

文章编号:1000-0615(2010)05-0751-09

DOI:10.3724/SP.J.1231.2010.06712

三横山人工鱼礁区鱼类和大型无脊椎动物诱集效果初探

汪振华, 章守宇*, 王凯, 赵静, 许敏

(上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306)

摘要:为了解人工鱼礁投放对鱼类和大型无脊椎动物(简称FM,以下同)的诱集效果,分别于2007年5、9月和2009年3、5、7月对上三横山人工鱼礁B区与泥底区进行了拖网本底和跟踪调查,并于2009年1-8月对下三横山人工鱼礁A区与馒头山岩礁和泥底区进行了刺网调查。采用CPUE、Margalef种类丰富度 d 、经济种类数变化、Whilm多样性指数 H' 等反映FM的资源状况。结果显示,(1)鱼礁A区和岩礁区在CPUE、种类丰富度、经济种和多样性上均无明显差异($P>0.05$),而两者各指标与泥底区皆存在显著差异($P<0.05$);(2)鱼礁B区,投礁后CPUE和经济种类数都明显高于投礁前也大于同期对照区,差异显著($P<0.05$);礁区平均丰富度水平高出同期对照区31.1%($P<0.05$);多样性水平相对投礁前和对照区都有一定提高,但尚无显著差异($0.05<P<0.1$)。三横山人工鱼礁区已经发挥了积极的FM诱集效果和资源增殖作用。

关键词:人工鱼礁;鱼类和大型无脊椎动物;资源增殖;三横山

中图分类号:S 953.1;S 931.5

文献标识码:A

利用人工鱼礁修复或优化海洋生物栖息地,进而增殖海洋生物资源已经成为各沿岸国的共同举措^[1-10]。科学设计和设置人工鱼礁,可以产生生态、经济和社会效益^[11]。我国自上世纪70年代末就开展了人工鱼礁的建设及相关理论研究,其中不乏对资源增殖效果的探讨^[12-15],但仍尚未建成完整、规范化的人工鱼礁资源增殖效果评价体系。本文以鱼礁区内部和周边200 m范围内^[16]的鱼类和大型无脊椎动物(简称FM,以下同)为研究对象,通过对其投礁前后及相对自然生境的资源结构的改变,分析人工鱼礁对这两大类生物的诱集效果,探讨建立人工鱼礁FM诱集效果评价体系的关键环节,以期为我国人工鱼礁生态学研究提供实践依据,并丰富人工鱼礁资源增殖效果研究的理论内容。

人工鱼礁水域分上三横山和下三横山两个区域,总面积约为1.36 km²,其中人工鱼礁建设面积约0.54 km²。该区域位于舟山嵊泗县东北部,马鞍列岛西部(E:122°38'12.23"~122°39'

16.28";N:30°45'57.14"~30°46'28.11")是马鞍列岛海洋特别保护区的重要组成部分。水域生态环境优良,水质肥沃,温盐适中,饵料丰富,是海洋动植物的优良栖息地^[17]。近年来岛礁附近水域捕捞强度增加,陆源污染物持续输入,赤潮频繁发生,海域资源状况已经降到了历史最低水平,环境亦面临严峻考验。为此,嵊泗县组织相关部门在筹划建立马鞍列岛海洋特别保护区的同时,积极进行人工鱼礁建设。截止目前已经完成了列岛西部东库山和三横山两个人工鱼礁群的建设,其中2008年4-5月在三横山海域投放了342个人工鱼礁单体,建成9座人工鱼礁礁群,建设面积约54 hm²。

1 材料与方法

1.1 采样方法

2007年5月和9月对上三横东半岛离岸100~300 m(约 1.2×10^5 m²)的拟建礁区域进行了鱼类和大型无脊椎动物的拖网本底调查,并于

收稿日期:2009-11-16 修回日期:2010-02-05

资助项目:国家“八六三”高新技术研究发展计划(2006AA100303);国家自然科学基金项目 NSFC(30471332,30871924);国家科技支撑计划(2007BAD43B03);上海市教委重点学科(J50702)

通讯作者:章守宇,E-mail:syzhang@shou.edu.cn

2009年3月、5月和7月在距离礁群200 m以内区域进行了3次跟踪调查,调查同步设置了1~2个对照区,拖网详细参数见表1。2009年1-8月,利用多网目组合刺网在下三横山鱼礁内部及对照海域进行逐月采样(表2)。刺网由5种规格网片组成。作业时,25 mm规格网每4片组成1

张,总长度为60 m,而其他网目规格各1片连成1张,总长度为120 m,与岸基平行放置。每种规格的网片的总有效“拦截”面积皆为72 m²。租用地方渔船作为工作船,每次拖网和刺网采样的同时完成水深、温盐、流态等环境参数的采集。

表1 采样拖网规格

Tab.1 Technical data of sampling trawl-net

网具类型 type of fishing net	网具全长(m) total length of net	网口周径(m) circumference of net mouth	曳纲长(m) length of warp	叉纲长(m) length of bridle	网板类型 type of otter board	网身目大(mm) mesh size in body	网囊目大(mm) mesh size in codend
单囊网板底拖 bottom otter shrimp trawl net	25	13	200	6	V型钢质	32	20

