

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20180518001

http://www.yykxjz.cn/

王震, 公丕海, 关长涛, 李娇, 史佰佰. 青岛石雀滩海域人工鱼礁材料对附着生物群落结构的影响. 渔业科学进展, 2019, 40(4): 163-171

Wang Z, Gong PH, Guan CT, Li J, Shi BB. Effect of different artificial reefs on the community structure of organisms in Shique Beach of Qingdao. Progress in Fishery Sciences, 2019, 40(4): 163-171

# 青岛石雀滩海域人工鱼礁材料对附着生物群落结构的影响\*

王震<sup>1,2</sup> 公丕海<sup>2</sup> 关长涛<sup>2</sup> 李娇<sup>2①</sup> 史佰佰<sup>1,2</sup>

(1. 上海海洋大学海洋科学学院 上海 201306; 2. 农业农村部海洋渔业可持续发展重点实验室  
青岛市海水鱼类种子工程与生物技术重点实验室 中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛 266071)

**摘要** 为研究不同礁体材料对附着生物群落结构的影响,本研究在山东青岛石雀滩海域进行附着生物挂板实验,挂板材料包括普通硅酸盐水泥(P)、添加贝壳粉硅酸盐水泥(S)、钢板(F)。结果显示,共鉴定出附着生物69种,其中,贝壳粉硅酸盐水泥挂板最多(53种),其次是普通硅酸盐水泥挂板(51种),钢板最少(31种)。普通硅酸盐水泥挂板和粉硅酸盐水泥挂板的优势种均为褶牡蛎(*Ostrea plicatula*)、紫贻贝(*Mytilus gallo provincialis*)和麦秆虫(*Caprella* sp.);钢板的优势种为紫贻贝、麦秆虫和青岛板钩虾(*Stenothoe qingdaoensis*)。9~11月为生物附着高峰期。粉硅酸盐水泥挂板的平均生物量最高,达到4717.50 g/m<sup>2</sup>,普通硅酸盐水泥挂板次之,为2621.12 g/m<sup>2</sup>,钢板最小,为163.85 g/m<sup>2</sup>。附着生物Shannon-Wiener多样性指数(*H'*)和Pielou均匀度指数(*J*)平均值均为钢板>普通硅酸盐水泥>粉硅酸盐水泥。研究表明,添加贝壳粉硅酸盐水泥的生物种类和生物量最大,生物附着效果最好。本研究为人工鱼礁附着生物群落特征的研究和人工鱼礁材料的选择提供了参考依据。

**关键词** 人工鱼礁; 附着生物; 群落结构; 多样性指数

**中图分类号** S835 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2019)04-0163-09

随着海洋生态环境的恶化和海洋渔业资源的匮乏,人工鱼礁建设成为当前改善海洋生态环境和养护渔业资源的有效途径之一。人工鱼礁本身是一种附着基,投入海中会附着大量生物,用来改善海域生态环境,而附着生物是礁区鱼类和其他生物的饵料来源(张伟等,2008),礁体上附着生物种类和数量的变化是人工鱼礁饵料效应的重要体现(张伟等,2015),因此,附着生物是影响礁区聚集鱼类的重要因素之一。礁体附着生物的丰富度和多样性越高,诱集鱼类数量越多(黄宗国等,1981),生物种类更加丰富。附着生

物的种类和数量变化直接影响人工鱼礁的生态效应。

混凝土鱼礁是常见的人工鱼礁类型,造价便宜而且稳定,可以为附着生物提供良好的附着基和栖息地,还可以为其他无脊椎动物和鱼类提供饵料和避难所。国内外已对混凝土人工鱼礁对生物附着的影响开展了一些研究,江艳娥等(2013)对比不同材料的生物诱集效果研究表明,水泥材料的诱集效果比天然礁好。Oyamada等(2008)和Kress等(2002)研究发现,混凝土混合材料礁体的附着效果显著高于纯混凝土礁体。钢制鱼礁是一种制作和使用便捷的结构,近年

\* 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(2016HY-ZD0103)资助[This work was supported by Central Research Institutes of Basic Research and Public Service Special Operations (2016HY-ZD0103)]. 王震, E-mail: 1693817621@qq.com

① 通讯作者: 李娇, 高级工程师, E-mail: lijiao@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2018-05-18, 收修改稿日期: 2018-06-04

来,国外大力发展钢制鱼礁,钢材在水中溶解的铁离子容易使生物附着。Fitzhardinge等(1989)比较了混凝土、轮胎和金属3种材料的生物附着效果,钢板的生物附着效果最好。王莲莲等(2015)对圆洲岛人工鱼礁的附着生物群落研究表明,表面经过处理的混凝土礁体上附着生物的生物量和丰度都较高。

目前,虽然对人工鱼礁材料的研究和利用较多,但在国内添加辅助材料的混凝土人工鱼礁和钢制鱼礁对附着生物群落结构的影响却很少。本研究通过海区挂板实验,分析了普通硅酸盐水泥、添加贝壳粉硅酸盐水泥和钢板3种不同人工鱼礁材料的生物附着效果及其附着生物群落结构,以期为人工鱼礁材料的选择和石雀滩海域附着生物群落特征研究提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 挂板制作

3种人工鱼礁挂板包括普通硅酸盐水泥挂板(P)、添加贝壳粉硅酸盐水泥挂板(S)和钢板(F),每种材料挂板制作36个(表1)。普通硅酸盐水泥挂板和添加贝壳粉硅酸盐水泥挂板在2017年4月7日制作并开始进行养护,养护周期为28d。

