

doi: 10.3969/j.issn.2095-0780.2013.02.004

珠江口竹洲人工鱼礁与相邻天然礁附着生物群落结构研究

李勇, 洪洁漳, 李辉权

(广东省海洋与渔业环境监测中心, 广东 广州 510222)

摘要: 2011年9月利用潜水原位采样法对竹洲人工鱼礁及附近天然岛礁上附着生物群落进行了调查。此次调查共记录附着生物68种,多属于热带-亚热带暖水种,其中优势种为网纹藤壶(*Balanus reticulatus*)、华美盘管虫(*Hydroides elegans*)和马氏珠母贝(*Pinctada martensi*)。投礁6个月的礁体上附着生物种类和生物量与天然岛礁上附着生物存在显著差异,投礁12个月礁体上附着生物种类与天然岛礁上附着生物差异有减少趋势,生物量不存在显著差异。聚类分析表明竹洲礁区海域附着生物群落可划分为2个群落,投礁12个月礁体与天然岛礁同属一个群落,投礁6个月礁体附着生物为一个群落。人工鱼礁附着生物群落演替过程中改变了礁体表面空间结构,空间异质性提高,人工鱼礁附着生物群落逐步向着天然岛礁附着生物群落的方向发展。

关键词: 人工鱼礁; 天然岛礁; 珠江口; 附着生物; 群落结构

中图分类号: Q 178.53

文献标志码: A

文章编号: 2095-0780-(2013)02-0020-07

Fouling communities on neighboring artificial and natural reefs in Zhu Island, Pearl River estuary

LI Yong, HONG Jiezhang, LI Huiquan

(Guangdong Oceanic and Fishery Environment Monitoring Center, Guangzhou 510222, China)

Abstract: We investigated the fouling communities on neighboring artificial and natural reefs in Zhu Island in September, 2011 by situ diving. A total of 68 species of fouling organisms were identified, which are mostly tropical-subtropical warm-water species, and *Balanus reticulatus*, *Hydroides elegans* and *Pinctada martensi* are the dominant species. The number of species and biomass of fouling organisms on the artificial reefs which had been placed for 6 months is significantly different from that on the natural reefs, while the difference between the artificial and natural reefs placed for one year diminished with no significant difference in biomass. The Cluster analysis show that Zhu Island has 2 fouling communities; one is the artificial and natural reefs placed for one year, and the other is the fouling organisms on the artificial reefs placed for 6 months. Community succession of fouling organisms had changed the surface construction of artificial reefs and increased the spatial heterogeneity, so the fouling communities deposited on artificial reefs in the past may gradually be deposited on natural reefs.

Key words: artificial reef; natural reef; Pearl River estuary; fouling organisms; community structure

人工鱼礁最早应用于聚集鱼类,提高渔业产量^[1]。随着海洋环境污染和生物资源的破坏,人工鱼礁已经成为海洋生物栖息地恢复与重建的重要技术^[2-4]。为促进海上潜水观光旅游,加强海岸带

保护和渔业资源管理,世界沿海地区利用多种材料建设了大量人工鱼礁^[5]。珠江口作为中国最重要的渔场之一,具有极其重要的渔业地位和生态保护价值,近年来该海域的生态系统受到严重破坏,

收稿日期: 2012-09-17; 修回日期: 2012-10-23

资助项目: 海洋公益性行业科研专项“长江口、珠江口及其邻近海域典型(重要)生物栖息地与资源恢复技术研究及示范”(201005013)

作者简介: 李勇(1984-),男,硕士,助理工程师,从事海洋底栖生态学研究。E-mail: liyong39@163.com

通信作者: 李辉权, E-mail: 113204062@qq.com

2001年广东省九届人大四次会议通过《建设人工鱼礁保护海洋资源环境议案》,拉开了广东省人工鱼礁建设的序幕。目前广东省在珠江口共建设了6个人工鱼礁区,因此在该海域进行人工鱼礁建设,加强生物栖息地与资源恢复技术研究,使退化的生态环境和海洋生物资源得以逐步恢复,是亟待解决的重要课题。

