分析的 Stress 值

表1 混凝土礁体和铁制礁体附着生物种类组成的主成分及其代表附着生物

Tab. 1 Principal components and their main species of attaching organisms on concrete and steel reefs

材料 material	主成分 component	特征值 eigenvalue	贡献率/ % contribution rate	累计贡献率/ % accumulated contribution rate	附着生物代表种类 representative species of attaching organisms
混凝土礁体 concrete reef	主成分 1	7.676	85.220	85.220	三角藤壶 <i>Balanus trigonus</i> 、乳突皮海鞘 <i>Molgula manhattensis</i> 、翡翠贻贝 <i>Perna viridis</i> 、须鳃虫 <i>Cirriformia tentaculata</i> 、细肋肌蛤 <i>Musculus mirandus</i>
	主成分 2	1.022	11.355	96.575	美丽唇齿螺 <i>Engina pulchra</i> 、翡翠贻贝、乳突皮海鞘、多室草苔虫 <i>Bugula neritina</i> 、珠带拟蟹守螺 <i>Cerithidea cingulata</i> 、毛偏顶蛤 <i>Modiolus barbatus</i> 、纹斑棱蛤 <i>Trapezium liratum</i> 、乳螯虫 <i>Thelepus</i> sp.、冠瘤海鞘 <i>Styela canopus</i>
铁制礁体 steel reef	主成分 1	7.847	87.189	87.189	三角藤壶、乳突皮海鞘、变化短齿蛤 <i>Brachidontes variabilis</i> 、纹斑棱蛤、背裂虫 <i>Opisthosyllis brunnea</i>
	主成分 2	0.833	9.259	96.448	红网孔苔虫 <i>Iodictyum axillare</i> 、乳突皮海鞘、三角藤壶、变化短齿蛤、真蛇尾 <i>Ophiura</i> sp.

a 混凝土礁体 concrete reefs



b 铁制礁体 steel reefs

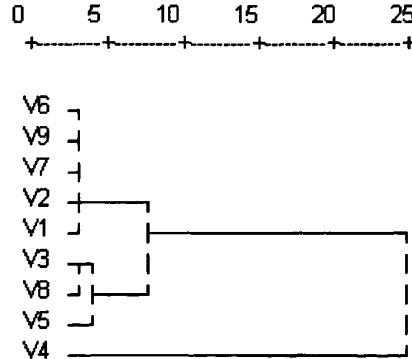


图2 混凝土礁体和铁制礁体附着生物群落结构聚类分析

V1~V3. 破体上层样品; V4~V6. 破体中层样品; V7~V9. 破体下层采集样品

Fig. 2 Hierarchical cluster analysis for the community of attaching organisms in concrete reefs and steel reefs

V1~V3. samples on upper layer; V4~V6. samples on middle layer; V7~V9. samples on lower layer

为 0.019, 铁制礁体图形 (b) 分析的 Stress 值为 0.016, 说明 a 和 b 可以正确解释样品间相似关系。虽然 MDS 与聚类分析的原理不同, 但两者分析的结果却基本一致, 达到互相印证的效果。在 MDS 图上, 混凝土礁体上层和下层的附着生物群落基本分为一类, 为高温高盐种, 而中层的附着生物群落没有明显地构成一类, 可能与其所处水层有关, 处于上层和下层之间, 导致附着生物群落不是很稳定。铁制礁体上层和下层附着生物群落的变化趋势和混凝土礁体的基本一致, 上层和下层的附着生物

群落基本上为一类, 相似性比较高, 为高温高盐种。同样, 中层的变化趋势也同混凝土礁体的类似。

3 讨论

有关研究表明, 附着生物群落的种类组成以及数量变动受到包括海域温度、盐度、水深和气候特征等各种环境因子以及礁体材料等因素的影响^[16~21]。大亚湾鱼礁区地处亚热带, 温度高、盐度高、透明度大, 这是该海域环境的最重要特点。

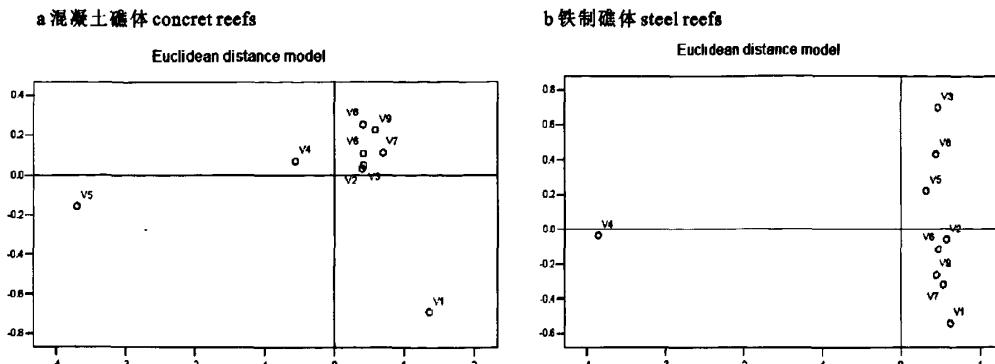


图3 混凝土礁体和铁制礁体附着生物群落结构序列分析结果

V1~V3. 礁体上层样品; V4~V6. 礁体中层样品; V7~V9. 礁体下层采集样品

Fig. 3 Multidimensional scaling analysis for the community of attaching organisms in concrete reefs and steel reefs
V1~V3. samples on upper layer; V4~V6. samples on middle layer; V7~V9. samples on lower layer

