

不同网具在人工鱼礁水平方向上诱集效果的比较

徐胜南, 汪振华, 梁金玲, 章守宇*

(上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306)

摘要: 为了解东海典型软相泥地生境鱼礁投放后在水平梯度上的影响能力, 于2014年8月在嵊泗人工鱼礁区采用等间距设点的方法, 对不同网具(刺网、地笼网、拖网)在评价人工鱼礁区鱼类和大型无脊椎动物组成方面的应用效果进行了初步探讨。结果表明, 刺网渔获组成以鱼类为主, 占刺网总渔获种类的51.1%; 拖网主要为节肢类, 其次是鱼类, 分别占拖网总渔获种类的41%和37.7%; 地笼网的渔获种类分布则较为均衡。比较不同采样方法在鱼礁区水平方向上多样性的表征能力, 拖网优于刺网和地笼网, 3种网具组合的采样方式优于单种网具或任意两种网具相互组合。自人工鱼礁核心区向外, 各站点生物资源量、多样性等指标大致呈逐渐减少的趋势。从上述指标的空间差异来看, 三横山鱼礁区的有效辐射距离约为200 m, 而东库山鱼礁区辐射距离为200~300 m。研究结论认为, 相对于单一采样方法, 组合刺网、地笼网和改进型底拖网的综合采样方式可以获得更完整的现场信息, 从而更好地揭示人工鱼礁投放后水平方向的资源分布和群落结构状况。

关键词: 鱼类; 大型无脊椎动物; 人工鱼礁; 刺网; 拖网; 地笼网; 有效辐射范围

中图分类号: S 972.1

文献标志码: A

人工鱼礁的集鱼与增殖效果是评价其建设功效的主要内容, 已经得到普遍重视, 相关研究日渐丰富^[1-2]。在实际研究中, 为了保证采样数据的可比性, 往往使用单一的拖网或刺网等^[3-5]采样工具; 虽然保障了采样方法上的统一性, 但由于任一网具都有其局限性[如拖网不能进入鱼礁区内部采集褐菖鲉(*Sebastiscus marmoratus*)等岩礁性鱼类], 故难以完整反映礁区信息^[6]; 而刺网的选择性太强, 很难捕获虾类和一些软体类动物等^[7]; 因此, 所得数据在解释鱼礁区的生物种类组成等实际情况时, 可能存在较大差异^[8-10]。在国外, 人工鱼礁功效评价的常用调查方法还有水下观测法^[11]、摄影法^[12]和声学调查法^[13], 其缺陷也同样明显。例如水下观测法容易受到水体深度和光照的影响, 且对潜水员的应急反应等要求较高, 易造成观测误差, 尤其在水体透明度较低的海域, 该方法不具有可操作性; 声学调查法能简单、直接、较为准确地得到调查结果, 但是也

容易受到外界条件的影响且成本较高, 尚未普及。

基于上述研究背景, 加之东海岛礁海域较差的年均透明度条件, 本研究尝试用多种功能分化、作业原理不同的网具进行协同采样, 并等间距设置相应站位, 以期获得人工鱼礁区更为全面客观的生物组成和数量特征数据, 为科学评价人工鱼礁在水平梯度影响力上的效应提供实践素材和理论参考。本研究的科学假设: 人工鱼礁的诱集效应可以通过其水平方向上的生物组成情况和数量特征得到体现。为验证该假设, 以浙江舟山马鞍列岛海洋牧场一期和二期的鱼礁生境为研究对象, 对典型站位的诱集效应进行基于多种采样网具的综合评估。

1 材料与方法

1.1 采样区域与站点布设

研究区域位于浙江嵊泗的马鞍列岛海洋特别

收稿日期: 2015-07-25 修回日期: 2016-02-25

资助项目: 国家海洋公益性行业科研专项(201005013-3)