人工鱼礁可以通过多种途径修复海洋生态环境和恢复生物资源,包括吸收海水中污染物质净化水质^[6],为渔业资源提供索饵场、庇护场、产卵场等。附着生物在此过程中发挥重要作用,直接影响着人工鱼礁生态效应功能的发挥和海洋环境修复的成败。然而,目前国内人工鱼礁附着生物研究集中在鱼礁材料选择和单纯人工鱼礁附着生物生态特征^[7-8],而人工鱼礁与天然岛礁附着生物群落对比研究很少。此外,人工鱼礁修复重建区生态修复效果评估主要局限于水质、浮游生物、游泳生物等对比分析^[9-10],水质、浮游生物具有很大流动性,难以进行有效对比评价;游泳生物具有较强的运动能力,无法判断人工鱼礁是将周边海区的游泳生物吸引到礁区,还是提高了海域整体的游泳生物资源量^[11];而附着生物群落相对稳定,可以反映其栖息地的环境状况^[12]。因此,有必要对人工鱼礁与天然岛礁附着生物群落特征开展对比研究^[13],以完善人工鱼礁修复重建区生态修复效果评估体系。

1 材料与方法

1.1 调查站位

笔者以珠江口竹洲人工鱼礁区及其相邻天然岛礁竹洲作为研究对象。竹洲人工鱼礁区位于珠江口竹洲岛北部,2010年2月开始施工建设,2011年3月礁区建设完成,共投放混凝土礁体1 051座,礁体中部敷设了轮胎或者U形PVC管,礁群实体表面积64 114.92 m²,空方体积36 639 m³。2011年9月利用潜水原位采样法,选择4座礁体为采样站位,其中AR1和AR2采样站位礁体投放于2010年9月,AR3和AR4采样站位礁体投放于2011年3月,竹洲天然岛礁布设2个调查站位NR1和NR2(图1)。

1.2 样品采集和处理

利用潜水原位采样法采集竹洲人工鱼礁及天然岛礁上的附着生物。每个站位定量采集2个样方,采样面积0.062 5 m²。样品处理和分析均按照《海

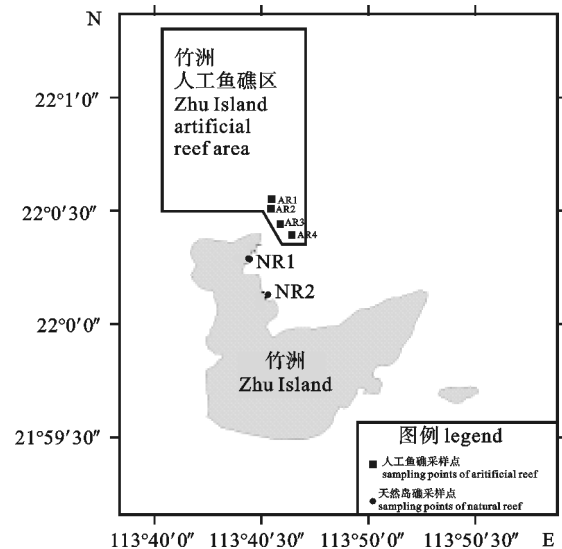


图1 竹洲人工鱼礁和天然岛礁附着生物调查站位

Fig. 1 Sampling sites of fouling organisms on artificial reef and natural reefs in Zhu Island

洋调查规范》^[14]进行。

1.3 数据分析

选用 Shannon-Wiener 多样性指数(H')和 Pielou 均匀度指数(J)进行群落多样性研究。

$$H' = - \sum_{i=1}^s P \log_2 P_i$$

$$J = H' / \log_2 S$$

式中 S 为测站中的样品的总种类数, N 为样品的总丰度, P_i 为测站第 i 种的丰度与样品丰度的比值, 根据优势度选择优势种。计算公式:

$$Y = (N_i / N) \times f_i$$

式中 Y 为优势度, N_i 为第 i 种出现的个体数, N 为样品的总丰度, f_i 为第 i 种在各个站位出现的频率。采用软件 SPSS 17 作因素方差分析 (One - Way ANOVA)。使用软件 PRIMER 5 分析生物群落。附着生物生物量 ($g \cdot m^{-2}$) 进行平方根转化后, 进行 Bray-Curtis 相似性等级聚类分析 (Cluster analysis) 和非度量多维标度分析 (MDS)^[15]。对聚类分析划分的样品组通过 SIMPER 分析, 进一步将每个种对任 2 个样品组之间的非相似性贡献的百分数分解, 并按照递减的顺序排列, 以便分析表征群落以及造成群落差异的物种^[16]。