### 1.2 实验海域

2017年5月10日在山东省青岛市石雀滩海域投放。

### 1.3 挂样及采样方法

将3种材料挂板用聚乙烯绳直接吊挂在空网箱

上,每条绳上3个挂板,使挂板分别沉降于海面以下0.5、2和9m水深处。2017年7、9、11月和2018年1月分别进行附着生物采样。每次采样每组材料的挂板各取3组样品,采样流程按照《海洋调查规范》(GB/T12763.6-2007)进行。采集的样品装入密封袋内并用5%的甲醛溶液固定,带回实验室鉴定分析。

### 1.4 数据分析

Shannon-Wiener多样性指数( $H'$ )和Pielou均匀度指数( $J$ )的计算公式:

$$H' = - \sum_{n_i}^S (n_i / N) \log_2 (n_i / N)$$

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

式中, $S$ 为样品的种类数, $N$ 为样品的总丰度, $n_i/N$ 为第*i*种的个数与样品总个数的比值, $H'$ 为多样性指数。

优势度( $Y$ )的计算公式:

$$Y = \frac{n_i}{N} f_i$$

式中, $n_i/N$ 为第*i*种的个数与样品总个数的比值。 $f_i$ 为该种在各样品中出现的频率。将 $Y \geq 0.02$ 的生物定为优势种, $Y \geq 0.006$ 的生物定为常见种。

采用SPSS16.0软件进行主成分分析和统计分析。主成分分析法是利用降维的思想将多个相互关联的数值转换成少数互不相关的综合指标。单因素方差分析(One-way ANOVA)检验组内差异, $P < 0.05$ 为差异显著。

表1 鱼礁挂板尺寸及数量  
Tab.1 Size and quantity of artificial reef

鱼礁类型 Type of reef	代号 Code	尺寸 Size(cm)	组数 Groups
普通硅酸盐水泥 Ordinary portland cement	P	20×20×3	12
添加贝壳粉硅酸盐水泥 Scallop portland cement	S	20×20×3	12
钢板 Iron plate	F	20×20×0.3	12

## 2 结果

### 2.1 种类组成

本研究综合4次采集样品,共鉴定出附着生物69种(表2),其中,藻类9种、多毛类12种、软体动物15种、甲壳动物25种、苔藓动物3种、棘皮动物1种、脊索动物1种、扁平动物1种、刺胞动物2种。本研究中优势种为麦秆虫(*Caprella* sp.)、褶牡蛎(*Ostrea plicatula*)、紫贻贝(*Mytilus galloprovincialis*)、孔石莼(*Ulva pertusa*)、青岛板钩虾(*Stenothoe qingdaoensis*);常见种为疣荔枝螺(*Thais clavigera*)、独齿围沙蚕

(*Perinereis nuntia*)、强壮藻钩虾(*Ampithoe valida*)、毛日藻钩虾(*Sunamphitoe plumosa*)、纹藤壶(*Balanus amphitri teamphitrite*)、施氏玻璃钩虾(*Hyale schmidti*)等。

### 2.2 主成分分析

根据3种材料附着生物的个体数矩阵,通过主成分分析得出,每种挂板材料附着生物的主成分的个数、特征值、贡献率和代表生物见表3。从表3可以看出,3种材料挂板的第1主成分生物种类基本一致,但其他主成分中出现的生物种类存在差异。

表 2 不同材料人工鱼礁挂板附着生物种类  
Tab.2 Species of attachment organisms on different-material artificial reefs

种类 Species	人工鱼礁材料 Material of artificial reef		
	普通硅酸盐水泥挂板 P	粉硅酸盐水泥挂板 S	钢板 F
浒苔 <i>Enteromorpha prolifera</i>	+	+	-
海蒿子 <i>S. pallidum</i>	+	+	+
褐藻 1 种 Phaeophyta	+	+	+
肠浒苔 <i>Enteromorpha intestinalis</i>	-	+	+
拟钩虾属 <i>Gammarus</i>	-	-	-
独齿围沙蚕 <i>Perinereis nuntia</i>	+	+	+
背褶沙蚕 <i>Tambalagamia fauveli</i>	-	+	+
裂虫科 1 种 Amphileptidae	+	+	-
乳突半突虫 <i>Phyllodoce papillosa</i>	+	+	-
狭细蛇潜虫 <i>Ophiodromus angustifrons</i>	-	+	-
多丝独毛虫 <i>Tharyxmultifilis</i>	-	+	-
褶牡蛎 <i>O. plicatula</i>	+	+	+
圆楔樱蛤 <i>Cadella narutoensis</i>	+	+	+
扇贝 <i>Placopecta magellanicus</i>	-	+	-
东方缝栖蛤 <i>Hiatella orientalis</i>	+	+	+
梯螺科 1 种 Janthinidae	+	+	-
太平洋牡蛎 <i>Grassostrea gigas</i>	+	+	-
中华近方蟹 <i>Hemigrapsus inensis</i>	+	+	-
嫁蛾 <i>Cellana toreuma</i>	+	-	-
青岛板钩虾 <i>S. qingdaoensis</i>	+	+	+
毛日藻钩虾 <i>S. plumosa</i>	+	+	+
强壮藻钩虾 <i>A. valida</i>	+	+	+
东方小藤壶 <i>Chthamalus challengeri</i>	+	+	-
施氏玻璃钩虾 <i>H. schmidtii</i>	+	+	+
理石叶钩虾 <i>Jassamarmorata</i>	-	-	+
锯齿利尔钩虾 <i>Liljeborgia serata</i>	-	+	-
高脊藤壶 <i>Balanus cristatus</i>	+	+	-
日本大螯蜚 <i>Grandidierella japonica</i>	+	+	-
豆形拳蟹 <i>Pyrhila pisum</i>	+	-	-
瓷蟹 <i>Porcellanidae</i>	-	+	-
谭氏泥蟹 <i>Ilyoplax deschampsin</i>	+	-	-
多室草苔虫 <i>Bugula neritina</i>	+	+	+
近辐蛇尾 <i>Ophiactis affinis</i>	+	+	+
纵条矾海葵 <i>Haliplanella luciae</i>	+	+	-
异管藻 <i>Heterosiphonia japonica</i>	+	+	-
孔石莼 <i>U. pertusa</i>	+	+	+
石莼 <i>U. lactuca</i>	-	+	+
水云 <i>Ectocarpus</i> sp.	-	-	+
鼠尾藻 <i>Sargassum thunbergii</i>	-	-	-
强刺鳞虫 <i>Sthenolepis japonica</i>	+	+	+
软背鳞虫 <i>Lepidonotus helotypus</i>	+	+	+
围沙蚕 <i>Perinereis</i> sp.	-	+	-
多齿围沙蚕 <i>Pernereis cultrifera</i>	+	-	+
长双须虫 <i>Phyllodocimorpha</i>	+	-	-
日本刺沙蚕 <i>Neanthes japonica</i>	+	-	-

