

袁小楠,梁振林,吕振波,等. 威海近岸人工鱼礁布设对生物资源恢复效果[J].海洋学报,2017,39(10):54—64, doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2017.10.005

Yuan Xiaonan, Liang Zhenlin, Lv Zhenbo, et al. The effects of ecological restoration of the artificial reef in Weihai offshore[J]. Haiyang Xuebao, 2017, 39(10): 54—64, doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2017.10.005

威海近岸人工鱼礁布设对生物资源恢复效果

袁小楠^{1,2}, 梁振林³, 吕振波^{1,2}, 王颖丽⁴, 孙晓红^{3*}

(1. 山东省海洋资源与环境研究院 山东省海洋生态修复重点实验室, 山东 烟台 264006; 2. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 3. 山东大学(威海) 海洋学院, 山东 威海 264209; 4. 威海市水产学校, 山东 威海 264300)

摘要: 为了解人工鱼礁投放对区域内海洋生物资源恢复效果, 于 2013 年 3 月至 2014 年 1 月在北黄海近岸人工鱼礁投放区进行调查。结果显示, 该海区发现浮游动物 53 种, 其中优势种为浮游桡足类。夏秋季底栖生物幼体成为季节性优势种。游泳动物共发现 14 种, 主要为常见的礁区鱼类。底栖动物共 12 种, 其中棘皮动物海燕为绝对优势种, 为近岸养殖生物的主要敌害生物, 主要的底栖资源优势种为虾蟹类与软体动物。投礁区的浮游动物与游泳动物物种数明显多于未投礁区, 表明人工投礁有助于生物群落的恢复, 提高生物多样性, 改善区域生态系统。但该海域大型底栖藻类较少, 还应进一步对大型底栖藻类增殖以提高海域初级生产。

关键词: 人工鱼礁; 浮游动物; 游泳动物; 底栖生物; 种群数量

中图分类号: Q958.8

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2017)10-0054-11

1 引言

人工鱼礁建设工程是 20 世纪兴起的海洋渔业生态工程之一, 为海洋生态系统的修复做出了突出贡献, 是海洋资源保护的重要手段^[1-4], 是海洋牧场系统工程的重要组成部分。人工鱼礁是多种海洋生物的栖息场所, 并对各种生物资源的种类组成、物种丰度等产生影响^[5]。目前关于人工鱼礁选材、选址、铺设与管理等方面也有较多报道^[6-9], 为人工鱼礁建设提供科学的指导。在人工鱼礁区开展生物资源调查是评估人工鱼礁的资源恢复作用、确定资源增殖对象、保护生物多样性及可持续发展海洋生态业的常用方法^[10-12]。许多学者以不同生物资源, 例如, 浮游动

植物^[13-14]、底栖生物^[15]、游泳动物^[16]、礁区鱼类^[17]等, 为研究对象对人工鱼礁生态效果进行评价。

威海市位于山东半岛东端, 三面受北黄海水团的影响, 具有丰富的渔业资源。近年来, 威海市实施了大规模的渔业资源修复行动, 建设了多处省级人工鱼礁示范区, 这些措施对资源生物的具体增殖情况和恢复效果一直不明确, 也缺乏相关的评价工作。因此, 本文选取了威海市小石岛海域的人工鱼礁示范区, 在 2013 年 3 月—2014 年 1 月期间对其中的生物资源进行了 5 次持续的生物资源调查研究, 目的是研究该海域投礁后浮游动物、游泳动物及底栖生物的种类组成和优势种的种群变动, 以积累基础资料并与其他未投礁海域进行对比。

收稿日期: 2016-12-29; **修订日期:** 2017-06-07。

基金项目: 中国博士后科学基金“仔稚鱼的摄食与浮游动物功能群关系研究”(2014M561913); 山东省水产研究所开放基金“威海市近海人工鱼礁区渔业资源评价和仔稚鱼数量变动研究”(201214)。

作者简介: 袁小楠(1992—), 女, 山东省临沂市人, 主要从事浮游动物以及仔稚鱼摄食研究。E-mail: yuanyuanxiansd@163.com

* **通信作者:** 孙晓红, 女, 讲师。E-mail: sunxiaohongsd@163.com

2 材料与方法

2.1 采样时间及站位

威海近岸人工鱼礁布设自 1995 年开始,至今投礁面积达到 1 000 亩,礁型种类包括小型水泥构件礁

体、旧汽车头改造礁、小型水泥鲍鱼窝等 6 种。本研究在小石岛海域选定了 5 个区域(图 1),其中 A1~A4 为投礁站位,A5 为未投礁站位。在 2013 年至 2014 年间对浮游动物、游泳动物及底栖动物进行了季度调查。

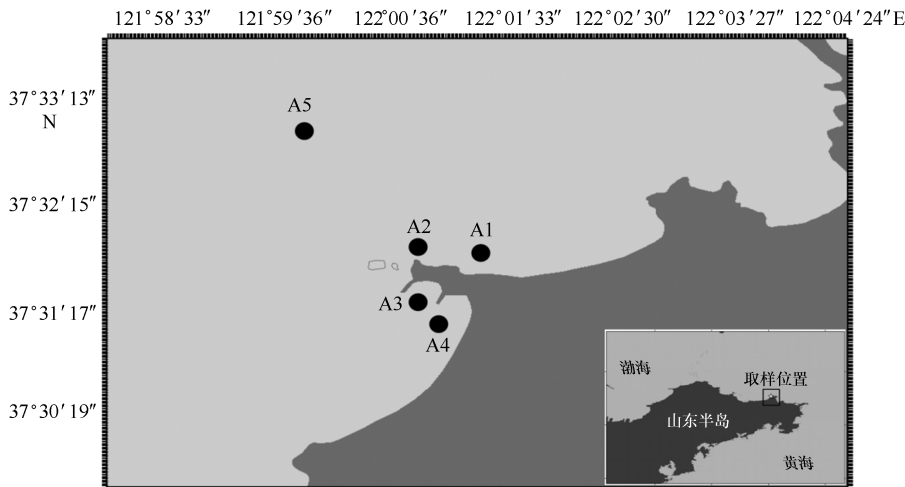


图 1 小石岛投礁区调查站位

Fig.1 Investigation stations of the artificial fish reef area in Xiaoshidao Island