2 结果与分析

2.1 种类组成

调查共鉴定生物 68 种, 隶属于海绵动物门(1

种)、腔肠动物门(4种)、苔藓虫动物门(1种)、环节动物门(15种)、软体动物门(31种)、节肢动物门(9种)、棘皮动物门(5种)、脊索动物门(2种)七大门类(表1)。其中软体动物物种数量最多,占鉴定生物种类总数的45.59%,其次为环节动物(22.06%)。各站位物种组成均以软体动物所占比例最高。人工鱼礁礁体上共鉴定附着生物51种,其中投放6个月的礁体上附着生物26种,投放12

个月的礁体上附着生物36种,天然岛礁上物种数量为38种。根据优势度公式计算人工鱼礁和天然礁上附着生物的优势度,以 $Y > 0.02$ 作为优势种的选择标准^[17]。按照优势度大小排列,优势种分别为网纹藤壶(*Balanus reticulatus*)(0.285)、华美盘管虫(*Hydroides elegans*)(0.0421)和马氏珠母贝(*Pinctada martensi*)(0.036)。其中网纹藤壶在附着生物群落中占绝对优势,所有站位均有出现。

表1 人工鱼礁与天然岛礁附着生物种类数量组成比较

Tab. 1 Comparison of species composition on artificial and natural reefs

门类 taxa	人工鱼礁 artificial reef				天然岛礁 natral reef		合计 total
	6个月 6 months		12个月 12 months		NR1	NR2	
	AR1	AR2	AR3	AR4			
环节动物 Annelida	6	1	4	6	5	2	15
软体动物 Mollusca	11	5	9	8	14	14	31
节肢动物 Arthropoda	1	1	3	4	5	3	9
棘皮动物 Echinodermata	2	1	5	3	1	2	5
其他 other	2	2	5	3	3	3	8
合计 total	22	10	26	24	28	24	68
	26		36		38		68

51

2.2 数量分布

人工鱼礁和天然岛礁上附着生物总平均栖息丰度为3 037.33个·m⁻²,总平均生物量为3 670.32 g·m⁻²。附着生物丰度分布为投礁6个月(3 552个·m⁻²) > 天然岛礁(2 912个·m⁻²) > 投礁12个月(2 648个·m⁻²)(表2)。投放6个月和12个月的人工鱼礁礁体上均为节肢动物丰度最高,分别占总丰度的51.35%和42.30%,而天然岛礁上节肢动物丰度所占比例为22.45%,软体动物丰度最高为1 264个·m⁻²。附着生物生物量分布为天然岛礁(5 163.68 g·m⁻²) > 投礁12个月(4 461.68 g·m⁻²) > 投礁6个月(1 385.6 g·m⁻²)。附着生物生物量均以软体动物为主,投礁6个月礁体上软体动物生物量最低为937.28 g·m⁻²,其次为投礁12个月礁体为3 565.28 g·m⁻²,天然岛礁上最高为4 304.08 g·m⁻²,所占比例分别为67.64%,79.91%和83.35%。

采用One-Way ANOVA分析了人工鱼礁和天然岛礁上附着生物丰度和生物量的差异,结果表明,附着生物丰度在人工鱼礁礁体与天然岛礁上不存在

显著性差异($P > 0.05$);投礁6个月礁体上附着生物生物量与投礁12个月礁体、天然岛礁上附着生物生物量存在显著性差异($P < 0.05$),而投礁12个月礁体和天然岛礁上附着生物生物量差异不明显($P > 0.05$)。投礁6个月的礁体上附着生物平均个体质量最低(0.39 g·个⁻¹),其次为投礁12个月礁体(1.68 g·个⁻¹),天然岛礁上最高(1.77 g·个⁻¹)(表2)。投礁6个月礁体上附着生物个体小,单位面积可以容纳更多的生物个体。