续表 2

种类 Species	人工鱼礁材料 Material of artificial reef		
	普通硅酸盐水泥挂板 P	粉硅酸盐水泥挂板 S	钢板 F
紫贻贝 <i>M. provincialis</i>	+	+	+
翡翠贻贝 <i>Pernaviridis</i>	+	-	+
锈笔螺 <i>Mitraferruginea Lamarck</i>	+	+	+
疣荔枝螺 <i>T. clavigera</i>	+	-	+
脉红螺 <i>Rapanavenosa</i>	+	+	-
秀丽织纹螺 <i>Nassarius festiva</i>	+	-	-
短滨螺 <i>Littorina brevicula</i>	+	+	-
麦秆虫 <i>Caprella</i> sp.	+	+	+
纹藤壶 <i>B.amphitri teamphitrite</i>	+	+	+
长尾亮钩虾 <i>Photislongi caudata</i>	+	+	+
瘤突地钩虾 <i>Podocerus tuberculosus</i>	+	+	-
平角涡虫 <i>Planocerareticulate</i>	-	-	-
中华原钩虾 <i>Eogammarus sinensis</i>	+	+	+
镰形叶钩虾 <i>Jassafalcata</i>	-	+	-
等足目 1 种 <i>Isopoda</i>	-	+	-
螺赢蜚 <i>Corophium sinense</i>	+	+	-
肉球近方蟹 <i>Hemigrapsus sanguineus</i>	+	-	-
绒毛细足蟹 <i>Raphidopus ciliates</i>	-	+	-
孔苔虫 1 种 <i>Membran iporidae</i>	+	+	-
加州草苔虫 <i>Bugula californica</i>	+	+	+
海鞘 1 种 <i>Asciacea</i> sp.	+	+	-
水媳 <i>Hydroidae</i>	+	+	-
网纹平涡虫 <i>Planocera reticulata</i>	+	+	+

表 3 附着生物种类主成分分析结果及附着生物代表种类  
Tab.3 Principal component analysis results of attachment organisms and species

鱼礁材料 Material of artificial reef	主成分 Component	特征值 Eigenvalue	贡献率 Contribution rate (%)	代表生物 Representative species of attaching organisms
普通硅酸 盐水泥挂板 P	主成分 1	3.406	42.571	褶牡蛎 <i>O. plicatula</i> 、紫贻贝 <i>M. provincialis</i> 、麦秆虫 <i>Caprella</i> sp.、 强壮藻钩虾 <i>A. valida</i>
	主成分 2	2.139	26.732	褶牡蛎 <i>O. plicatula</i> 、紫贻贝 <i>M. provincialis</i> 、麦秆虫 <i>Caprella</i> sp.
	主成分 3	1.366	17.081	孔石莼 <i>U. pertusa</i> 、独齿围沙蚕 <i>P. nuntia</i> 、长尾亮钩虾 <i>Photislongi caudata</i>
粉硅酸盐 水泥挂板 S	主成分 1	3.785	42.051	褶牡蛎 <i>O. plicatula</i> 、青岛板钩虾 <i>S. qingdaoensis</i> 、紫贻贝 <i>M. provincialis</i> 、 麦秆虫 <i>Caprella</i> sp.
	主成分 2	1.727	19.190	褶牡蛎 <i>O. plicatula</i> 、紫贻贝 <i>M. provincialis</i> 、纹藤壶 <i>B.amphitri teamphitrite</i>
	主成分 3	1.386	15.396	毛日藻钩虾 <i>S. plumosa</i> 、孔石莼 <i>U. pertusa</i> 、纹藤壶 <i>B.amphitri teamphitrite</i>
钢板 F	主成分 1	3.285	36.505	紫贻贝 <i>M. provincialis</i> 、麦秆虫 <i>Caprella</i> sp.、独齿围沙蚕 <i>P. nuntia</i> 、 圆楔樱蛤 <i>Cadella narutoensis</i> 、青岛板钩虾 <i>S. qingdaoensis</i>
	主成分 2	2.146	23.847	麦秆虫 <i>Caprella</i> sp.、青岛板钩虾 <i>S. qingdaoensis</i> 、多室草苔虫 <i>Bugula neritina</i>
	主成分 3	1.772	19.687	麦秆虫 <i>Caprella</i> sp.、青岛板钩虾 <i>S. qingdaoensis</i> 、长尾亮钩虾 <i>Photislongi caudata</i>