2.2 采样方法及要求

测定项目包括浮游动物、游泳动物及底栖动物。具体采样方法和样品分析方法^[18]为:浮游动物样品采用垂直拖网,网型为浅水I型(505 μm 孔径,50 cm 直径)和浅水II型(160 μm 孔径,31.6 cm 直径)浮游动物网,所有浮游动物种类是根据两个网具采集到的样品来计算,而优势种浮游动物的数量则只根据浅水II型浮游动物网的样品来计数。所有样品均用中性的福尔马林溶液(4%)保存用于后续的样品鉴定及计数。在实验室中,浮游动物样品用分样器进行分样,直到用以计数的样品中浮游动物的数量达到 300~500 个为止。在体视显微镜下对样品进行鉴定计数,所有种类基本要求鉴定到种。

对于游泳动物的调查,采用的是地笼网,网长 5 m,网高 0.4 m,网宽 0.4 m,网目尺寸 20 mm,各站位放置地笼网 2~3 个,放置时间为 24 h。渔获物全部带回实验室进行种类、体长、体质量及数量等生物学指标的测定。

对于底栖生物,采用抓斗(0.05 m^2)进行采样。由于抓泥斗采样得到的底栖动物较少,因此在结果统计时没有采用表格的形式列出。但在游泳动物的地

笼网调查中,部分大型底栖动物进入地笼网中,因此,底栖生物的统计也包括了在地笼网中出现的种类。

2.3 数据处理

物种多样性及群落结构利用传统的香浓-威纳多样性指数(H')、Pielous 均匀性指数(J')及优势种优势度指数(Y)^[19]。

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \times \ln(p_i), \quad (1)$$

式中, p_i 是第 i 物种在群落中所占的比例, s 为所有生物种类。

$$J' = H' / \ln(s), \quad (2)$$

$$Y = f_i \times n_i / N, \quad (3)$$

式中, n_i 表示第 i 种中生物的个体数量, N 表示总生物数量, f_i 表示第 i 种的出现频率。当 $Y > 0.02$ 时,表示该种为优势种^[20]。

使用 SPSS 16.0 软件进行显著性检验,显著性水平为 0.05;物种多样性的计算采用 Primer 6.0 软件完成。

3 结果

3.1 浮游动物

从表 1 中可以看出,小石岛海域全年浮游动物共

出现 53 种(包括各类浮游动物幼体 14 种,卵 3 种),其中已投礁区 2013 年 9 月份浮游动物种类最多达 38 种。浮游动物的种类组成中桡足类最多(不含幼体机卵),达 16 种,主要优势种为拟长腹剑水蚤(*Oithona similis*)、洪氏纺锤水蚤(*Acartia bifilosa*)、小拟哲水蚤(*Paracalanus parvus*)、腹针胸刺水蚤(*Centropages abdominalis*)及近缘大眼剑水蚤(*Corycaeus affinis*)。本研究针对桡足类进行了深入的季节变动分析,已投礁区 2013 年 3 月和 6 月,第一优势种为拟长腹剑水蚤,第二优势种为洪氏纺锤水蚤。9 月优势种为小拟哲水蚤,第二优势种为洪氏纺锤水蚤;1 月优势种拟长腹剑水蚤,第二优势种为小拟哲水蚤(表 1)。

从种群密度来看(图 2),拟长腹剑水蚤在小石岛海区常年出现,并在 2013 年 6 月达到数量最大值,也是该区域所有桡足类的最大值 6.45×10^3 ind/ m^3 。小拟哲水蚤也是全年出现的种类,在 2013 年 9 月达到数量最大值 3.57×10^3 ind/ m^3 。虽然近缘大眼剑水蚤全年出现,但该种类只在秋季和春季的浮游动物中占优势。洪氏纺锤水蚤出现在 2013 年 3 月、6 月和 9 月,并在 6 月达最大值 4.33×10^3 ind/ m^3 。另外,除了占优势的桡足类外,季节性出现的其他浮游动物也在其爆发的季节占有优势地位,如在春季大量出现的夜光藻(*Noctiluca scintillans*),其种群密度远超过其他浮游动物,3 月数量为 2.73×10^5 ind/ m^3 ,6 月数量为 4.413×10^4 ind/ m^3 。在 6 月,腹足类及双壳类的幼体大量出现,腹足类幼体出现最大值 442.05 ind/ m^3 ,双壳类幼体数值为 $1.12 \times$

10^3 ind/ m^3 ,也成为了该季节的优势种;其次,异体住囊虫(*Oikopleura* sp.)和肥胖三角溞(*Evadne tergestina*)在 6 月也大量出现成为优势种数量分别为 3.96×10^3 ind/ m^3 、 4.14×10^3 ind/ m^3 。

从表 1 中可以看出,9 月和 1 月,未投礁区浮游动物的种类数小于已投礁的种类数。投礁区 9 月份出现 38 种浮游动物,而未投礁区为 15 种,1 月份投礁区浮游动物为 28 种,而未投礁区为 12 种。9 月投礁区浮游动物丰度平均值为 1.21×10^4 ind/ m^3 ,未投礁区为 1.33×10^4 ind/ m^3 ,投礁区浮游动物丰度小于未投礁区;1 月投礁区与未投礁区浮游动物丰度分别为 1.677×10^3 ind/ m^3 、 1.39×10^3 ind/ m^3 ,投礁区浮游动物丰度大于未投礁区。9 月小拟哲水蚤未投礁区丰度为 6.23×10^3 ind/ m^3 是投礁区丰度 3.573×10^3 ind/ m^3 的 1.7 倍,也是造成投礁区与未投礁区浮游动物丰度差异的主要种(图 2a)。对投礁区与未投礁区浮游动物组成进行显著性检验,9 月对比结果为 $f = 3.938, P = 0.007$,1 月对比结果为 $f = 5.85, P = 0.00$,说明投礁对浮游动物组成产生了显著影响。整个海区共出现 9 种水母,投礁区出现 8 种,9 月出现的水母种类最多共 7 种,水母总丰度为 21.5 ind/ m^3 ,3 月和 6 月都只出现了 2 种,3 月水母总丰度为 246.3 ind/ m^3 ,6 月总丰度为 54.9 ind/ m^3 ;未投礁区出现 1 种水母,出现在 9 月份,丰度为 0.471 7 ind/ m^3 ;1 月在投礁区与未投礁区均未发现水母(图 2c)。从多样性来看,9 月投礁区较未投礁区生物多样性高;从均匀性来看,投礁区和未投礁区差别不大(图 3)。