2.3 附着生物群落多样性

人工鱼礁与天然岛礁附着生物多样性指数(H')和平均均匀度指数(J)见图2。平均生物多样性指数和平均均匀度指数均以天然岛礁最高,其次为投礁12个月礁体,投礁6个月礁体最低。根据生物多样性阈值分级评价标准^[18],投礁6个月礁体附着生物多样性较好($1.6 < H' < 2.5$),投礁12个月礁体生物多样性丰富($2.6 < H' < 3.5$),天然岛礁附着生物多样性非常丰富($H' > 3.5$),随着投礁时间延长,附着生物种类增加,礁体表面空间异质性增强,有助于生物多样性水平提高。

表 2 人工鱼礁与天然岛礁上附着生物丰度和生物量比较

Tab. 2 Comparison of abundance and biomass of fouling organisms on artificial and natural reefs

门类 kingdom	人工鱼礁 artificial reef				天然岛礁 natural reef	
	6 个月 6 months		12 个月 12 months		丰度/个·m ⁻² abundance	生物量/g·m ⁻² biomass
	丰度/个·m ⁻² abundance	生物量/g·m ⁻² biomass	丰度/个·m ⁻² abundance	生物量/g·m ⁻² biomass		
环节动物 Annelida	488	7.36	624	8.24	312	6.72
软体动物 Mollusca	832	937.28	296	3 565.28	1 264	4 304.08
节肢动物 Arthropoda	1 824	366.40	1 120	205.68	712	132.16
棘皮动物 Echinodermata	144	27.28	176	271.20	248	228.64
其他 other	264	47.28	432	411.28	376	492.08
总计 total	3 552	1 385.60	2 648	4 461.68	2 912	5 163.68
平均体质量/g·个 ⁻¹ average weight	0.39		1.68		1.77	

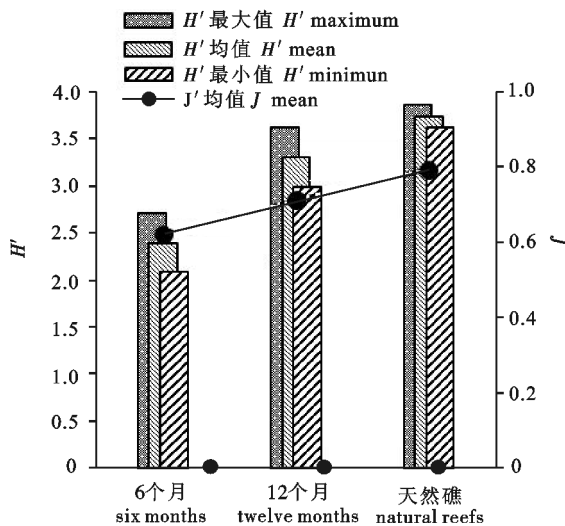


图 2 人工鱼礁与天然岛礁附着生物多样性指数 (H') 和均匀度指数 (J)

Fig. 2 Biodiversity index (H') and evenness index (J) of fouling organisms on artificial and natural reefs

2.4 附着生物群落划分和特征

对附着生物群落进行 Cluster 和 MDS 分析, 结果见图 3。相似度 50% 时可将附着生物划分为 2 个群落。MDS 分析参数 Stress 值为 0.01, 小于 0.1, MDS 图形可以正确解释各采样站位附着生物的相似关系。MDS 排序结果与聚类分析结果基本一致。

对 Cluster 聚类分析划分的群落进行 SIMPER 分析, 将每个种对 2 个群落之间非相似性贡献的百分数分解并按递减的顺序排列, 鉴定出对群落划分起重要作用的种 (表 3)。