普通硅酸盐水泥挂板提取出 3 个主成分, 3 个主成分的累积贡献率达 86.384%。在第 1 主成分中, 载荷系数最大的是强壮藻钩虾, 达到 0.860; 在第 2 主成分中, 载荷系数最大的为褶牡蛎, 高达 0.844; 在第 3 主成分中, 载荷系数最大的为独齿围沙蚕, 高达 0.729。

粉硅酸盐水泥挂板提取出 4 个主成分, 4 个主成分的累积贡献率达 87.516%。在第 1 主成分中, 载荷系数最大的是麦秆虫, 达到 0.981, 青岛板钩虾次之, 为 0.974; 在第 2 主成分中, 载荷系数最大的是褶牡蛎, 达到 0.746, 紫贻贝次之, 为 0.656; 在第 3 主成分中, 载荷系数最大的是毛日藻钩虾, 达到 0.774; 在第 4 主成分中, 载荷系数最大的是紫贻贝, 为 0.609。

钢板提取出 3 个主成分, 3 个主成分的累积贡献率达 80.039%。在第 1 主成分中, 载荷系数最大的是紫贻贝, 高达 0.925, 圆楔樱蛤次之, 为 0.914; 在第 2 主成分中, 载荷系数最大的是多室草苔虫; 在第 3 主成分中, 青岛板钩虾的载荷系数最大, 为 0.696。

### 2.3 种类数量及生物量

综合 4 次采集样品, 粉硅酸盐水泥挂板附着生物种数最高(53 种), 普通硅酸盐水泥挂板次之(51 种), 钢板最低(31 种)。按月分析, 2017 年 7 月附着生物种数以粉硅酸盐水泥挂板最高, 钢板最低; 9 月附着生物种数以粉硅酸盐水泥挂板最高, 钢板最低; 11 月附着生物种数以粉硅酸盐水泥挂板最高, 钢板最低; 2018 年 1 月附着生物种数以钢板最高, 粉硅酸盐水泥挂板最低(表 4)。

表 4 不同材料人工鱼礁挂板的附着生物种类数量  
Tab.4 The species of the attachment organisms on different artificial reefs

人工鱼礁材料 Material of artificial reef	附着生物种类 Species of attachment organisms			
	2017-07	2017-09	2017-11	2018-01
普通硅酸盐水泥挂板 P	33	17	19	18
粉硅酸盐水泥挂板 S	38	25	20	16
钢板 F	21	12	6	20

综合 4 次采集样品, 粉硅酸盐水泥挂板的平均生物量最大(4717.50 g/m<sup>2</sup>), 其次是普通硅酸盐水泥挂板(2621.12 g/m<sup>2</sup>), 钢板最小(163.86 g/m<sup>2</sup>)。按月分析, 2017 年 7 月生物量钢板最高, 粉硅酸盐水泥挂板最低; 9 月生物量以粉硅酸盐水泥挂板最高, 钢板最低; 11 月生物量粉硅酸盐水泥挂板最高, 钢板最低; 2018 年

1 月生物量粉硅酸盐水泥挂板最高, 钢板最低(表 5)。生物附着盛期为 9~11 月。

### 2.4 附着生物优势种及优势度

2017 年 7 月, 普通硅酸盐水泥挂板、粉硅酸盐水泥挂板 2 组分别有 7 个优势种, 钢板有 6 个优势种。麦秆虫在普通硅酸盐水泥挂板和粉硅酸盐水泥挂板占绝对优势, 优势度分别为 0.56、0.65。紫贻贝在钢板中占绝对优势, 优势度为 0.52。2017 年 9 月, 普通硅酸盐水泥挂板有 2 个优势种, 粉硅酸盐水泥挂板有 3 个优势种, 钢板有 4 个优势种。褶牡蛎在普通硅酸盐水泥挂板和粉硅酸盐水泥挂板中占绝对优势, 优势度分别为 0.57、0.44。麦秆虫在钢板中占绝对优势, 优势度为 0.58。2017 年 11 月, 普通硅酸盐水泥挂板有 4 个优势种, 粉硅酸盐水泥挂板有 7 个优势种, 钢板有 3 个优势种。褶牡蛎在普通硅酸盐水泥挂板和粉硅酸盐水泥挂板占绝对优势, 优势度分别为 0.65、0.68。孔石莼在钢板中占绝对优势, 优势度为 0.76。2018 年 1 月, 普通硅酸盐水泥挂板、粉硅酸盐水泥挂板 2 组分别有 7 个优势种, 钢板有 8 个优势种。褶牡蛎在普通硅酸盐水泥挂板和粉硅酸盐水泥挂板占绝对优势, 优势度分别为 0.40、0.52。麦秆虫在钢板占优势地位, 优势度为 0.16。