表2 采样刺网规格

Tab.2 Technical data of multi-mesh gill nets

内网衣目大(mm) inner layer mesh size	外网衣目大(mm) outer layer mesh size	网衣缩节高(m) height of each piece of net	网衣缩节长(m) length of each piece of net	内网衣水平缩节系数 horizontal hanging ratio for inner layer	实验网作业全长(m) total length of sampling nets
25	210	1.2	15	0.40~0.45	15×4=60
50	330	2.4	30	0.45~0.50	50~80 mm 规格网衣各一片连成一顶,总长为:30×4=120
60	330	2.4	30	0.45~0.50	
70	330	2.4	30	0.45~0.50	
80	330	2.4	30	0.45~0.50	

1.2 采样区域和站点布局

环境和生物数据的采集主要分两大区域:三横山人工鱼礁区和对照水域(图1)。人工鱼礁区包括礁群外边界线以内的区域也保护离礁体不超过200 m的影响区域。将礁群边界线内部区域作为A区,而离礁群不超过200 m的区域作为B区,两个区域及相关采样方式见图1。对照区的选择遵循环境相似原则,即光照、底质、水深、地形和流态等参数相似。礁体投放水域皆为粉砂质粘土底质,为此将拖网对照区选择在互不影响、底质相同且其他环境类似的馒头山东面水域。下三横排礁区域使用刺网采样,并选择环境参数相似的馒头山泥地和岩礁为对照区,人工鱼礁区和对照区的直线距离约为5.7 km。

1.3 样品保存和数据处理方法

调查所获样品采用冰鲜保存,胃含物用5%甲醛溶液保存。除部分样品带回实验室,其余的都在当地完成生物学测量。实验参数按《海洋生物生态调查技术规程》^[18]标准测量。采用CPUE(刺网为某站点每24小时的渔获重量;拖网为各

站点每小时每平方千米的渔获重量)、Margalef种类丰富度*d*、经济种类数变化、Whilm多样性指数*H'*等4个指标进行数据解析。所有数据使用Excel 2007和SPSS 15.0统计软件处理和统计分析,不同站点间指数均值采用独立样本*t*检验,显著性水平为 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 下三横山人工鱼礁A区和对照区的FM资源状况

A区和对照区的FM相对资源密度 3种区域月间平均CPUE为馒头山岩礁区(6101.4 ± 4823.9 g/d) > A区(3485.7 ± 2195.2 g/d) > 馒头山泥底区(2873.9 ± 3832.6 g/d)(图2)。从1-8月份的整体情况来看,岩礁区的月均相对资源密度是最高的,其次是A区,再次是泥底区;从两种生境的比较上来看,岩礁区月均CPUE虽然高出A区75%,但两者的月均差异并不显著($P=0.19 > 0.05$),同样A区和泥底区的月均CPUE亦无显著差异($P=0.70 > 0.05$),但泥地

区与岩礁区的月均 CPUE 却有着显著差异 ($P = 0.008 < 0.05$):岩礁区的资源密度大大高于泥底区。2009 年 1 月份岩礁区和泥底区的 CPUE 明显高于 A 区且大过其他各个月份的值,原因是 1 月份岩礁区和泥底区捕获的黄鲛鳎 (*Lophius litulon*) 数量多。该种类个体较大,最重达 3 kg,因此造成各生境间均值的较大差异。比较 2-8 月份各个生境的 CPUE 差异,A 区和泥底区的月

均 CPUE 确有显著差异 ($P = 0.01 < 0.05$)。从 5 月份开始,A 区的资源密度明显升高,逐渐赶上并超过岩礁区。7 和 8 月份 A 区资源状况好于天然岩礁,原因是 A 区捕获到了比岩礁区更多的洄游性鲷科鱼类[代表种为赤鼻棱鲷 (*Thryssa kammalensis*) 和中颌棱鲷 (*Thryssa mystax*)]。除 1 月份外,鱼礁区的相对资源状况一直比泥底区好,显示出人工鱼礁良好的 FM 诱集效应。