根据 Cluster 和 SIMPER 分析结果, 把附着生物划分为 2 个群落。群落 I 为马氏珠母贝-网纹藤壶-塔形扭柱螺, 该群落由 AR1 和 AR2 组成, 群落内相似性系数为 57.29%; 群落 II 为马氏珠母贝-网纹藤壶-密鳞牡蛎, 该群落由站位 AR3、AR4、NR1 和 NR2 组成, 群落内相似性为 54.19%。2 个群落平均距离 $\delta = 59.87$, 差异主要由生物量差异引起,

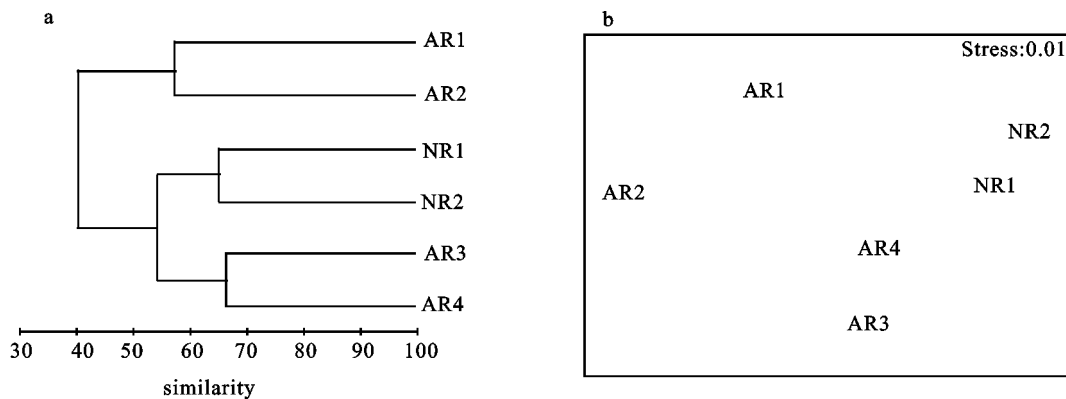


图 3 附着生物群落聚类分析 (a) 和二维 MDS 分析 (b) ($n = 8$)

Fig. 3 Results of Cluster analysis (a) and MDS analysis of fouling communities (b)

表3 基于附着生物生物量的 SIMPER 分析结果

Tab. 3 Result of SIMPER analysis based on biomass of fouling organisms

物种 species	平均生物量 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ average biomass		平均距离 average dissimilarity	贡献率/% contribution rate	累计贡献率/% accumulative contribution rate
	群落 I community I	群落 II community II			
马氏珠母贝 (<i>Pinctada martensii</i>)	625.28	2 696.92	9.11	15.22	15.22
网纹藤壶 (<i>Balanu reticulatus</i>)	366.40	1 456.04	6.44	10.76	25.98
塔形扭柱螺 (<i>Tectus pyramis</i>)	0	491.64	4.86	8.11	34.09
密鳞牡蛎 (<i>Ostrea denselamellosa</i>)	246.32	0.00	3.86	6.45	40.55
褐棘螺 (<i>Chicoreus bruneus</i>)	0	242.44	3.85	6.43	46.97
皱瘤海鞘 (<i>Styela plicata</i>)	66.96	333.56	3.65	6.10	53.07
翡翠贻贝 (<i>Mytilus smaragdinus</i>)	4.24	309.36	3.14	5.24	58.31
紫海胆 (<i>Anthocidaris crassispina</i>)	8.16	162.08	2.98	4.97	63.28
柳珊瑚 (<i>Gorgonacea</i>)	0	98.80	1.70	2.83	66.11
双带核螺 (<i>Pyrene bicincta</i>)	1.04	92.08	1.66	2.78	68.89
褶牡蛎 (<i>Ostrea plicatula</i>)	39.52	0	0.92	2.59	71.47
方柱五角瓜参 (<i>Pentacta quadrangularis</i>)	0	82.32	1.55	2.58	74.06
珠母爱尔螺 (<i>Ergalatax margaritcola</i>)	0	26.72	1.50	2.51	76.57
侧花海葵属 (<i>Anthopleura</i> sp.)	25.20	4.08	1.21	2.02	78.58
秀丽织纹螺 (<i>Nassarius dealbatus</i>)	0	19.28	0.92	1.54	80.13