表 5 不同材料人工鱼礁挂板的附着生物生物量  
Tab.5 The biomass of the attachment organisms on different artificial reefs

人工鱼礁材料 Material of artificial reef	附着生物量 Biomass of attachment organisms (g/m <sup>2</sup> )			
	2017-07	2017-09	2017-11	2018-01
普通硅酸盐水泥挂板 P	9.88	4801.09	4766.41	907.09
粉硅酸盐水泥挂板 S	7.92	7585.13	10246.10	1030.84
钢板 F	21.59	347.16	214.65	72.02

### 2.5 群落多样性

从图 1a 可以看出, Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H'$ ) 在 2017 年 7 月为普通硅酸盐水泥挂板(2.41) > 粉硅酸盐水泥挂板(2.22) > 钢板(2.21), 钢板与粉硅酸盐水泥挂板差异不显著( $P > 0.05$ ), 但都与普通硅酸盐水泥挂板均有显著差异( $P < 0.05$ )。9 月为粉硅酸盐水泥挂板(1.71) > 普通硅酸盐水泥挂板(1.33) > 钢板(1.31), 差异显著( $P < 0.05$ )。11 月为普通硅酸盐水泥挂板(1.95) > 粉硅酸盐水泥挂板(1.94) > 钢板(1.41),

普通硅酸盐水泥挂板与粉硅酸盐水泥挂板差异不显著( $P>0.05$ ),但都与钢板均有显著差异( $P<0.05$ )。2018年1月为钢板(3.69)>普通硅酸盐水泥挂板(2.73)>粉

硅酸盐水泥(2.32),显著差异( $P<0.05$ )。4次采样多样性指数取平均值为钢板(2.16)>普通硅酸盐水泥挂板(2.11)>粉硅酸盐水泥挂板(2.05)。

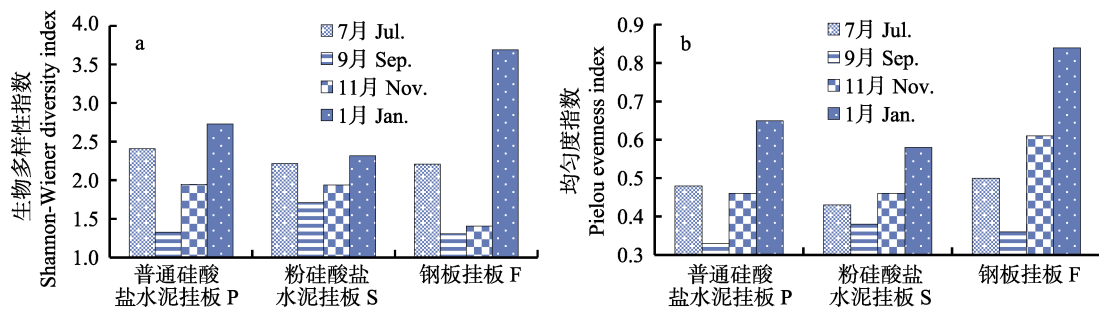


图1 不同材料挂板附着生物多样性指数变化

Fig.1 Changes of biodiversity index of attachment organisms to different material reefs

从图1可以看出, Pielou 均匀度指数( $J$ ), 在2017年7月为钢板(0.50)>普通硅酸盐水泥挂板(0.48)>粉硅酸盐水泥挂板(0.43), 差异显著( $P<0.05$ )。9月为粉硅酸盐水泥挂板(0.38)>钢板(0.36)>普通硅酸盐水泥挂板(0.33), 差异显著( $P<0.05$ )。11月为钢板(0.61)>粉硅酸盐水泥挂板(0.46)>普通硅酸盐水泥挂板(0.45), 普通硅酸盐水泥挂板与粉硅酸盐水泥挂板差异不显著( $P>0.05$ ), 但与钢板均有显著差异( $P<0.05$ )。2018年1月为钢板(0.84)>普通硅酸盐水泥挂板(0.65)>粉硅酸盐水泥挂板(0.58), 差异显著( $P<0.05$ )。4次采样均匀度指数取平均值为钢板(0.58)>普通硅酸盐水泥挂板(0.48)>粉硅酸盐水泥挂板(0.46)。

### 3 讨论

青岛石雀滩海域附着生物种类主要为温水种和广温种, 褶牡蛎(王琦等, 2000)、紫贻贝(孔泳滔等, 2000)、纹藤壶(李太武等, 2001)、麦秆虫(曹善茂等, 1999)、石莼和浒苔(郝允碧等, 1990)为黄海主要的附着种类。本研究中, 普通硅酸盐水泥挂板、粉硅酸盐水泥挂板优势种均为褶牡蛎、紫贻贝和麦秆虫, 其中, 褶牡蛎的生物量分别占39%和36%; 钢板优势种为紫贻贝、麦秆虫和青岛板钩虾。褶牡蛎容易附着在质材坚硬、表面粗糙的附着基上, 随着普通硅酸盐水泥挂板、粉硅酸盐水泥挂板下水周期的延长, 褶牡蛎不断生长并逐渐在稳定群落中占据优势地位(周斌等, 2016; 孙大鹏等, 2010)。钢板附着生物主要以藻类和甲壳动物为主, 受温度影响变化大, 海藻的附着期主要在冬、春水温较低的月份, 麦秆虫各次采样中均有出现, 钢板的研究结果与以往研究不同季节的优势种存在差别的结论是一致的(方芳等, 2004; 李传燕等,