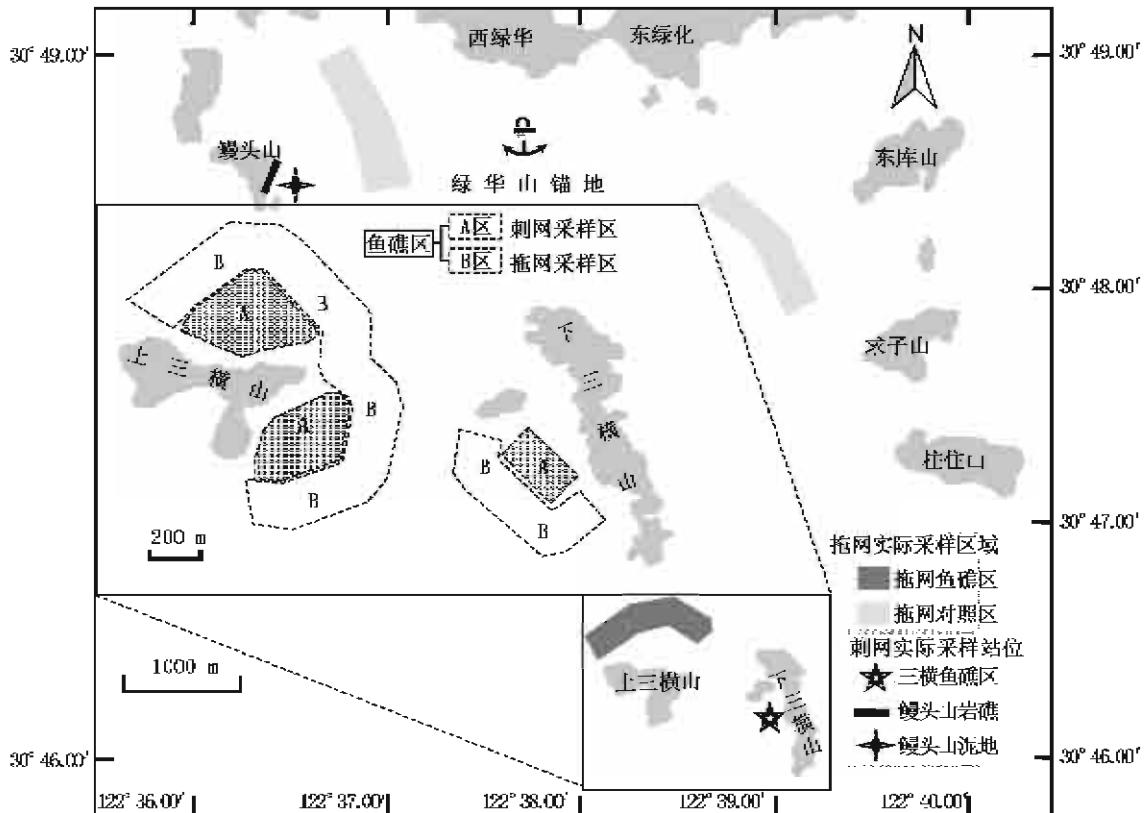


图 1 采样区域及实际站点分布

Fig. 1 Distribution of sampling areas (by trawl-net) and sampling sites (by gill-net)

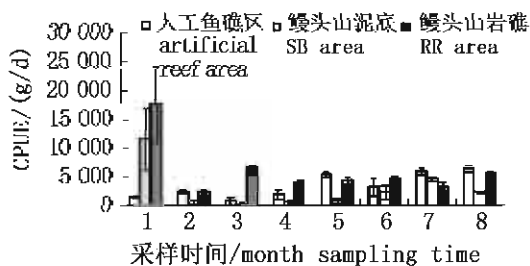


图 2 下三横鱼礁区和对照区 FMCPUE 月间变化

Fig. 2 Monthly variation of FM CPUE in 3 habitats

A 区和对照区 FM 种类丰富度和经济种组成 3 个区域种类丰富度均值分别为 A 区

(3.976 ± 1.06) > 馒头山岩礁区 (3.382 ± 0.66) > 馒头山泥底区 (2.482 ± 1.03)。从 8 个月份的平均效果上看,A 区的种类丰富度最高,其次是岩礁区,再次是泥底区(图 3);其中 A 区的月均种类丰富度显著高于泥底区 ($P = 0.01 < 0.05$),但和岩礁区相比差异并不显著 ($P = 0.20 > 0.05$)。泥底区和岩礁区的种类丰富度亦存在较大差异,但没有 A 区和泥底区间显著 ($0.05 < P = 0.06 < 0.1$)。1 月份 A 区的 CPUE 虽然比其他两个区域低,但种类丰富度却高于两者,这显示出人工鱼礁具有吸引更多种类的优势。除第 5、8 月份外,其他月份 A 区的种类丰富度皆高于泥底区和

岩礁区。8月份A区种类丰富度降低,并非由于其种类数的减少,而是受个体小但数量多的赤鼻棱鯧(*Thrissa kammalensis*)和个体大但数量少的短蛸(*Octopus ocellatus*)的影响,使得种类组成均匀度下降。

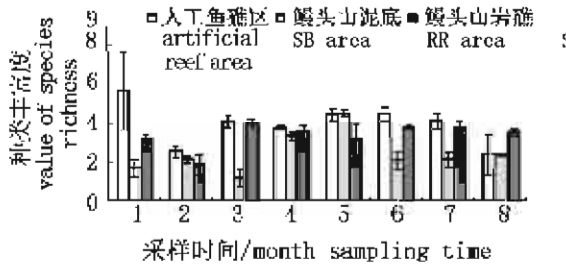


图3 下三横鱼礁区和对照区 FM 种类丰富度月间变化

Fig. 3 Monthly variation of FM species richness in 3 habitats

3个区域月均经济种数如图4:A区为11种,泥底区5种,岩礁区9种。2、4两月A区和岩礁区的经济种数量相同,3月却比后者少了4种,其他月份其经济种类数都高于泥底区和岩礁区。总体上A区的经济种类数量明显多于泥底区,平均高出6种($P=0.001 < 0.05$),岩礁区也显著多于泥底区($P=0.0001 < 0.05$);而A区和岩礁区两种生境的经济种类数月均差异并不明显($P=0.18 > 0.05$)。可见,具备了泥地和岩礁两种生境特征的人工鱼礁区养育着更多的经济种类,在资源养护和增殖上发挥了积极的作用。