表 1 小石岛海域浮游动物在不同季节的种类组成及其优势度

Tab.1 Species composition and dominance of zooplankton in different seasons of Xiaoshidao Island

种类	已投礁区				未投礁区	
	2013 年 3 月	2013 年 6 月	2013 年 9 月	2014 年 1 月	2013 年 9 月	2014 年 1 月
近缘大眼剑水蚤 <i>Corycaeus affinis</i>	0.01	0.01	0.04 *	0.01	0.01	0.02 *
小拟哲水蚤 <i>Paracalanus parvus</i>	0.03 *	0.07 *	0.29 *	0.34 *	0.47 *	0.50 *
拟长腹剑水蚤 <i>Oithona similis</i>	0.33 *	0.23 *	0.05 *	0.35 *	0.04 *	0.36 *
洪氏纺锤水蚤 <i>Acartia bifilosa</i>	0.26 *	0.15 *	0.14 *	—	0.10	—
腹针胸刺水蚤 <i>Centropages abdominalis</i>	0.05 *	0.08 *	—	0.01		0.05 *
背针胸刺水蚤 <i>Centropages dorsispinatus</i>			—			
强额拟哲水蚤 <i>Parvocalanus crassirostris</i>	0.15 *		—			
中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i>	0.01	—	—	0.02 *		0.02 *
尖额谐猛水蚤 <i>Eutерpe acutifrons</i>	—		—	—		
太平洋纺锤水蚤 <i>Acartia pacifica</i>			—			
真刺唇角水蚤 <i>Labidocera euchaeta</i>	—	—	—			
汤氏长足水蚤 <i>Calanopia thompsoni</i>			—			

续表 1

种类	已投礁区				未投礁区	
	2013 年 3 月	2013 年 6 月	2013 年 9 月	2014 年 1 月	2013 年 9 月	2014 年 1 月
太平真宽水蚤 <i>Eurytemora pacifica</i>	—			—		
桡足类无节幼体 Copepoda nauplius larvae	0.01	0.02 *	—	—	—	—
半球杯水母 <i>Phialidium hemisphaericum</i>	—	—	—			
嵴状镰螳水母 <i>Zanlea costata</i>			—			
拟杯水母 <i>P. carolinae</i>			—			
瓜水母 <i>Beroe cucumis</i>			—		—	
锡兰和平水母 <i>Eirene ceylonensis</i>			—			
海月水母蝶状幼体 <i>Aurelia aurita</i> larvae		+				
四辐枝管水母 <i>Proboscoidactyla flavicirrata</i>					+	
多手帽形水母 <i>Tiaropsis multicirrata</i>			+			
数枝螳水母 <i>Obelia</i> sp.	0.05 *	—	—			
桡足类卵 Copepods egg	—	0.01				
虾卵 Shrimp egg	0.01	—	—			
多毛类幼体 Polychaeta larvae	—	0.01	0.25 *	—		
强壮箭虫 <i>Sagitta crassa</i>	0.01	—	0.01	0.03 *	—	0.02 *
蔓足类幼体 Cirripedia nauplius	—	0.03 *	—	—		
辐轮幼虫 Actinotrocha	0.01					
腹足类幼体 Gastropoda larvae	—	0.02 *	0.01	0.01	—	0.01
双壳类幼体 Bivalve larvae	0.02 *	0.04 *	0.13 *	—	0.35 *	0.01
海蛇尾幼体 Ophiuroidea larvae	0.01					
海星幼体 Echinopluteus larvae		—	—			
细长脚蛾 <i>Themisto gracilipes</i>	—	—		—		—
长腕幼虫 Ophiopluteus larvae	—			—		
面盘幼虫 Trochophore larvae				—		
卵 egg				—		
磷虾 <i>Euphausia</i> sp.				—		
糠虾 Mysidacea sp.	—	—		—		
麦秆虫 Caprellidea	+	+				
漣虫 Cumacea sp.			+	+		
线虫 Nematode				+		—
枝角类 Cladocera			+	+	—	
异体住囊虫 <i>Oikopleura</i> sp.	—	0.14 *	0.01	—	0.02 *	
肥胖三角蚤 <i>Evadne tergestina</i>	—	0.11 *				
长尾类幼体 Macrura larvae			+	+	—	
短尾类幼体 Zoea larvae	—	—	—	—	—	
介形类幼体 Ostracoda larvae	—	—	—	—		
仔稚鱼 Fish larvae	—	—	—	—		
瘦尾胸刺水蚤 <i>Centropages tenuiremis</i>			+			
钳型歪水蚤 <i>Tortanus forcipatus</i>			+			
海洋伪镖水蚤 <i>Pseudodiaptomus marinus</i>			+			