1991; 严颂凯等, 1992)。

挂板附着生物群落的组成和数量与环境因子(温度、盐度、溶解氧等)相关(Su *et al*, 2009)。7月以后, 随着温度的升高, 生物种类增多, 但个体较小造成生物量较低(Callow, 1984)。在7~11月, 褶牡蛎成为优势种, 随着褶牡蛎的生长, 附着生物群落生物量不断升高。在1月, 水温降低造成褶牡蛎和紫贻贝的新陈代谢减缓或者停止(谷进进等, 1998; 林军等, 2016)是群落生物量降低的主要原因。通过分析得出, 同种材料不同航次调查取样的附着生物种类、数量、生物量和优势种均存在差异, 这与黄梓荣等(2006)和Menon等(1971)的研究结果一致。群落在种类组成、结构功能上都与群落的多样性密切相关, 并在多样性指数上得以体现(曾呈奎等, 1959、1964)。一般来说, 多样性指数和均匀度指数越高, 该群落结构越稳定。7月多样性指数较高, 主要是由于个体小的生物占据了挂板的较大空间。7~9月, 主要优势种逐步占据挂板空间, 导致物种多样性降低, 多样性指数和均匀度指数从9月~翌年1月不断升高, 说明生物群落更加稳定和成熟。

本研究结果表明, 普通硅酸盐水泥挂板、粉硅酸盐水泥挂板的生物量最大且生物种类较多, 比钢板的生物附着效果好, 这与江艳娥等(2013)、Oyamada等(2008)、Kress等(2002)的研究结果一致, 表现为混凝土鱼礁比铁质鱼礁更适合附着生物生长。而Fitzhardinge等(1989)研究表明, 钢板的附着效果最好, 与本研究结果有所不同, 其主要原因是前者只是检测礁板上珊瑚的数量, 而本研究检测的是挂板上的所有附着生物的数量。同时, 粉硅酸盐水泥挂板的生物量、种数相对于普通硅酸盐水泥挂板更具优势, 说明粉硅酸盐水泥挂板的附着效果较好。Warren等

(2000)研究显示, 牡蛎贝壳礁相对于混凝土鱼礁对鱼类具有更好的诱集效果, 这与本研究结果具有一致性。粉硅酸盐水泥挂板的多样性指数和均匀度指数相对较低, 而钢板却有较高的多样性指数和均匀度指数, 可能是由于附着生物在生物量大的环境下, 通常是一种或多种生物占优势种, 相对多样性指数较小, 对此, 赵文等(2000)也有相同结论。

张伟等(2008)对混凝土鱼礁和铁质鱼礁附着生物进行了比较, 结果表明, 混凝土鱼礁比铁质鱼礁的附着效果更好。普通硅酸盐水泥挂板、粉硅酸盐水泥挂板的表面粗糙, 有利于生物的附着且对环境无污染, 而钢板作为废弃船舶和海上平台的主要材料, 虽能实现废弃物的循环利用, 但废弃物数量少且包含的有害物质会对海洋环境造成一定影响(张永波等, 2016)。粉硅酸盐水泥挂板中添加了常见的天然海洋生物材料牡蛎壳和扇贝壳, 降低了制作礁板的成本, 而且生物附着效果较好, 经济效益和生态效益均占优势。王波等(2013)研究发现, 硅酸盐水泥中添加5%~15%的贝壳混合材料后具有强度高、性能好等特点。另外, 添加扇贝粉的硅酸盐水泥鱼礁能增加鱼礁的生物亲和性, 缩短了人工鱼礁发挥生态效应的周期, 有助于生物的附着(王莲莲等, 2015)。综上所述, 添加贝壳粉硅酸盐水泥制作的人工鱼礁充分利用牡蛎壳和扇贝壳等废弃资源, 减少扇贝壳、牡蛎壳对环境的污染, 同时, 作为人工鱼礁材料其生物附着效果较好, 具有较高的生态效益和开发应用前景。