通信作者: 章守宇, E-mail: syzhang@shou.edu.cn

保护区(图1)。2004—2005年人工鱼礁一期工程在东库山海域投放立方体框架型鱼礁13座, 形成340 hm²礁区面积; 2008年二期工程在三横山海域投放礁体9座共54 hm², 之后在二期的基础上, 在三横山鱼礁区进行海洋牧场规划并实施牧场建设一期工程, 再次投放一定量的鱼礁。上述鱼礁的投放为本研究的开展提供了良好研究平台。2014年8月16—21日对三横山和东库山人工鱼礁区进行了资源调查, 同步选用多网目组合刺网、桁杆虾拖网和地笼网3种采样网具。自鱼礁核心区向外每隔200 m设置1个样带, 共4个样带: S1~S4。在鱼礁核心区设置刺网和地笼网的第1个站位, 然后用鱼探仪定位鱼礁位置后, 在紧邻鱼礁边缘设置拖网的第1个站位, 并将其划分为S1样带; 依次设置其余站点(表1)。考虑到鱼礁规模的限制和采样方式会对人工鱼礁投放后所形成的资源格局造成破坏, 放弃在同一采样季节设置平行站点的做法, 并控制每年的采样频次为1次。

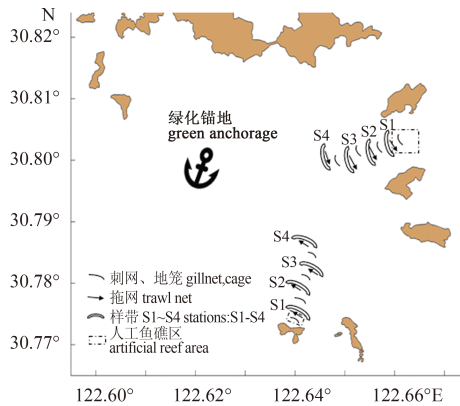


图1 各网具采样站点分布

Fig. 1 Distribution of sampling stations for three sampling tools

1.2 采样方法和样品处理

为适应在岛礁复杂底质区进行作业, 对当地渔民的底拖网作了一定的改进, 将桁杆长度由10 m缩减为4 m, 网衣腹面增加了铁链结构, 网囊腹面亦增加了抗磨损网片, 经过改进的底拖网桁杆直径为10 cm, 拖网网口高1 m, 网袖目大32 mm, 网囊目大20 mm。调查采用的多网目组合刺网单片网衣高度为1.2 m, 长度为12 m, 连接后全长72 m; 分别由26、34、43、50、60和70 mm共6种不同的内网目尺寸三重网片随机组合, 以尽可

表1 各站点与鱼礁核心区的距离
Tab. 1 The distance between the site and the core area of artificial reef m

| 样带 stations | 采样方式 sampling method | |
|----------------|-------------------------|------------------------|
| | 拖网 trawl | 刺网/地笼网 gillnet/cage |
| S1 | 0~200 | 0 |
| S2 | 200 | 0~200 |
| S3 | 400 | 200~400 |
| S4 | 600 | 400~600 |

能降低单一网目刺网和单层刺网选择性较高的影响。采用伸缩式加长型地笼网进行底层软体类和星康吉鳗(*Conger myriaster*)等鳗鲷目种类的补充采样。该地笼网拉直后呈长方体, 横截面为正方形, 网具的高度和宽度皆为40 cm, 外套网衣的网目大小为25 mm, 拉伸长度为8 m, 共分20节, 每节长40 cm。调查中, 刺网和地笼网的放置时间为24 h, 拖网的拖曳时间为10 min, 平均拖速为1 kn。

所得渔获物第一时间暂存于保温箱(约5 °C)中, 带回岛上实验基地后24 h内完成生物学实验: 物种鉴定至分类最低阶元, 其后完成基本的生物学测量, 包括体长、体质量、性别、性腺发育、摄食等级等, 测量标准参考《海洋生物生态调查技术规程》^[14]。

1.3 数据处理

对各采样方法所得生物学数据分别进行种类数、丰度和生物量等统计, 比较各采样方法的渔获丰度、渔获生物量在不同站位的区别可分析人工鱼礁的辐射效果范围。采用种类相似性指数 S_i 分析3种网具渔获物种的相似性, 以分析其间的共性和差异程度:

$$S_i = (c+d)/(a+b-c-d)$$

式中, a 、 b 分别为其中任意一种网具的样品种类数; c 为任意2种网具的共有种类数; d 为3种网具共有种类数; i 为任意一种网具或几种网具的组合^[15]。