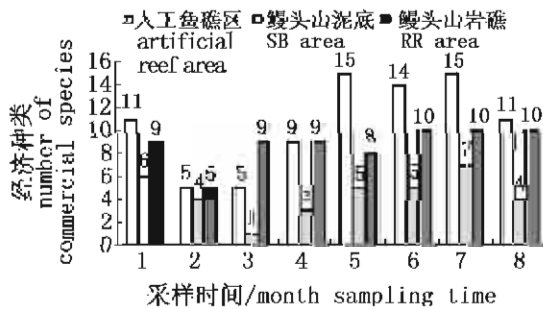


图4 鱼礁区和对照区经济种类数月间变化

Fig. 4 Monthly variation of commercial species in 3 habitats

A区和对照区 FM 多样性 各生境的多样性平均值为(图5);B区(3.118 ± 0.52) > 馒头山岩礁区(3.031 ± 0.44) > 馒头山泥底区(2.242 ± 0.47)。多样性水平B区和岩礁区非常相似,差异不显著($P=0.64 > 0.05$),且两者的平均水平显著高于泥底区,前者平均高出泥底区

39.2% ($P=0.002 < 0.05$),后者平均高出35.1% ($P=0.017 < 0.05$)。可见,A区的FM多样性水平已经在原有泥地生境的基础上提高了许多,且逐渐趋同于岩礁区,人工鱼礁恰似岩礁的延伸部分。结果说明,人工鱼礁在保护和维持局部海域生物多样性上具有积极作用。

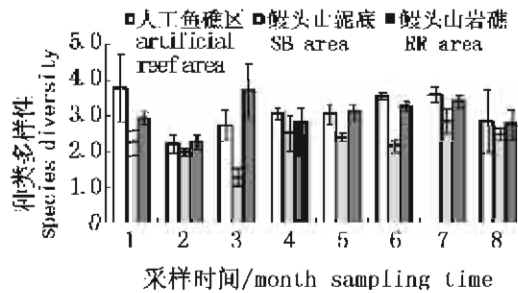


图5 鱼礁区和对照区 Whilm 种类多样性月间变化

Fig. 5 Monthly variation of Whilm species diversity values in 3 habitats

2.2 上三横山人工鱼礁 B 区和对照区的 FM 资源状况

B区和对照区的FM相对资源密度 投礁前B区和对照区的平均资源密度较为接近,分别为(433.28 ± 25.77) $g/(h \cdot km^2)$ 和(467.20 ± 27.23) $g/(h \cdot km^2)$,无显著差异($P=0.33 > 0.05$);投礁后1年,B区相对资源密度显著提高,是礁体投放前同期水平的2.05倍($P=0.04 < 0.05$);投礁后B区的CPUE均值为(932.33 ± 194.96) $g/(h \cdot km^2)$,对照区为(464.28 ± 165.31) $g/(h \cdot km^2)$,相差近2倍,两者之间差异显著($P=0.035 < 0.05$) (图6)。而对照区的CPUE在投礁前后呈现小幅振荡,2009年与2007年同期的状况比较,除略有增加外,基本在同一水平上,变化极不显著($P=0.98 > 0.05$)。由此表明,鱼礁投放后原有区域的资源状

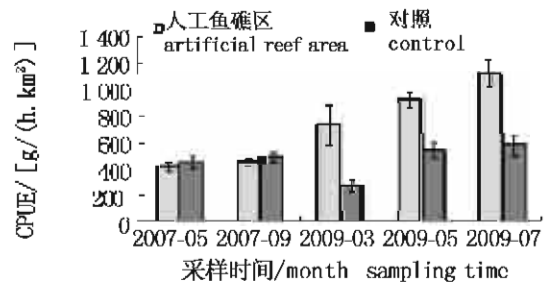


图6 鱼礁区和对照区调查月份 CPUE 变化

Fig. 6 Variation of CPUE in each sampling month between artificial reef area and control site

况得以提升,同时也显著高于对照水域,人工鱼礁建设在增加FM的资源量方面已表现出良好效果。

B区和对照区FM种类丰富度和经济种组成

鱼礁投放前后,B区的种类丰富度发生了较大变化(图7)。礁体投放1年后,B区种类丰富度的整体水平为 (3.62 ± 0.34) ,而投礁前为 (2.89 ± 0.37) 以下,其平均水平高出投礁前的25.3%,但投礁前后的差异并不显著($P=0.16 > 0.05$);B区投礁后丰富度水平高出同期对照区31.1%,两者存在显著差异($P=0.04 < 0.05$);而对照区以投礁时间为尺度,其前后差异并不大($P=0.55 > 0.05$)。