马氏珠母贝、网纹藤壶、皱瘤海鞘、翡翠贻贝、紫海胆、双带核螺、侧花海葵在 2 个群落内都有出现,但附着生物生物量在 2 个群落之间存在明显差异。

3 讨论

竹洲位于珠江口中部,属于亚热带季风气候^[19],夏季底层水温为 24.81~26.47℃,底层盐度为 30.40~32.54,附着生物种类多属热带-亚热带暖水种。人工鱼礁和天然岛礁上附着生物种类存在明显差异,人工鱼礁附着生物优势种为网纹藤壶和华美盘管虫,天然岛礁优势种为网纹藤壶、马氏珠母贝和翡翠贻贝。网纹藤壶是广东沿海的主要附着生物^[20],黄梓荣等^[7]对珠江口东澳岛附着生物研究也表明网纹藤壶是夏季附着生物群落优势种。对烟台港附着生物研究结果表明,挂板 6 个月盘管虫为群落优势种,12 个月后挂板上贻贝等软体动物增多,成为优势种,附着生物群落接近顶级群落^[21]。笔者研究发现,投礁 12 个月后人工鱼礁与天然岛礁附着生物物种数和种类组成差异减小。投礁 6 个月礁体附着生物为 26 种,投礁 12 个月时增

长到 36 种,仅比天然岛礁物种少 2 种。投礁 6 个月礁体和天然岛礁上共有种仅 11 种,占总种数的 21.15%,投礁 12 个月礁体和天然岛礁上共有种 19 种,占总种类数 34.55%。SARA 等^[22]对迈阿密巴尔港人工鱼礁和附近天然礁附着生物进行了 5 年的调查研究,天然岛礁物种数量稳定维持在 60 种以上,而投礁 6 个月礁体上物种数量为 22 种,12 个月为 34 种,投礁 2.5 年物种数量才达到 60 种。DEBORAH 等^[23]通过对 Pendleton 人工鱼礁和相邻天然礁 Las Pulgas 研究认为新投放人工鱼礁上附着生物种类组成经过长时间生态演替,与天然岛礁上附着生物种类组成逐步相近似,而人工鱼礁附着生物群落演变成近似天然岛礁附着生物群落的过程需要 10~15 年。人工鱼礁附着生物种类组成受所在海域气象、水文、季节及原著居物种、礁体材料等影响^[12,20,24-29],不同地区不同礁区附着生物群落演替进程存在差异。

竹洲人工鱼礁与天然岛礁附着生物生物量在投礁 6 个月时存在显著差异,而投礁 12 个月时这种差异消失,人工鱼礁附着生物生物量升高到接近天然岛礁水平,但丰度依旧存在显著差异,附着生物

多样性指数和均匀度指数随着投礁时间延长呈升高趋势, 但均低于天然岛礁。巴尔港人工鱼礁附着生物调查发现丰度、生物多样性变化亦呈现这种趋势, 投礁后第4年达到与天然岛礁相近的水平, 附着生物群落趋于稳定^[22]。与其他海区挂板试验中年度附着生物生物量比较, 竹洲人工鱼礁投礁12个月礁体上附着生物生物量低于大亚湾^[26]、湛江港^[31]、碣石湾^[32]、深圳湾^[33], 这种差异可能是由水深不同造成的。上述研究的挂板试验深度在0.5~5 m, 而笔者的研究采样水深为19~22 m, 随着水深增加附着生物生物量有减少的趋势^[24]。有研究表明, 投放水深为12~24 m时礁区鱼类生物多样性和丰度最高^[34], 因此, 人工鱼礁投放时应选择合理的水深。