采用相对重要性指数 IRI ^[16]来分析各采样网具在各站位的优势种:

$$IRI = (i/f) \times [(N_i/N) + (W_i/W)]$$

式中, N 和 W 为多有站位的尾数和生物量, N_i 和 W_i 为第 i 种的数量和生物量, f 为调查总站位次数, 将 IRI 指数大于5的物种定义为优势种。

采用Margalef物种丰富度指数(D)、Shannon-Weiner多样性指数(H')等指标^[8, 17-18]来分析鱼礁区的生物群落结构。

$$D=(S-1)/\ln N$$

式中, D 为物种丰富度指数; S 为种类数; N 为总尾数。

物种多样性指数 H' :

$$H'=-\sum P_i \ln P_i$$

式中, H' 为物种多样性指数; P_i 为第 i 种渔获种类在群落中所占的数量比例。

2 结果

2.1 种类组成

本次调查共捕获鱼类和大型无脊椎动物87种(表2), 其中鱼类39种, 隶属12目22科34属; 节肢动物28种, 隶属2目12科20属; 软体动物16种, 隶属6目11科12属; 棘皮动物4种, 隶属4目4科4属。三横山鱼礁区由内至外各站点的渔获种类数依次为40、29、31、20种; 东库山鱼礁区则为39、45、35、24种。由此可见, 距离鱼礁区更近的站点明显拥有更高的种类丰富度, 该调查区域内资源量大致呈现由内至外依次递减的趋势, 说明鱼礁的投放起到了良好的诱集效果, 也说明了鱼礁区的诱集作用有一个辐射效应。

对3种采样网具的渔获种类进行大类统计, 三横山和东库山2个鱼礁区的渔获种类组成以鱼类和节肢类为主, 其次是软体类, 棘皮类最少。刺网采集到渔获种类共47种, 其中鱼类24种, 节肢类13种, 软体类8种, 棘皮类2种; 地笼网采集到渔获种类共36种, 其中鱼类14种, 节肢类15种, 软体类7种; 拖网共采集到渔获种类64种, 其中鱼类24种, 节肢类25种, 软体类11种, 棘皮类4种。

对各采样方法渔获数据进行种类相似性指数计算, 发现刺网和地笼网的种类相似性指数为0.23, 拖网和地笼网为0.4, 刺网和拖网为0.18。拖网和地笼网之间的种类相似性指数较高, 其他2个种类相似性指数均较低。刺网、拖网、地笼网和综合采样方法(3种网具渔获结果合并)之间的种类相似性指数分别为0.53、0.61、0.38, 单种采样方法与综合采样方法的相似度分析显示, 拖网最接近鱼礁区总种类组成分布, 其次是刺网, 地笼网最低。调查结果显示刺网的渔

获多为鱼类, 拖网渔获多以节肢类和软体动物为主, 地笼网渔获组成则较为平均。显然, 在采样过程中, 3种采样方法各有其长处, 并相辅相成。

2.2 不同采样方法下种类数和资源密度的空间变化

种类数和丰度 本次调查中刺网、地笼网、拖网的渔获种类数量和丰度统计分别见图2和图3。三横山鱼礁区内3种采样方法统计结果均显示鱼礁核心区S1样带中的渔获种类数量远高于其他3个站点, 其余3个站点差异较小; 东库山鱼礁区内刺网和地笼网的结果显示S1、S2样带中渔获种类数量相当, 但明显高于S3、S4样带, 拖网的结果则显示S2样带中的渔获种类数量最多, 因为在该站位捕获14种鱼类, 远高于拖网在其他站点的渔获鱼类数量, S4样带中渔获种类数量最少。分别比较2个鱼礁区内3种采样方法在各样带中的渔获丰度, 大致呈现由内向外依次递减的趋势。东库山鱼礁区刺网站点出现S2和S4样带中渔获丰度偏高的特别现象, 这可能是由于刺网在这2个站点分别捕获了99和92尾小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)所造成的。分别对比2个鱼礁区内的渔获种类数量和丰度, 发现人工鱼礁区有良好的聚鱼效果, 并且可以看出人工鱼礁的建设效果有一定的辐射范围, 离鱼礁核心区越近, 资源量越丰富。