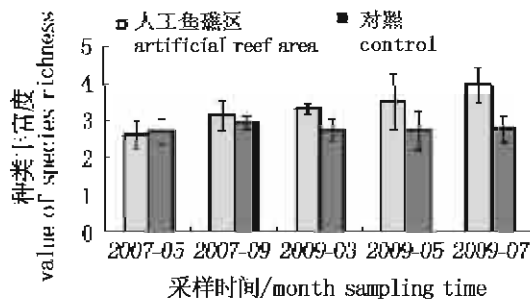


图7 鱼礁区和对照区种类丰富度变化
Fig.7 Species richness variation between artificial reef area and control site

投礁后,B区的经济种类数呈现增长趋势,最高达到7月份的17种;而同期对照区维持在12种左右(图8)。B区投礁前后的种类数发生了显著变化($P=0.04 < 0.05$);对照区投礁前后的种类数变化很小,相对人工鱼礁区而言,变化不显著($P=0.39 > 0.05$);投礁前B区和对照区的经济种类数较为一致,差异不明显($P=0.50 > 0.05$);投礁后B区经济种类数的平均水平要高出对照区,但尚不显著($0.05 < P=0.06 < 0.1$)。

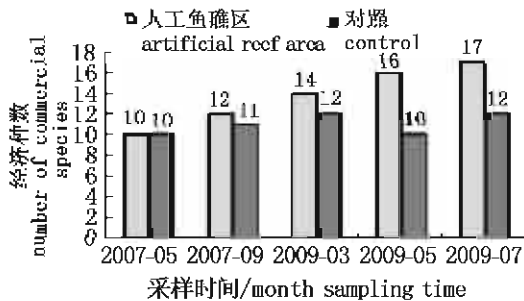


图8 鱼礁区和对照区经济种类数量变化
Fig.8 Number variation of commercial species between artificial reef area and control site

B区和对照区FM多样性 B区和对照区的种类多样性指数在投礁前差异很小($P=0.84 > 0.05$);鱼礁投放1年后,B区的多样性指数值随调查月份线性增加,相对投礁前,其平均多样性水平有较大提高,但尚未达到显著水平($0.05 < P=0.094 < 0.1$);投礁后对照区的多样性水平要低于同期的B区,两者存在较大差异,仍不显著($0.05 < P=0.055 < 0.1$);对照区在投礁前后的多样性水平维持了自然水域的稳定状态,变化不明显($P=0.91 > 0.05$)(图9)。上述结果表明,相对投礁前鱼礁周围区域的FM组成结构发生了一定的变化,多样性水平得以提升,从而为其资源增殖奠定了必要的生物多样性基础。

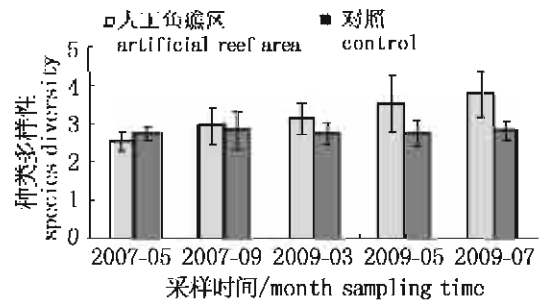


图9 鱼礁区和对照区种类多样性指数H'变化
Fig.9 Number variation of commercial species between artificial reef area and control site

3 讨论

人工鱼礁资源增殖就是利用鱼礁改善局部环境和重建栖息地的功能,在提高初级生产力的同时,为多种生物资源尤其是趋礁种类提供良好的生境,从而达到保护和增加资源种群生物量的养护目的^[6,9-10]。已有学者报道了人工鱼礁的资源增殖机理;李冠成^[6]从鱼的索饵本能,生殖、逃避本能及多数鱼种不同程度的趋礁性3个方面归纳了前人对人工鱼礁渔业资源增殖的机理的研究结果。段玉彤等^[7]认为利用人工鱼礁的环境功能可以从提高生产力和提供新栖息地两个方面解释其资源增殖原理。杨吝等^[16]则认为生物聚集于鱼礁,除其趋性和本能之外,还与环境中的饵料、流态、阴影、音响等诸多因素有关。综合上述理论,可以认为人工鱼礁资源增殖主要体现在生物区系和理化环境两方面,其中后者是形成新生物区系的前提。在已有的理论上,结合近年来东海区多处人工鱼礁的建设和大量科研实践,我们特对人工鱼礁增殖机理进行了梳理