投礁6个月礁体与天然岛礁附着生物 Bray-Curtis 相似性系数为40.13%, 投礁12个月礁体与天然岛礁附着生物 Bray-Curtis 相似性系数升高至54.19%, 人工鱼礁与天然岛礁附着生物群落同属于马氏珠母贝-网纹藤壶-密鳞牡蛎群落。在投礁后初始的3.5年内, 巴尔港人工鱼礁^[22]附着生物与天然岛礁附着生物群落 Bray-Curtis 相似性系数也呈现不断增长的趋势, 此后维持在45%~58%^[22], 表明人工鱼礁附着生物群落处于相对稳定状态。

研究表明随着投礁时间延长, 人工鱼礁与附着生物相互作用、相互影响, 在演替过程中, 尤其是牡蛎、藤壶等营固着生活的种类极大地改变了附着基的表面组成和空间结构, 空间异质性程度的提高有助于更多小生境的形成, 生物多样性水平升高和人工鱼礁生态系统抗干扰能力、恢复能力、稳定性的提高。ROOKER等^[34]对 Flower Garden Bank 国家海洋保护区人工鱼礁研究表明鱼类丰度随着人工鱼礁礁体附着生物丰富度和空间结构复杂度的增加而升高。人工鱼礁在附着生物演替过程中逐步向着临近天然岛礁附着生物群落相近的方向发展, 并逐渐发挥与天然岛礁相似的功能, 对生物栖息地修复和渔业资源恢复具有积极意义。人工鱼礁结构特征在这种发展趋势中发挥了重要作用, 人工鱼礁与天然岛礁结构特征不同时, 即使给予充分的演替时间, 附着生物群落依旧存在差异^[35]。因此, 人工鱼礁礁体设计以岛礁为模型, 要提高附着表面积, 增加附着生物数量, 为鱼类提供丰富的饵料; 更要增加坑槽、裂缝等结构, 提高空间结构复杂性, 为鱼类提供休憩、避难场所。

笔者仅对投礁6个月和12个月礁体和天然岛礁附着生物群落进行了研究, 而人工鱼礁附着生物群落处于长期的动态变化过程中^[36]。因此, 有必要对人工鱼礁和天然岛礁附着生物开展中长期的研究, 进一步探讨人工鱼礁附着生物群落演替方向及其与渔业资源恢复的关系。

参考文献:

- [1] VICENTE M, FALCAO M, SANTOS M N, et al. Environmental assessment of two artificial reef systems off southern Portugal (Faro and Olhão): a question of location [J]. *Cont Shelf Res*, 2008, 28(6): 839-847.
- [2] BOHNSACK J A, SUTHERLAND D L. Artificial reef research: a review with recommendations for future priorities [J]. *Bull Mar Sci*, 1985, 37(29): 11-39.
- [3] THOMAS A W. The benthic impacts of the Loch Linnhe artificial reef [J]. *Hydrobiologia*, 2006, 555(9): 345-353.
- [4] SEAMAN W. Unifying trends and opportunities in global artificial reef research, including evaluation [J]. *Mar Sci*, 2002, 59(1): 14-16.
- [5] BAINE M. Artificial reefs: a review of their design, application, management and performance [J]. *Ocean & Coastal Manage*, 2001, 44(3/4): 241-259.
- [6] PICKERING H. Artificial reefs of bulk waste materials: a scientific and legal review of the suitability of using the cement stabilized by-products of coal-fired power stations [J]. *Mar Policy*, 1996, 20(6): 483-497.
- [7] 黄梓荣, 梁小云, 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.
- [8] 张伟, 李纯厚, 贾晓平, 等. 混凝土礁体和铁质礁体附着生物群落多元统计分析 [J]. *南方水产*, 2009, 5(3): 30-35.
- [9] 陈应华. 大亚湾大辣甲南人工鱼礁区的生态效应分析 [D]. 广州: 暨南大学, 2009.
- [10] 王宏, 陈丕茂, 李辉权, 等. 澄海莱芜人工鱼礁集鱼效果初步评价 [J]. *南方水产*, 2008, 4(6): 63-69.
- [11] SVANE I B, PETERSEN J K. On the problems of epibioses, fouling and artificial reefs, a review [J]. *Mar Ecol*, 2001, 22(3): 169-188.
- [12] GRAY J S. Pollution-induced changes in populations [J]. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 1979, 286(1015): 545-561.
- [13] PERKOL-FINKEL S, BENAYAHU Y. Community structure of stony and soft corals on vertical unplanned artificial reefs in Eilat (Red sea): comparison to natural reefs [J]. *Coral Reefs*, 2004, 23(2): 195-205.
- [14] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 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, 2007: 52-56.
- [15] CLARKE K R, WARWICK R M. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation [M]. 2nd ed.