注：“+”表示该种出现，“—”表示优势 $Y \approx 0$ ，“*”表示优势 $Y > 0.02$ 。

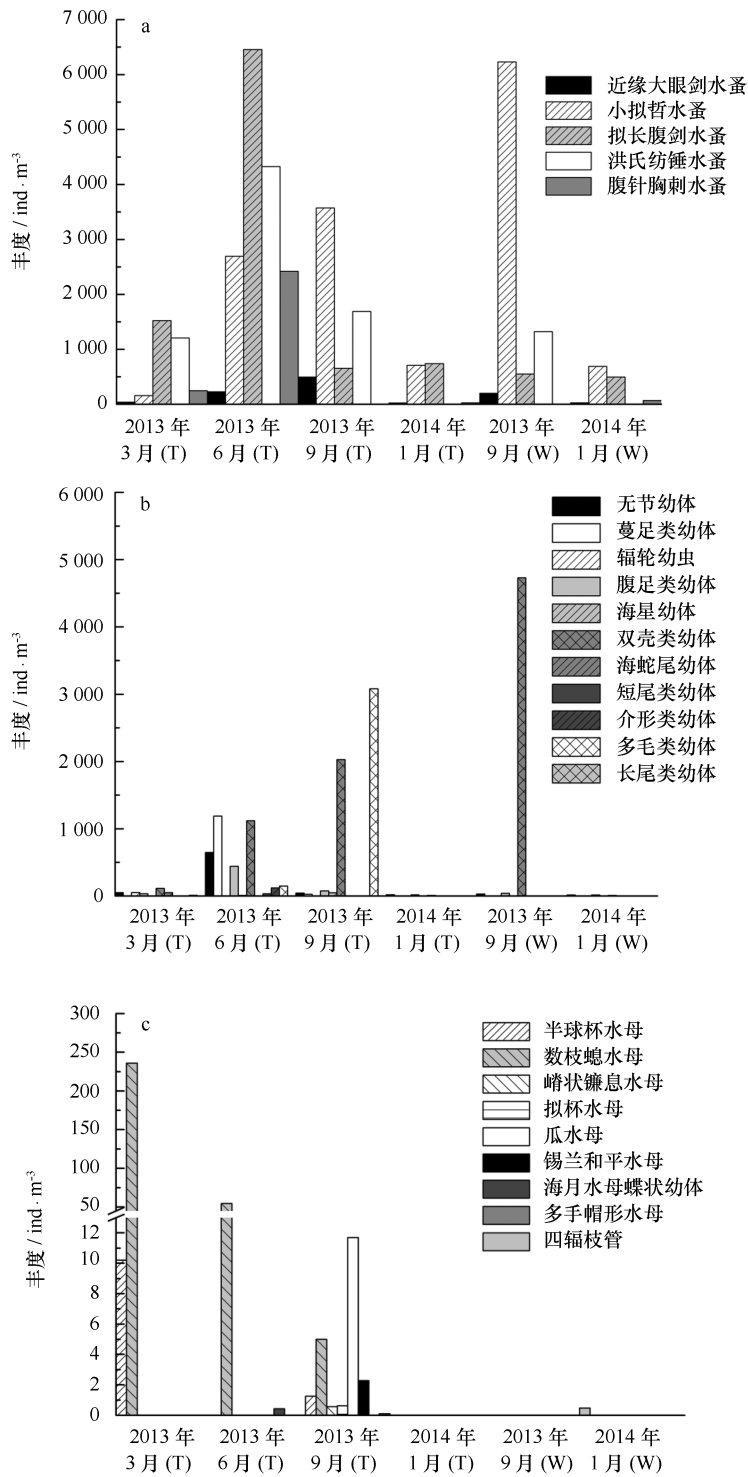


图 2 浮游桡足类优势种、季节性优势种及水母类种群密度的季节变动
Fig.2 The seasonal variation in population density of dominate species for copepods, seasonal larvae and Jellyfishes in Xiaoshidao Island
a.浮游桡足类优势种;b.季节性幼体优势种;c.水母类.T 表示已投礁区;W 表示未投礁区
a. Dominant species of copepods; b. dominant seasonal larvae; c. the Jellyfishes.
T means artificial reef areas; W means without artificial reefs

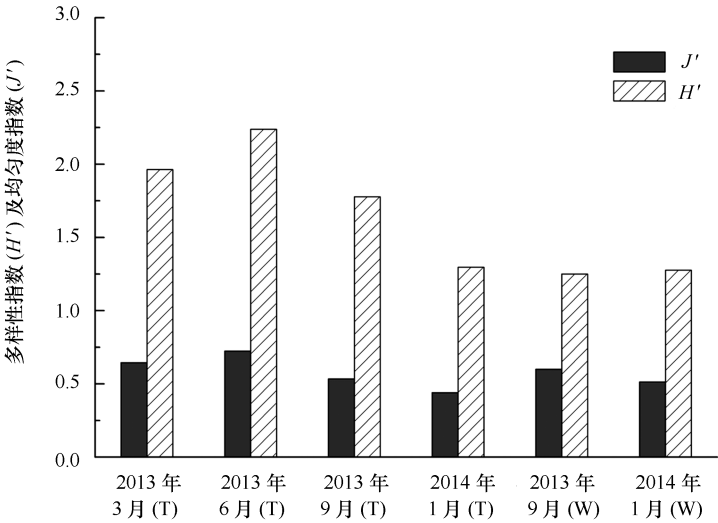


图 3 小石岛海域物种多样性及均匀度指数的季节变动

Fig.3 The seasonal variation in species diversity and evenness indices in Xiaoshidao Island

“T”表示已投礁区;“W”表示未投礁区

“T” means artificial reef areas; “W” means without artificial reefs

3.2 游泳动物

从表 2 中可以看出,3 月份游泳动物种类和数量较为丰富,共出现 11 种,6 月和 9 月分别出现游泳动物 6 种和 7 种,该海区在 10 月份也调查了一次游泳动物,仅出现 4 种。其中许氏平鲉(*Sebastes schlegeli*)和大泷六线鱼(*Hexagrammos otakii*)在每个季度均

出现,是该海区的优势种。星鳗(*Astroconger myriaster*)除 10 月份的调查未出现外,其他月份均出现,也是该海区的优势种之一。鲆鲽类虽然在各月份均有出现,但数量甚少。玉筋鱼(*Ammodytes personatus*)在其出现的 3—6 月份数量较多,而其他种类均为零星的出现。

表 2 游泳动物在小石岛海域不同季节的种类组成

Tab.2 Seasonal variation in nekton species composition of Xiaoshidao Island

游泳动物	3 月		6 月		9 月		10 月
	T	W	T	W	T	W	
星鳗 <i>Astroconger myriaster</i>	+	+	+		+		
玉筋鱼 <i>Ammodytes personatus</i>	+		+				
许氏平鲉 <i>Sebastes schlegeli</i>	+	+	+	+	+		+
褐昌鲉 <i>Sebastiscus marmoratus</i>	+						
大泷六线鱼 <i>Hexagrammos otakii</i>	+	+	+	+	+	+	+
叉线六线鱼 <i>Hexagrammos octogrammus</i>	+						
黄盖鲽 <i>Pseudopleuronectes herzensteini</i>	+		+				
石鲽 <i>Kareius bicoloratus</i>	+						+
高眼鲽 <i>Cleisthenes herzensterni</i>			+	+	+		
牙鲆 <i>Paralichthys olivaceus</i>	+				+		
方氏云鲷 <i>Enedrias fangi</i>	+				+	+	
绵鲷 <i>Enchelyopus elongatus</i>							+
真鲷 <i>Pagrus major</i>					+	+	
日本海马 <i>Hippocampus japonicus</i>	+						