## 参 考 文 献

- Callow ME. A world-wide survey of fouling on non-toxic and three anti-fouling paint surfaces. 6th International Congress on Marine Corrosion and Fouling, 1984, 6: 235-346
- Cao SM, Zhou YB, Mou HM. Study on species composition and distribution of fouling organisms in the water of Dalian coast. Journal of Dalian Fisheries University, 1999, 14(4): 36-42 [曹善茂, 周一兵, 牟红梅. 大连市沿海污损生物种类及分布的研究. 大连水产学院学报, 1999, 14(4): 36-42]
- Fang F, Yan T. Status quo and prospects of marine fouling studies in South China Sea. Journal of Tropical Oceanography, 2004, 23(1): 76-85 [方芳, 严涛. 南海污损生物研究的现状及展望. 热带海洋学报, 2004, 23(1): 76-85]
- Fitzhardinge RC, Bailey-Brock JH. Colonization of artificial reef materials by corals and other sessile organisms. Bulletin of Marine Science, 1989, 44(2): 567-579
- Gu JJ, Li JW. Reproductive cycle of *Ostrea plicatula* Gmelin in Zhejiang Xiangshan Harbour. Journal of Ningbo University (NSEE), 1998(1): 51-60 [谷进进, 李建伟. 象山港褶牡蛎的生殖周期研究. 宁波大学学报(理工版), 1998(1): 51-60]
- Hao YB, Sun BY, Zhu CS. The characteristics and control of fouling organisms on the lantern nets for cultivating scallops (*Peeten maximus*) in Penglai and Changdao cultivating farms. Journal of Oceanography of Huanghai and Bohai Seas, 1990, 8(1): 57-62 [郝允碧, 孙炳寅, 朱长生. 山东省烟台市蓬莱、长岛养殖场扇贝笼网上污损生物特点及其防涂的研究. 黄渤海海洋, 1990, 8(1): 57-62]
- Huang ZG, Cai RX, Xu YY. On the distributional characteristics of fouling organisms in Dongshan Bay. Acta Oceanologica Sinica, 1981, 8(2): 291-299 [黄宗国, 蔡如星, 许由焰. 东山湾附着生物分布特点. 海洋学报, 1981, 8(2): 291-299]
- Huang ZR, Liang XY, Zeng J. Preliminary study on effects of accrete organisms of artificial reef material. South China Fisheries Science, 2006, 2(1): 35-38 [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. 南方水产, 2006, 2(1): 35-38]
- Jiang YE, Chen PM, Lin ZJ, et al. Comparison of effectiveness of various artificial reef materials for fish attraction. Journal of Applied Oceanography, 2013, 32(3): 418-424 [江艳娥, 陈丕茂, 林昭进, 等. 不同材料人工鱼礁生物诱集效果的比较. 应用海洋学学报, 2013, 32(3): 418-424]
- Kong YT, Wang Q, Cheng ZM, et al. Fouling organisms and control in ocean-based cultivation of abalone (*Haliotis discus hannai*). Marine Environmental Science, 2000, 19(1): 40-43 [孔泳滔, 王琦, 程振明, 等. 皱纹盘鲍筏式养殖中的污损生物及其防治. 海洋环境科学, 2000, 19(1): 40-43]
- Kress N, Tom M, Spanier E. The use of coal fly ash in concrete for marine artificial reefs in the southeastern Mediterranean: compressive strength, sessile biota, and chemical composition. ICES Journal of Marine Science, 2002, 59(s1): 231-237
- Li CY, Huang ZG, Zheng ZX, et al. A preliminary study attaching organisms on artificial reef in Daya Bay. Chinese Journal of Applied Ecology, 1991, 2(1): 63-69 [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. 应用生态学报, 1991, 2(1): 63-69]
- Lin J, Deng MX, Zhang SY, et al. Seasonal variation of surface water temperature and its ecological impacts in a mussel aquaculture farm. Journal of Shanghai Ocean University, 2016, 25(6): 918-926 [林军, 邓明星, 章守宇, 等. 贻贝养殖海域表层水温季节变化及其对紫贻贝生长的影响. 上海海洋大学学报, 2016, 25(6): 918-926]
- Li TW, Su XR, Chi QH, et al. Preliminary study of marine harmful fouling organisms and control in cultivation of shellfish. Fisheries Science, 2001, 20(6): 12-14 [李太武, 苏秀榕, 迟庆宏, 等. 养殖贝类附着敌害生物的初步研究. 水产科学, 2001, 20(6): 12-14]