和图解(图 10),由此可将人工鱼礁增殖机理解释为水生生物利用以鱼礁为媒介而形成的特殊理化环境的生态过程,是小尺度物理空间在人为干

扰下所形成的生境多样化反演出来的独特的生物群聚模式。

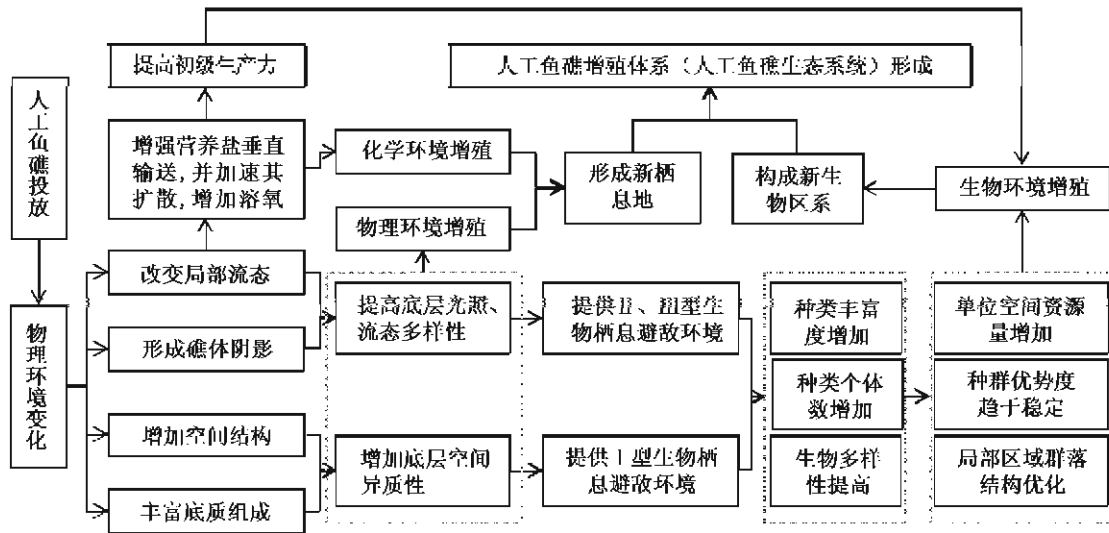


图 10 人工鱼礁资源增殖体系结构图

Fig. 10 Schematic diagram of resources enhancement system in artificial reef area

本文采用 CPUE、种类丰富度、经济种数和物种多样性 4 个指标进行人工鱼礁 FM 诱集效果的探讨。用 CPUE 解释资源量的变化,种类丰富度解释各区域 FM 种类数的变化,经济种数反映渔业价值的变化,而多样性反映群落结构的变化。其中前 3 个反映 FM 量的积累过程,属于量变指标;多样性则指示了 FM 组成结构上的变化,属于质变指标。资源密度增加、种类丰富度提高或经

济种数增加并不意味着多样性的提高;反过来,物种多样性的提高必定是由种类丰富度和资源密度增加所引起的。在 B 区,相对投礁前和对照区,虽然 CPUE 和经济种数都显著增加,且种类丰富度也显著高于对照区,但期间的多样性水平并无显著提高,显然量变指标的积累未达到特定程度。各指数在资源增殖效果评估方面的总体情况如表 3。

表 3 各指标在检验增殖效果上的统计结果汇总
Tab. 3 Test results of the 4 indexes in comparison of FM enhancement effects

人工鱼礁区域 artificial reef area	两种区域间比较 comparison between artificial area and control area	指标 indexes ($\alpha=0.05$)			
		资源密度 CPUE	丰富度 species richness	经济种 commercial species	多样性 species diversity
A 区 area A	人工鱼礁区 - 泥底区 AR area-SB area	*	*	**	**
	人工鱼礁区 - 岩礁区 AR area-RR area	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
	泥地区 - 岩礁区 SB area-RR area	**	*. ?	**	*
B 区 area B	投礁前礁区 - 投礁前对照区 before set: AR area -control area	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
	投礁前礁区 - 投礁后礁区 AR area: before set-after set	*	n. s.	*	*. ?
	投礁前对照区 - 投礁后对照区 control area: before set-after set	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
	投礁后礁区 - 投礁后对照区 after set: AR area-control area	*	*	*	*. ?

注: *. 差异显著; **. 差异极显著; *. ? 在 $\alpha=0.1$ 水平上有差异,但不显著;n. s. 无显著差异。
Notes: **. $P < 0.01$; *. $0.01 < P < 0.05$; *. ? $0.05 < P < 0.1$; n. s. $P > 0.05$.

国内外相关学者在探讨人工鱼礁生物聚集和资源增殖问题时,一般选择丰度(单位面积的种类个体数)^[1-3],种类丰富度指数^[3,5,12-14,19]; α 多样性指数,如 Shannon-Wienver 多样性指数、Whilm 多样性指数和 Pielou 均匀度指数^[1,2,5,12-14]; β 多样性指数,如 Jaccard 相似性系数^[2,4];以及相对资源密度 CPUE^[12-14]等参数进行分析,也有学者针对礁区的经济种进行了专门研究^[20]。其中丰度指数和 CPUE 都用来解释资源密度变化。诸多指数中使用最频繁的是种类丰富度指数和多样性指数。

上述指标都是从生物生态学上定义的,并未结合环境参数。因此,全面考虑鱼礁增殖效果,还应增加理化环境指标。本文选用 1-8 月份人工鱼礁 A 区及对照区环境调查的溶氧(DO)和叶绿素 a(Chl. a)2 个指标加以补充(图 11,图 12,其中 AR 为人工鱼礁,SB 为泥底区,RR 为岩礁区)。图中可以看出 3-5 月 A 区的 DO 高于对照区域,3-8 月的 Chl. a 也都好于对照区。这正是鱼礁局部范围内发挥环境增殖作用的体现,也是生物增殖的源动力所在。