注:“T”表示投礁区,“W”表示未投礁区。

从表 2 中可以看出,3、6、9 月份,未投礁区鱼类的种类数小于已投礁的种类数。投礁区 3 月份鱼类为 11 种,而未投礁区为 3 种,6 月份投礁区鱼类为 6 种,而未投礁区鱼类为 3 种,9 月份投礁区出现 7 种鱼类,而未投礁区为 3 种。

从优势种游泳动物的体长变动及平均体质量来看(表 3),许氏平鲷的体长变动在 6 月份最小,为 7.75~14.51 cm,而 10 月份最大,为 6.07~24.84 cm;平均

体质量 6 月份最小,为 37.22 g,9 月达最大值 75.13 g,10 月为 71.95 g,差异显著性分析表明,9 月与 10 月平均体质量差异不显著。大泷六线鱼的体长变动范围同许氏平鲷相似,也是 6 月份体长变动最小,而 10 月份体长变动最大;平均体质量也是 6 月最低,10 月最大 130.33 g。星鳗在其出现的 3 个月份体长在增大,体质量在升高。玉筋鱼在其出现的月份体长变动不大,从 3 月到 6 月体质量有所升高。

表 3 游泳动物优势种的体长及体质量的季节变动

Tab.3 Seasonal variation in body length and weight for dominate nekton species in Xiaoshidao Island

	3 月	6 月	9 月	10 月
许氏平鲷 <i>Sebastes schlegeli</i>				
体长/cm	7.50~21.49	7.75~14.51	6.85~23.55	6.07~24.84
体质量/g	49.93	37.22	75.13	71.95
大泷六线 <i>Hexagrammos otakii</i>				
体长/cm	10.19~24.07	6.14~17.16	9.73~21.33	8.08~24.14
体质量/g	52.93	27.29	54.12	130.33
星鳗 <i>Astrocongermyriaster</i>				
体长/cm	14.28	28.17~37.24	40.13~51.63	
体质量/g	40	51.45	159.65	
玉筋鱼 <i>Ammodytes personatus</i>				
体长/cm	11.01~15.8	11.78~15.12		
体质量/g	8.5	13.23		

3.3 底栖生物

由于抓斗式采泥器对底栖生物进行调查时,只能在投礁区的周边泥质及泥沙质区域进行采样,所以采集到的底栖生物仅代表礁区周边。该海区底栖生物主要为增殖品种菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)及海珍品刺参,而海燕(*Diomedea albatrus*)在小石岛海域的底栖生物调查期间(3 月、6 月和 9 月)均出现,且数量也超过其他生物。另外,3 月、6 月和 9 月均出现沙蚕(*Nereis succinea*),而马粪海胆(*Hemicentrotus pulcherrimus*)仅在 3 月份出现,其数量均不

多。大型底栖植物主要为大叶藻(*Zostera marina*)和石莼(*Ulva lactuca* L.),3 月、6 月和 9 月均出现。

从地笼网采集的大型底栖动物种类如表 4 所示,其中 3 月份种类最多,为 12 种,而 6 月和 9 月分别为 4 种和 3 种,10 月份的调查未发现大型底栖动物。

从表 4 中可以看出,3、6、9 月份未投礁区底栖生物的种类数明显小于已投礁的种类数。投礁区 3 月份出现 12 种底栖生物,而未投礁区为 1 种,6 月份投礁区底栖生物为 4 种,而未投礁区为 2 种,9 月份投礁区底栖生物为 3 种,未投礁区为 1 种。

表 4 大型底栖动物在小石岛海域不同季节的种类组成

Tab.4 Seasonal variation in species composition of macrobenthos in Xiaoshidao Island

底栖生物	3 月		6 月		9 月		10 月
	T	W	T	W	T	W	
长蛸 <i>Octopus variabilis</i>	+						
口虾蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i>	+		+	+			

续表 4

底栖生物	3 月		6 月		9 月		10 月
	T	W	T	W	T	W	
日本鳎 <i>Charybdis japonica</i>	+				+	+	
双斑鳎 <i>Charybdis bimaculata</i>	+						
海燕 <i>Diomedea albatrus</i>	+	+	+		+		
多棘海盘车 <i>Asterias amurensis</i>	+		+		+		
寄居蟹 <i>Pagurus ochotensis</i>	+						
天津厚蟹 <i>Helice tridens</i>	+						
扁足剪额蟹 <i>Scyra compressipes</i>	+		+	+			
海兔 <i>Ovula ovum</i>	+						
日本鼓虾 <i>Alpheus japonicus</i>	+						
海鞘 <i>Pyrosomella verticillata</i>	+						

注:“T”表示投礁区,“W”表示未投礁区。

4 讨论

小石岛投礁海域 3—6 月份浮游动物密度逐渐增大,其中拟长腹剑水蚤密度最大,且在 6 月份达到最大值,洪氏纺锤水蚤与拟长腹剑水蚤变动相似,在 6 月份达到最大值。其他优势种浮游桡足类除小拟哲水蚤外,均在 6 月达数量最大。体长小于 1 mm 的小型桡足类是海洋鱼类仔稚鱼入口最合适的饵料^[21-22],环境中不同饵料大小的浮游动物丰度不同导致仔、稚鱼的摄食成功率不同,在某种程度上,较高密度的浮游动物可以减少仔稚鱼摄食压力^[23]。因此,该海域丰富的浮游动物资源特别是浮游桡足类为该海域的仔稚鱼提供了丰富的饵料,成为仔稚鱼生长的基本条件。这从游泳动物的调查结果也可以看出,根据表 3,游泳动物优势种许氏平鲉及大泷六线鱼均在 6 月份出现大量幼鱼,这也证明了丰富的浮游动物资源刚好为该海区鱼类的生殖提供了丰富的饵料。另外,作为浮游动物优势种之一的小拟哲水蚤在 9 月份达最大值,而该种类也被证明是 9 月份生殖的鱼类如花鲈 (*Lateolabrax japonicus*) 的天然优质饵料^[24-25]。而该海区浮游动物网中仔鱼的数量在 9 月份也达到最大值,进一步表明了该海区的人工鱼礁为仔稚鱼提供了丰富的饵料。涂忠等^[26]曾指出,在投放人工鱼礁后,丰富的饵料生物和浮游动物能形成良好的饵料基础。除了浮游桡足类作为优势种提供丰富的饵料外,一些季节性出现的浮游动物也为该季节出现的鱼类提供了丰富的饵料,如在夏季,腹足类、双壳类、异体住囊虫及肥胖三角溞的幼体大量出现(表