- Menon NR, Nair NB. Ecology of fouling bryozoans in Cochin waters. *Marine Biology*, 1971, 8(4): 280–307
- Oyamada K, Tsukidate M, Watanabe K, *et al.* A field test of porous carbonated blocks used as artificial reef in seaweed beds of *Ecklonia cava*. *Journal of Applied Phycology*, 2008, 20(5): 413–418
- Su ZX, Xiao H, Huang LM. Effect of fouling in Daya Bay scallop *Chlamys nobilis* (Reeve) cultivation: Food competition and nutrient release. *Marine Science Bulletin*, 2009, 11(2): 37–44
- Sun DP, Shao MY, Ma YB, *et al.* Research on species composition and distribution of large-scale fouling organisms on scallop farming cages using test panels. *Periodical of Ocean University of China (Natural Science)*, 2010, 40(9): 84–90 [孙大鹏, 邵明瑜, 马玉彬, 等. 扇贝养殖笼大型污损生物种类组成及分布的挂板研究. *中国海洋大学学报 (自然科学版)*, 2010, 40(9): 84–90]
- Wang B, Shang F, Li XT, *et al.* Effects of shell admixture on properties of Portland cement. *Journal of Yantai University (Natural Science and Engineering Edition)*, 2013, 26(3): 231–234 [王波, 尚飞, 李学亭, 等. 贝壳混合材对硅酸盐水泥性能的影响. *烟台大学学报 (自然科学与工程版)*, 2013, 26(3): 231–234]
- Wang LL, Chen PM, Li XG, *et al.* Attaching organism community characteristics of different surface on artificial reef templates inshore of Yuanzhou island. *Journal of Anhui Agricultural Science*, 2015, 43(3): 171–174, 178 [王莲莲, 陈丕茂, 黎小国, 等. 圆洲岛近岸不同表面处理的鱼礁模板附着生物群落特征. *安徽农业科学*, 2015, 43(3): 171–174, 178]
- Wang Q, Kong YT, Cheng ZM, *et al.* Studies on ocean-based poly-culture of abalone (*Haliotis discus hannai*) and sea urchin (*Strongylocentrotus nudus*). *Fisheries Science*, 2000, 19(3): 15–18 [王琦, 孔泳滔, 程振明, 等. 皱纹盘鲍与光棘球海胆筏式混养研究. *水产科学*, 2000, 19(3): 15–18]
- Warren J, McCall R, Hendon L, *et al.* Assessment and monitoring of artificial inshore low profile reefs located adjacent to Mississippi's coastal marshes// Final Report Submitted to Mississippi Department of Marine Resources. Washington DC: Department of Environment, 2000, 279
- Yan SK, Huang ZG. Destruction biota of piers in Daya Bay. *Acta Oceanologica Sinica*, 1992(3): 114–120 [严颂凯, 黄宗国. 大亚湾码头桩柱的污损生物群落. *海洋学报*, 1992(3): 114–120]
- Zeng CK, Zhang JF. Reviews of benthic algae records in the western Yellow Sea. *Marine Science Journal*, 1964(6): 1–25 [曾呈奎, 张峻甫. 黄海西部底栖藻类记录的评论. *海洋科学集刊*, 1964(6): 1–25]
- Zeng CK, Zhang JF. On the economic marine algal flora of the Yellow Sea and the East China Sea. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1959, 2(1): 43–52 [曾呈奎, 张峻甫. 黄海和东海的海藻区系. *海洋与湖沼*, 1959, 2(1): 43–52]
- Zhang YB, Wang JY, Xin JF. A review of studies on artificial reef engineering technology. *China Academic Journal Electronic Publishing House*, 2016, 43(6): 70–75 [张永波, 王继业, 辛峻峰. 人工鱼礁工程技术进展研究. *渔业现代化*, 2016, 43(6): 70–75]
- Zhang W, Li CH, Jia XP, *et al.* A review on influential factors of fouling organisms on artificial reef. *South China Fisheries Science*, 2008, 4(1): 64–68 [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. *南方水产*, 2008, 4(1): 64–68]
- Zhang W, Li CH, Jia XP, *et al.* Seasonal variation of biofouling communities on concrete and steel reefs in Daya Bay. *South China Fisheries Science*, 2015, 11(1): 9–17 [张伟, 李纯厚, 贾晓平, 等. 大亚湾混凝土鱼礁和铁质鱼礁附着生物群落结构的季节变化. *南方水产科学*, 2015, 11(1): 9–17]
- Zhao W, Dong SL, Zheng WG, *et al.* Effects of Nile tilapia on plankton in enclosures with different treatments in saline-alkaline ponds. *Zoological Research*, 2000, 21(2): 108–114 [赵文, 董双林, 郑伟刚, 等. 罗非鱼对盐碱池塘围隔浮游生物群落的影响. *动物学研究*, 2000, 21(2): 108–114]
- Zhou B, Feng CH, Liu W, *et al.* Ecological research of fouling organisms on the offshore platform in Bohai Sea. *Progress in Fishery Science*, 2016, 37(3): 9–13 [周斌, 冯春辉, 刘伟, 等. 渤海石油平台污损生物生态研究. *渔业科学进展*, 2016, 37(3): 9–13]

(编辑 陈 严)



## Effect of Different Artificial Reefs on the Community Structure of Organisms in Shique Beach of Qingdao

WANG Zhen<sup>1,2</sup>, GONG Pihai<sup>2</sup>, GUAN Changtao<sup>2</sup>, LI Jiao<sup>2①</sup>, SHI Baibai<sup>1,2</sup>

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306; 2. Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Qingdao Key Laboratory for Marine Fish Breeding and Biotechnology, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

**Abstract** To study the structure of organism attachment on artificial reefs made of different materials, we prepared artificial reefs with three types of materials: Ordinary portland cement(P), scallop shell portland cement (S), and iron plates(F). The artificial reefs were exposed to the marine environment near Shique Beach, Qingdao, in May 2017. We collected samples to analyze the effect of different reef materials on organism attachment on the artificial reef in July, September, November, 2017 and January 2018. The results showed that, in total, 69 species of attached organisms were identified. The numbers of species on ordinary portland cement, scallop portland cement, and iron plate reefs were 51, 53, and 31, respectively. The dominant species on the ordinary portland cement and scallop portland cement reefs were *Caprella* sp., *Ostrea plicatula*, and *Mytilus galloprovincialis*; the dominant species on iron plate reefs were *Caprella* sp., *M. provincialis*, and *Stenothoe qingdaoensis*. Biological attachment peaked between September and November. We found the highest average biomass of fouling organisms on scallop portland cement (4717.50 g/m<sup>2</sup>), followed by ordinary portland cement (2621.12 g/m<sup>2</sup>), and iron plates (163.85 g/m<sup>2</sup>). In July 2017, the Shannon-Wiener diversity index (*H'*) of fouling organisms was observed to follow the order P>S>F; in September 2017, the order was S>P>F; in November 2017, the order was P>S>F; and in January 2018, the order was F>P>S. In July 2017, the Pielou evenness index (*J*) followed the order F>P>S. In September 2017, the order was S>F>P; in November 2017, the order was F>S>P; and in January 2018, the order was F>P>S. Our study showed that scallop portland cement attracted the largest biological species and biomass, and was most suitable for organism attachment. This study provides a reference for the evaluation of the characteristics of biological communities attached to artificial reefs and the selection of artificial reef materials.

**Key words** Artificial reef; Organisms attachment; Community structure; Diversity index

① Corresponding author: LI Jiao, E-mail: lijiao@ysfri.ac.cn