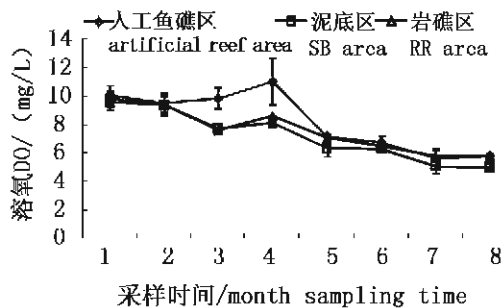


图 11 3 种生境间溶氧的月变化

Fig. 11 Monthly variation of DO in 3 habitats

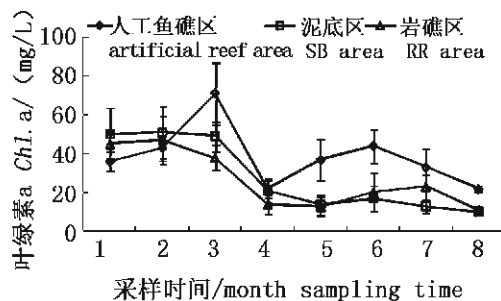


图 12 3 种生境间溶氧的月变化

Fig. 12 Monthly variation of Chl. a in 3 habitats

选择生物指标时必须考虑所采用的调查方法。人工鱼礁 FM 诱集效果调查方法很多,归纳起来主要分成两大类:破坏性方法和非破坏性方法^[22]。两大类又可细分为 30 多种方式^[21-23]。鉴于现场环境条件的限制,本研究中采用了刺网^[4-5]和拖网^[12-14]两种破坏性采样方式。由于作业方式的不同,其样品中 FM 种类组成必然有较大差异,所以从 A、B 两区分别进行分析。A 区的种类主要以 I、II 型为主,而 B 区以 III 型种类为主^[16][I 型:身体的某部位或大部分需接触鱼礁的贴礁种类,如褐菖鲉 (*Sebastes marmoratus*)、大泷六线鱼 (*Hexagrammos otakii*) 和褐牙鲆 (*Paralichthya olivaceus*) 等; II 型:身体不接触鱼礁但在鱼礁周围游泳和海底栖息的趋礁种类,如真鲷 (*Pagrosomus major*) 和黄姑鱼 (*Nibea albiflora*) 等; III 型:在礁体表面以外的中上层空间活动,且通常对礁体并不作出明显反应的洄游种类,如日本鳀 (*Engraulis japonicus*) 和赤鼻棱鲷 (*Thryssa kammalensis*) 等]。基于拖网和刺网的分区采样结果,已能较为全面地反应人工鱼礁的投放对各类型 FM 的诱集效果。

4 结论

人工鱼礁 A 区综合了原有泥地生境和天然岩礁生境的功能,各指标月均值皆优于泥底区;人工鱼礁内部的 FM 资源结构(包括资源密度,种类丰富度,多样性等)与岩礁区非常相似,某些月份的资源密度和种类丰富度甚至高于岩礁区;人工鱼礁区已经形成了由岛礁延伸出来但又优于岛礁生境的人工栖息地。

在人工鱼礁 B 区,投礁后无论是相对投礁前还是对照区,其 FM 的资源量和多样性都有显著提高;种类丰富度水平虽增加不显著,但仍表现出积极的效果;人工鱼礁的投放已经在其周边形成一个优于自然海域的 FM 生物群落,发挥了良好的 FM 诱集效果。

三横山人工鱼礁区已经从资源量、经济种数、种类丰富度和种类多样性 4 个层面上显示出人工鱼礁良好的 FM 诱集效应和栖息地改造功能。

上海海洋大学刘卫云、陈明超、童武君、许强、陈清满、尹冰玉和尹增强等在现场采样过程

中做了大量工作, 緬因大学陈勇教授在论文写作上提供了宝贵意见, 在此深表谢意!

参考文献:

- [1] 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.
- [2] Diamant A, Ben Tuvia A, Baranes A, *et al.* An analysis of rocky coastal eastern Mediterranean fish assemblages and a comparison with an adjacent small artificial reef [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1986, 30(3): 269 - 285.
- [3] Brian K W, Bruce H, Richard E S. Fish assemblages associated with artificial reefs of concrete aggregates or quarry stone offshore Miami Beach, Florida, USA [J]. *Aquatic Living Resources*, 2002, 15(2): 95 - 105.
- [4] Santos M N, Monteiro C C. The Olhão artificial reef system (south Portugal): Fish assemblages and fishing yield [J]. *Fisheries Research*, 1997, 30: 33 - 41.
- [5] Santos M N, Monteiro C C. Comparison of the catch and fishing yield from an artificial reef system and neighbouring areas off Faro (Algarve, south Portugal) [J]. *Fisheries Research*, 1998, 39: 55 - 65.
- [6] 李冠成. 人工鱼礁对渔业资源和海洋生态环境的影响及相关技术研究 [J]. *海洋学研究*, 2007, (3): 93 - 102.
- [7] 段玉彤, 李志超. 利用人工鱼礁增殖河北渔业资源的探讨 [J]. *河北渔业*, 2007, 4: 43 - 44.
- [8] 张怀慧, 孙龙. 利用人工鱼礁工程增殖海洋水产资源的研究 [J]. *资源科学*, 2001, 23(5): 6 - 10.
- [9] 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.
- [10] 王波, 武建平, 高俊, 等. 关于青岛建设人工鱼礁改善近海生态和渔业环境的探讨 [J]. *海岸工程*, 2004, 23(4): 66 - 73.
- [11] 何国民, 曾嘉, 梁小芸. 人工鱼礁建设的三大效益分析 [J]. *中国水产*, 2001, 5: 65 - 66.
- [12] 张虎, 朱孔文, 汤建华. 海州湾人工鱼礁养护资源效果初探 [J]. *海洋渔业*, 2005, 27(1): 38 - 43.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 陈勇, 于长清, 张国胜, 等. 人工鱼礁的环境功能和集鱼效果 [J]. *大连水产学院学报*, 2002, 17(1): 64 - 69.
- [16] 杨齐, 刘同渝, 黄汝堪. 中国人工鱼礁的理论与实践 [M]. 广州: 广东科技出版社, 2005: 55 - 87.
- [17] 宁波市海洋环境监测中心, 嵊泗县海洋与渔业局. 浙江嵊泗马鞍列岛海洋特别保护区建区论证报告 [R]. 2004, 12: 11 - 31.
- [18] 国家海洋局 908 专项办公室. 海洋生物生态调查技术规程 [M]. 北京: 海洋出版社, 2006: 32 - 48.
- [19] Frederic E V, Walter G N. An assessment of the use of stabilized coal and oil ash for construction of artificial fishing reefs: Comparison of fishes observed on small ash and concrete reefs [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 1998, 36(12): 980 - 988.
- [20] Jensen A C, Collins K L, Lockwood A P M, *et al.* Artificial reefs and lobsters: The Poole Bay Project [C] // *Proceedings of the 23rd Annual Shellfish Conference*, 19 - 20 May 1992. The Shellfish Association of Great Britain, London, 1992: 69 - 84.
- [21] Emmanuel T, Pascale C, Karine P, *et al.* Visual censuses of tropical fish aggregations on artificial reefs: slate versus video recording techniques [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2005, 315: 17 - 30.
- [22] Seaman W. Artificial reef evaluation [M]. New York: CRC Press, 2000: 146 - 147.
- [23] 陈勇, 郑小贤, 朱敬博, 等. 人工鱼礁区鱼类和大型无脊椎动物的调查方法 [J]. *水产科学*, 2008, 27(6): 316 - 31.

A preliminary study on fish and macroinvertebrate enhancement in artificial reef area around Sanheng Isle, Shengsi, China

WANG Zhen-hua, ZHANG Shou-yu*, WANG Kai, ZHAO Jing, XU Min
(College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Fishes and macroinvertebrates (FM) were sampled respectively in ShangSanheng artificial reef area (marked by B) in May, Sept. of 2007 and Mar., May, Jul. of 2009 by trawl-net, and XiaSanheng artificial reef area (marked by A) from Jan. to Aug. of 2009 by multi-mesh gill-nets around Sanheng artificial reef waters, in order to assess resource enhancement effects of the deployed artificial reefs (ARs). Several control sites were chosen for better explanation on habitat restoration function by ARs. CPUE, Margalef species richness index, commercial species variation and Whilm species diversity index were used to discuss the change of FM resource. Result shows that: (1) A area: average CPUE's significant differences were found neither between ARs and soft bottom habitat nor between ARs and rocky reef habitat ($P > 0.05$). However, the same index value from Feb. to Aug. between ARs and soft bottom habitat, was quite different ($P < 0.05$). Species richness level of ARs was obviously higher than that of the soft bottom habitat by 60.2% ($P < 0.05$), no differences existed between ARs habitat and Rocky reef habitat ($P > 0.05$). Both ARs habitat and Rocky reef habitat share more commercial species than soft bottom habitat ($P < 0.05$), and they seemed to be equal by chance to attract commercial species ($P > 0.05$). As to species diversity, it was exactly the same as commercial species differences explained above, namely, which is equal between ARs habitat and Rocky reef habitat, and better than soft bottom habitat. (2) B area: CPUE in AR area was obviously improved by 2.05 times after deployment ($P > 0.05$) and 2 times higher than that of control site ($P > 0.05$). Species richness level has been improved by 25.3% after reef deployment, though no significant differences were found between them. However, it did have a better level than control site by 31.3% higher ($P < 0.05$). 5 more commercial species were sampled in AR area after reef deployment compared to its original number ($P < 0.05$), and about 4 more species were sampled in AR area than control site after reefs were set. The diversity index in AR area has improved to a certain level, better than before and control site, though they appeared to be not so quite different ($0.05 < P < 0.1$). It is concluded that resource level and community structure have been improved a lot in both AR areas by comparison to its original level and control site level. The Sanheng artificial reefs have become a new habitat for more species and more individuals.

Key words: artificial reef; fish and macroinvertebrate; resource enhancement; Sanheng Isle

Corresponding author: ZHANG Shou-yu. E-mail: syzhang@shou.edu.cn