该次调查中, 8、9.5 和 11 m 水深的温度分别为 29.18、26.90 和 26.41℃; 盐度分别为 31.28、31.71 和 31.86。因此, 附着生物基本上属于相对高温高盐种类。

比较混凝土礁体和铁制礁体附着生物群落组成情况, 从数量上看, 三角藤壶占据绝对优势, 混凝土礁体上占 53%, 铁制礁体上占 42%。而且混凝土礁体和铁制礁体附着生物占据绝对优势的种类是一致的, 为三角藤壶和乳突皮海鞘, 这与 2 种礁体的第一主成分相对应, 它们均为高温高盐种类。而 2 种礁体第二主成分附着生物的种类组成变化较大, 可能由于礁体材料不同所致。

聚类分析和 MDS 分析结果表明, 混凝土礁体和铁制礁体的上层和下层附着生物群落基本上聚为一类, 而中层的附着生物群落相似性较差, 没有明显的聚为一类。处于下层的附着生物群落比较稳定, 基本上聚为一类, 可能由于下层受外界的干扰较小, 温度和盐度等环境因子变化不大。处于上层的附着生物群落与下层的聚为一类, 主要是因为其温、盐度相差较小。然而, 处于中层的附着生物群落结构没有明显的聚为一类, 可能与其处在上层和下层之间有关。同时, 混凝土礁体 V1 和 V5, 铁制礁体的 V4 与其他样品相似性极差, 说明 V1、V4 和 V5 样品生物组成与其他样品差别很大。究其原因, 很可能是因为台风的作用使得局部礁体附着生物群落发生了较大变化。

由此可知, 海水温度、盐度、水深、气候特征

和礁体材料等要素是影响大亚湾人工鱼礁附着生物群落结构的主要因子, 而其中彼此间的相关性、变化规律和影响程度, 则有待于进行更为深入的研究和探讨。

参考文献:

- [1] 黄梓荣, 梁小芸, 曾嘉. 人工鱼礁材料生物附着效果的初步研究 [J]. 南方水产, 2006, 2 (1): 34~38.
- [2] SHAO K, CHEN L. Evaluating the effectiveness of the coal ash artificial reefs at Wan-Lin northern of Taiwan [J]. J Fish Soc Taiwan, 1992, 19 (4): 239~250.
- [3] FITZHARDINGE R C, BAILEY B J H. Colonization of artificial reef materials by corals and other sessile organisms [J]. Bull Mar Sci, 1989, 44 (2): 567~579.
- [4] 卢纹岱. SPSS for windows 统计分析 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.
- [5] 国家技术监督局. 海洋调查规范 [M]. 北京: 中国标准出版社, 1992: 129~321.
- [6] FIELD J G, CLARKE K R, WARWICK R M. A practical strategy for analysis muhispecies distribution paaem [J]. Mar Ecol Prog Ser, 1982, 8 (1): 37~52.
- [7] BURD B J, NEMEC A, BHNEHURST R O. The development and application of analytical methods in benthic marine faunal studies [J]. Adv Mar Biol, 1990, 26: 169~247.
- [8] 刘瑞秋, 张水元. 长江中下游地区若干湖泊水质的多元分析与比较 [J]. 水生生物学报, 2000, 24 (5): 439~445.
- [9] 左涛, 王克, 王荣, 等. 春季南黄海浮游动物群落的多元统计分析 [J]. 水产学报, 2003, 27 (增刊): 108~114.
- [10] 潘文斌, 蔡庆华. 保安湖·湖湾大型水生植物群落格局的评价 [J]. 水生生物学报, 2000, 24 (5): 412~417.
- [11] 李永振, 陈国宝, 孙典荣. 珠江口鱼类组成分析 [J]. 水产

- 学报, 2000, 24 (4): 312-317.
- [12] 郭沛涌, 沈焕庭, 刘阿成, 等. 长江河口浮游动物的种类组成、群落结构及多样性 [J]. 生态学报, 2003, 23 (5): 892-900.
- [13] 蔡文贵, 李纯厚, 贾晓平, 等. 粤西海域浮游植物群落结构特征的多元分析与评价 [J]. 水生生物学报, 2007, 31 (2): 155-161.
- [14] 赵汉取, 贾晓平, 李纯厚, 等. 秋、冬季北部湾浮游介形类群落多元分析 [J]. 应用生态学报, 2006, 17 (12): 2413-2416.
- [15] FIELD J G, CLARKE K R, WARWICK R M. A practical strategy for analysing multispecies distribution patterns [J]. Mar Ecol Prog Ser, 1982, 8 (2): 37-52.
- [16] MENON N R, NAIR N B. Ecology of fouling bryozoans in Cochin waters [J]. Mar Biol, 1971, 8 (4): 280-307.
- [17] 李传燕, 黄宗国, 郑成兴. 厦门港试验浮筏污损生物的群落 [J]. 台湾海峡, 1992, 11 (2): 167-173.
- [18] 黄宗国, 郑成兴, 李传燕, 等. 大亚湾海洋生态文集 (II) [M]. 北京: 海洋出版社, 1990: 478-488.
- [19] 宇都宫正. 魚礁に関する研究 [J]. 山口縣内海水產試驗場業績, 1957, 9 (1): 41-51.
- [20] 安永义幅, 乃万俊文, 日向野純也, 等. 並型人工魚礁における環境変動と魚群生態 [J]. 水產工学研究所研究報告, 1989 (10): 1-35.
- [21] 张伟, 李纯厚, 贾晓平, 等. 人工鱼礁附着生物影响因素研究进展 [J]. 南方水产, 2008, 4 (1): 64-68.