1),也成为了该季节的优势种,而这些浮游动物可以为该季节的仔稚鱼提供丰富的饵料,因此,符合该投礁区域渔业资源的变动规律。

本文的调查结果也与其他未投礁海区进行了对比,结果表明,投礁区浮游桡足类多样性较未投礁区高,这和陈涛^[27]研究结果一致,但浮游生物丰度 9 月未投礁区较投礁区高,1 月未投礁区较投礁区低。水母作为海洋生态系统中重要的能量传递者,其数量严重影响着渔业生产以及海洋生态环境的质量^[28-31]。投礁区水母种类增多且丰度增高,水母增多,摄食浮游动物与鱼类竞争食物资源,或直接捕食仔稚鱼影响鱼类资源补充量^[32-34]。9 月投礁区水母种类和数量较未投礁区多,而 1 月投礁区与未投礁区均未发现水母,这可能是造成 9 月未投礁区浮游动物较投礁区低的原因。在无水母影响的 1 月,投礁区浮游生物丰度高于未投礁区,说明投礁对浮游动物的生长繁殖起到了促进作用。涂忠等^[26]在荣成俚岛拟投礁区域的调查中 6 月份仅出现 4 种鱼类,而本调查 6 月份出现 6 种鱼类,包括高眼蝶 (*Cleisthenes herzensterini*) 和黄盖鲈 (*Pseudopleuronectes herzensteini*) 在内的典型礁区鱼类,说明该海域的投礁为这两种鱼类提供了栖息的场所。

从游泳动物优势种的体长及体质量变动来看(表 3),许氏平鲉和大泷六线鱼体长变动 6 月较 3 月小,平均体质量下降,证明在该海区这两种礁区鱼类进行了生殖,6 月份出现幼鱼,说明该海区具有一定数量的补充群体,这与两种鱼类的生殖习性相吻合^[35-38]。投放人工鱼礁时,大都选址在鱼类及其幼体的索饵

场、鱼类的洄游通道、捕捞过度的渔场等海域并且这些海域有定栖性种类栖息^[16],而本调查证明该投礁区域存在定栖性鱼类并已经在此定居繁衍。6—9月份,许氏平鲈和大泷六线鱼生长均非常明显,表明该海区具有丰富的幼鱼饵料生物。从我们的资源调查来看,玉筋鱼和方氏云鲷(*Enedrias fangi*)为小型的饵料生物,其分别在6月和9月出现,其中玉筋鱼数量较多。由于我们采用的是地笼网,网目较大,捕获鱼类饵料种的效率不高,因此为了后续更好的评价人工鱼礁对幼鱼生长的作用,有必要进行更细致的游泳动物的调查。

从底栖生物的调查看,底栖生物种类较少,但通

过浮游动物的数据分析表明该投礁区资源生物如对虾、蟹类的幼体有较多的数量,且浮游动物为其幼体提供了丰富的饵料,但其成体在资源生物调查中并不多见,表明该投礁区并未真正的为这些大型底栖生物提供很好的场所,并有待于进一步研究其成体数量较少的主要原因。

由于该海区大型底栖藻类较少,种类单一,因此,建议在鱼礁区建设“人工藻场”^[39-41],培养多种大型底栖藻类,提高海域的初级生产水平,为海洋生物提供更丰富的食物来源,并结合礁区出现的资源生物做适当的资源增殖,最大限度的利用投放的人工鱼礁,使该海域生态系统持续健康的发展。

参考文献:

- [1] Pickering H, Whitmarsh D, Jensen A. Artificial reefs as a tool to aid rehabilitation of coastal ecosystems: investigating the potential[J]. Marine Pollution Bulletin, 1999, 37(8/12): 505—514.
- [2] Yu Jing, Chen Pimao, Tang Danling, et al. Ecological effects of artificial reefs in Daya Bay of China observed from satellite and *in situ* measurements[J]. Advances in Space Research, 2015, 55(9): 2315—2324.
- [3] 姜作真, 段钰. 建设人工鱼礁, 保护和增殖海洋渔业资源[J]. 水产科技情报, 2006, 33(2): 94—96.
Jiang Zuozhen, Duan Yu. Construct artificial reef, protect and enhance marine fishery resources[J]. Fisheries Science & Technology Information, 2006, 33(2): 94—96.
- [4] Rilov G, Benayahu Y. Vertical artificial structures as an alternative habitat for coral reef fishes in disturbed environments[J]. Marine Environmental Research, 1998, 45(4/5): 431—451.
- [5] Barros F, Underwood A J, Lindegarth M. The influence of rocky reefs on structure of benthic macrofauna in nearby soft-sediments[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2001, 52(2): 191—199.
- [6] 刘国山. 威海双岛人工鱼礁区大型底栖动物与海藻群落演替特征及其生态作用研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
Liu Guoshan. The succession and ecological functions of macrobenthos and macroalgae in the artificial reef zone of Shuangdao bay, Weihai[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014.
- [7] Baine M. Artificial reefs: a review of their design, application, management and performance[J]. Ocean & Coastal Management, 2001, 44(3/4): 241—259.
- [8] 张硕, 孙满昌, 陈勇. 人工鱼礁模型对大泷六线鱼和许氏平鲈幼鱼个体的诱集效果[J]. 大连水产学院学报, 2008, 23(1): 13—19.
Zhang Shuo, Sun Manchang, Chen Yong. The attractive effects of different structural artificial reef models on juvenile Schlegel's rockfish *Sebastes schlegelii* and fat greenling *Hexagrammos otakii*[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2008, 23(1): 13—19.
- [9] Sherman R L, Gilliam D S, Spieler R E. Artificial reef design: void space, complexity, and attractants[J]. ICES Journal of Marine Science, 2002, 59(S): 196—200.
- [10] 焦金菊, 潘永玺, 孙利元, 等. 人工鱼礁区的增殖鱼类资源效果初步研究[J]. 水产科学, 2011, 30(2): 79—82.
Jiao Jinju, Pan Yongxi, Sun Liyuan, et al. Effect of artificial reefs on fish multiplication[J]. Fisheries Science, 2011, 30(2): 79—82.
- [11] 刘鸿雁, 杨超杰, 张沛东, 等. 青岛崂山湾人工鱼礁区底层游泳动物群落结构特征[J]. 生物多样性, 2016, 24(8): 896—906.
Liu Hongyan, Yang Chaojie, Zhang Peidong, et al. Demersal nekton community structure of artificial reef zones in Laoshan Bay, Qingdao[J]. Biodiversity Science, 2016, 24(8): 896—906.
- [12] 刘舜斌, 汪振华, 林良伟, 等. 嵊泗人工鱼礁建设初期效果评价[J]. 上海水产大学学报, 2007, 16(3): 297—302.
Liu Shunbin, Wang Zhenhua, Lin Liangwei, et al. Preliminary evaluation on effects of artificial reef project in Shengsi[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2007, 16(3): 297—302.
- [13] 刘国山, 佟飞, 蔡星媛, 等. 威海双岛海域人工鱼礁区大型海藻夏季群落结构变化[J]. 中国水产科学, 2014, 21(5): 1010—1019.
Liu Guoshan, Tong Fei, Cai Xingyuan, et al. Variation in the macroalgae community structure during summer in the artificial reef zones of Shuangdao Bay, Weihai, Shandong Province, China[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2014, 21(5): 1010—1019.
- [14] 陈涛, 王云龙, 廖勇. 象山港人工鱼礁区浮游动物种类组成及群落结构特征[J]. 海洋科学, 2014, 38(7): 41—46.
Chen Tao, Wang Yunlong, Liao Yong. The species composition and community structure of zooplankton in Xiangshan Bay[J]. Marine Sciences, 2014, 38(7): 41—46.
- [15] 廖一波, 曾江宁, 寿鹿, 等. 象山港人工鱼礁投放对大型底栖动物群落结构的影响[J]. 海洋与湖沼, 2014, 45(3): 487—495.

- Liao Yibo, Zeng Jiangning, Shou Lu, et al. Impact of artificial reef on macrobenthic community structure in Xiangshan Bay[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2014, 45(3): 487—495.
- [16] 吴忠鑫, 张磊, 张秀梅, 等. 荣成俚岛人工鱼礁区游泳动物群落特征及其与主要环境因子的关系[J]. *生态学报*, 2012, 32(21): 6737—6746.
- Wu Zhongxin, Zhang Lei, Zhang Xiumei, et al. Nekton community structure and its relationship with main environmental variables in Lidao artificial reef zones of Rongcheng[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(21): 6737—6746.
- [17] 陈勇, 刘晓丹, 吴晓郁, 等. 不同结构模型礁对许氏平鲈幼鱼的诱集效果[J]. *大连水产学院学报*, 2006, 21(2): 153—157.
- Chen Yong, Liu Xiaodan, Wu Xiaoyu, et al. Distribution of Schlegel's rockfish (*Sebastes schlegeli* Hilgendorf) in different artificial reef models[J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2006, 21(2): 153—157.
- [18] 国家海洋局. 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: 6—91.
- State Oceanic Administration. GB/T 12763.6—2007, Specifications for oceanographic survey—part6: marine biological survey[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008: 6—91.
- [19] 赵志模, 周新远. 生态学引论[M]. 重庆: 科学技术文献出版社, 1984: 108—119.
- Zhao Zhimo, Zhou Xinyuan. Introduction to Ecology[M]. Chongqing: Scientific and Technical Documents Publishing House, 1984: 108—119.
- [20] 徐兆礼, 陈亚瞿. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲈鲶渔场的关系[J]. *生态学杂志*, 1989, 8(4): 13—15, 19.
- Xu Zhaoli, Chen Yagu. Aggregated intensity of dominant species of zooplankton in autumn in the East China Sea and Yellow Sea[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 1989, 8(4): 13—15, 19.
- [21] Støttrup J. A review on the status and progress in rearing copepods for marine larviculture: advantages and disadvantages among calanoid, harpacticoid and cyclopoids copepods[C]//Simposium Internacional de Nutrición Acuicola. Mazatlán, Sinaloa, México: Memorias del Octavo Simposium Internacional de Nutrición Acuicola, 2006: 970—975.
- [22] Lee C S, OBryen P J, Marcus N H. Copepods in Aquaculture[M]. Oxford, UK: Blackwell Publishing, 2005.
- [23] Makrakis M C, Nakatani K, Bialezki A, et al. Relationship between gape size and feeding selectivity of fish larvae from a Neotropical reservoir[J]. *Journal of Fish Biology*, 2008, 72(7): 1690—1707.
- [24] Islam M S, Hibino M, Tanaka M. Distribution and dietary relationships of the Japanese temperate bass *Lateolabrax japonicus* juveniles with two contrasting copepod assemblages in estuarine nursery grounds in the Ariake Sea, Japan[J]. *Journal of Fish Biology*, 2006, 68(2): 569—593.
- [25] Islam M S, Hibino M, Nakayama K, et al. Condition of larval and early juvenile Japanese temperate bass *Lateolabrax japonicus* related to spatial distribution and feeding in the Chikugo estuarine nursery ground in the Ariake Bay, Japan[J]. *Journal of Sea Research*, 2006, 55(2): 141—155.
- [26] 涂忠, 张秀梅, 张沛东, 等. 荣成俚岛人工鱼礁建设项目——人工鱼礁投放海域资源环境状况前期评价[J]. *现代渔业信息*, 2007, 22(12): 3—7.
- Tu Zhong, Zhang Xiumei, Zhang Peidong, et al. Artificial fish reef near Lidao island in Rongcheng—early assessment on resource and environment in sea area for artificial fish reef[J]. *Modern Fisheries Information*, 2007, 22(12): 3—7.
- [27] 陈涛. 基于浮游动物群落的象山港海洋牧场人工鱼礁建设效果分析[D]. 上海: 上海海洋大学, 2014.
- Chen Tao. Variation of artificial reef construction of marine ranching in Xiangshan Bay based on zooplankton community[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2014.
- [28] Nagai T. Recovery of fish stocks in the Seto Inland Sea[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2003, 47(1/6): 126—131.
- [29] 江红, 程和琴, 徐海根, 等. 大型水母爆发对东海生态系统中上层能量平衡的影响[J]. *海洋环境科学*, 2010, 29(1): 91—95.
- Jiang Hong, Cheng Heqin, Xu Haigen, et al. Impact of large jellyfish bloom on energy balance of middle and upper ecosystem in East China Sea[J]. *Marine Environmental Science*, 2010, 29(1): 91—95.
- [30] 孙松, 于志刚, 李超伦, 等. 黄、东海水母暴发机理及其生态环境效应研究进展[J]. *海洋与湖沼*, 2012, 43(3): 401—405.
- Sun Song, Yu Zhigang, Li Chaolun, et al. Progress in the jellyfish bloom research in the Yellow Sea and East China Sea[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2012, 43(3): 401—405.
- [31] 吴颖, 李惠玉, 李圣法, 等. 大型水母的研究现状及展望[J]. *海洋渔业*, 2008, 30(1): 80—87.
- Wu Ying, Li Huiyu, Li Shengfa, et al. Review on the current situation of macro-jellyfish research and expectations[J]. *Marine Fisheries*, 2008, 30(1): 80—87.
- [32] Purcell J E, Arai M N. Interactions of pelagic cnidarians and ctenophores with fish: a review[J]. *Hydrobiologia*, 2001, 451(1/3): 27—44.
- [33] 丁峰元, 程家骅. 东海区夏、秋季大型水母分布区渔业资源特征分析[J]. *海洋渔业*, 2005, 27(2): 120—128.
- Ding Fengyuan, Cheng Jiahua. The analysis on fish stock characteristics in the distribution areas of large jellyfish during summer and autumn in the East China Sea region[J]. *Marine Fisheries*, 2005, 27(2): 120—128.
- [34] 严利平, 李圣法, 丁峰元. 东海、黄海大型水母类资源动态及其与渔业关系的初探[J]. *海洋渔业*, 2004, 26(1): 9—12.
- Yan Liping, Li Shengfa, Ding Fengyuan. The preliminary studies on the dynamics of macro-jellyfish resources and their relationship with fisheries in the East China Sea and Yellow Sea[J]. *Marine Fisheries*, 2004, 26(1): 9—12.
- [35] 纪东平. 荣成俚岛斑头鱼和大泷六线鱼的渔业资源生物学研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
- Ji Dongping. Study on the fishery biology of *Hexagrammos agrammus* and *Hexagrammos otakii* in Lidao Rongcheng[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014.
- [36] 焦金菊. 人工鱼礁养护海域经济生物资源作用的研究[D]. 烟台: 烟台大学, 2010.