- Plymouth, UK: PRIMER-E Ltd Plymouth Marine Laboratory, 2001: 12-98.
- [16] 张志南, 周红. 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.
- [17] 沈国英, 施并章. 海洋生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 158-159.
- [18] 陈清潮, 黄良民, 尹建强, 等. 南沙群岛海区浮游动物多样性研究[M]//中国科学院南沙综合科学考察队. 南沙群岛及其邻近海区海洋生物多样性研究 I. 北京: 海洋出版社, 1994: 42-50.
- [19] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志: 重要河口[M]. 北京: 海洋出版社, 1997: 247-255.
- [20] 黄宗国. 海洋无损生物及其防除(下册)[M]. 北京: 海洋出版社, 2007: 79-186.
- [21] 李传燕, 黄宗国, 王建华, 等. 蓬莱港附着生物生态研究[J]. 海洋通报, 1989, 8(2): 64-68.
- [22] SARA E T, TIMOTHY L, STEPHEN M B. Development of benthic and fish assemblages on artificial reef materials compared to adjacent natural reef assemblages in Miami-Dade County, Florida [J]. Bull Mar Sci, 2006, 78(1): 57-70.
- [23] DEBORAH A A, BROCK B B, MELODIE L P, et al. Comparisons of turf communities from Pendleton artificial reef, Torrey pines artificial reef, and a natural reef using multivariate techniques[J]. Bull Mar Sci, 1999, 65(1): 37-57.
- [24] 黄宗国, 蔡如星, 许由焰. 东山湾附着生物分布特点[J]. 海洋学报, 1981, 3(2): 291-299.
- [25] 邵广昭. “人工鱼礁”——积极复育近沿海渔业资源[J]. 中国水产(台湾), 1989(438): 14-32.
- [26] 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.
- [27] WILLIAM S. Artificial reef evaluation with application to natural marine habitats[M]. Boca Raton: CRC Press, 2000: 51-94.
- [28] 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.
- [29] 陈翔峰, 侯健, 穆振军, 等. 海洋污损生物变化及附着规律研究[J]. 材料开发与应用, 2011, 6(1): 24-28.
- [30] 李传燕, 黄宗国, 郑成兴, 等. 大亚湾人工鱼礁附着生物的初步研究[J]. 应用生态学报, 1991, 2(1): 63-69.
- [31] 严岩, 严文侠, 董钰. 湛江港污损生物挂板试验[J]. 热带海洋, 1995(3): 81-85.
- [32] 林传旭, 邹晓礼, 王华接, 等. 广东碣石湾污损生物生态研究[J]. 海洋通报, 2011, 30(4): 287-293.
- [33] 徐志斌, 高阳. 珠江口深圳湾污损生物的生态研究[J]. 海洋通报, 2010, 29(5): 509-513.
- [34] ROOKER J R, DOKKEN Q R, PATTENGILL C V, et al. Fish assemblages on artificial and natural reefs in the Flower Garden Banks National Marine Sanctuary, USA[J]. Coral Reefs, 1997, 16(Suppl): 83-92.
- [35] PERKOL-FINKEL S, BENAYAHU Y. Can artificial reefs mimic natural reef communities? The roles of structural features and age [J]. Mar Environ Res, 2006, 61(2): 121-135.
- [36] PERKOL-FINKEL S, BENAYAHU Y. Recruitment of benthic organisms onto a planned artificial reef: shifts in community structure one decade post-deployment [J]. Mar Environ Res, 2005, 59(2): 79-99.