- Jiao Jinju. Study on the effect of artificial reefs to economic biological resources[D]. Yantai: Yantai University, 2010.
- [37] 潘永玺. 人工鱼礁对生物群落影响的研究[D]. 烟台: 烟台大学, 2010.
- Pan Yongxi. Study on the influence of artificial reefs to biocenosis[D]. Yantai: Yantai University, 2010.
- [38] 张虎, 刘培廷, 汤建华, 等. 海州湾人工鱼礁大型底栖生物调查[J]. 海洋渔业, 2008, 30(2): 97—104.
- Zhang Hu, Liu Peiting, Tang Jianhua, et al. Investigation on the macrobenthos of artificial reefs area in the Haizhou Gulf[J]. Marine Fisheries, 2008, 30(2): 97—104.
- [39] 李美真, 詹冬梅, 丁刚, 等. 人工藻场的生态作用、研究现状及可行性分析[J]. 渔业现代化, 2007, 34(1): 20—22.
- Li Meizhen, Shan Dongmei, Ding Gang, et al. Status of artificial macro-algae farm research, its ecological function and construction[J]. Fishery Modernization, 2007, 34(1): 20—22.
- [40] 于沛民, 张秀梅, 郝振林, 等. 藻场的生态意义及人工藻场的建设[J]. 齐鲁渔业, 2006, 23(6): 49—50.
- Yu Peimin, Zhang Xiumei, Hao Zhenlin, et al. The ecological meaning of sea-grass field and the construction of artificial sea-grass field[J]. Shandong Fisheries, 2006, 23(6): 49—50.
- [41] 于沛民. 人工藻礁的选型与藻类附着效果的初步研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2007.
- Yu Peimin. The choice of material and shape of artificial alga reefs and the elementary investigation of attachment of alga[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2007.

The effects of ecological restoration of the artificial reef in Weihai offshore

Yuan Xiaonan^{1,2}, Liang Zhenlin³, Lv Zhenbo^{1,2}, Wang Yingli⁴, Sun Xiaohong³

(1. Shandong Key Laboratory of Marine Ecological Restoration, Shandong Marine Resource and Environment Research Institute, Yantai 264006, China; 2. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Marine College, Shandong University(Weihai), Weihai 264209, China; 4. Weihai Aquatic School, Weihai 264300, China)

Abstract: This study was to understand the effects of artificial reef on the ecological restoration according to the investigation of marine biological resources around the artificial reef areas in the northern Yellow Sea from March 2013 to January 2014. Results showed that 55 zooplankton species occurred in the four seasons in this area, and the larvae of benthic species and planktonic copepods were the two dominant groups, in which the former one was the seasonal species in summer and autumn while the latter was dominant all the time. 14 species of nekton was found in this domain, dominated by reef fish. 12 benthic species were also found, in which the *Diomedea albatrus* was the dominant one, but it was the main predatory organism in the nearshore aquaculture. As the fishery resources in benthos, shrimps, crabs, and mollusc were presented as dominant species. The comparison between artificial reef areas and control areas showed that there were more species in the artificial reef areas. According to our results, the artificial reefs served for the ecological restoration and improved the biological diversity in these areas. To improve the primary production in the artificial reef area, the seaweed and large alga proliferation should be enhanced according to our investigation.

Key words: artificial reef; zooplankton; nekton; benthos; population quantity