生物量 三横山鱼礁区刺网渔获生物量在鱼礁核心区S1样带中最大(图4), 为12.88 kg, 是离鱼礁区最远的S4样带的11.6倍, 渔获生物量的水平方向变化趋势也是由内至外依次递减; 地笼网和拖网的生物量在各样带中差异不大。东库山鱼礁区的渔获结果则显示3种采样方法均在S2样带中生物量最高(图4), 而在离鱼礁区最远的S4样带中生物量最低。在采样过程中, 发现当地渔民在三横山鱼礁区和东库山鱼礁区的作业量和作业时长远高于其他海域, 主要作业方式是刺网和蟹笼等, 这也侧面说明了人工鱼礁区的建设效果。

2.3 不同采样方法下优势种相对多度

刺网采样在2个鱼礁区内共采集到优势种6种, 且均为鱼类, 出现频率较高的有皮氏叫姑鱼、小黄鱼和褐菖鲉。其中皮氏叫姑鱼的相对重

表 2 三种采样方法各站点渔获种类组成
 Tab. 2 The species composition of the catch in each station by three sampling methods

↑

| 种名 species | 站点 stations | | | | | | | |
|--|--|-------------------|------------------|------------------|---|----------------------------------|------------------|-------------------|
| | 三横山鱼礁区 artificial reefs area in Sanheng | | | | 东库山鱼礁区 artificial reefs area in Dongku | | | |
| | S1 | S2 | S3 | S4 | S1 | S2 | S3 | S4 |
| 鱼类 fish | | | | | | | | |
| 小黄鱼 <i>Larimichthys polyactis</i> | 25 ^G | 44 ^{G2C} | 15 ^G | 2 ^G | 12 ^G | 99 ^G | 53 ^G | 92 ^G |
| 皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belengerii</i> | 42 ^{G4C} | 59 ^{G2C} | 7 ^{G1C} | 4 ^G | 11 ^G | 32 ^G | 6 ^G | 10 ^{G1C} |
| 鲩鱼 <i>Argyrosomus miiuy</i> | 3 ^G | 1 ^G | 1 ^G | | | | 1 ^G | |
| 黄姑鱼 <i>Nibea albiflora</i> | 1 ^{G18T} | | 5 ^T | | | 1 ^{G2C} 11 ^T | 1 ^{C1T} | |
| 日本条鳎 <i>Zebrias japonica</i> | 2 ^G | | | | | | | |
| 宽体舌鳎 <i>Cynoglossus robustus</i> | | | | | | 4 ^G | 2 ^G | 4 ^{G1T} |
| 蓝点马鲛 <i>Scomberomorus niphonius</i> | | | | | 2 ^G | | | |
| 焦氏舌鳎 <i>C. joyneri</i> | 8 ^T | 2 ^T | 22 ^T | 5 ^{G2T} | 5 ^{G3C} 1 ^T | 10 ^{G2T} | 3 ^G | 21 ^{G1T} |
| 日本鳀 <i>Engraulis japonicus</i> | | 1 ^G | | | 5 ^G | | | |
| 赤鼻棱鳀 <i>Thrissocle kammalensis</i> | 16 ^G | 2 ^G | | | 7 ^G | 21 ^G | | 1 ^G |
| 红狼牙鰕虎鱼 <i>Odontamblyopus rubicundus</i> | | | 9 ^T | | | | | |
| 六丝矛尾鰕虎鱼 <i>Chaeturichthys hexanema</i> | 1 ^{C3T} | | 1 ^{C4T} | | 1 ^C | 2 ^{C4T} | 5 ^T | |
| 小头栉孔鰕虎鱼 <i>Ctenotrypauchen microcephalus</i> | 4 ^T | 2 ^T | | 5 ^T | | 2 ^T | | |
| 中华栉孔鰕虎鱼 <i>C. chinensis</i> | 2 ^T | | | | | | | |
| 褐菖鲈 <i>S. marmoratus</i> | 15 ^G | 11 ^{G1C} | 6 ^C | | 14 ^T | 43 ^T | 18 ^T | |
| 虹鲆 <i>Erisphex potti</i> | | | | 1 ^T | | | 1 ^T | |
| 印度鲆 <i>Platycephalus indicus</i> | | | | | | 1 ^T | | |
| 海鳗 <i>Muraenesox cinereus</i> | 11 ^G | 5 ^{G1C} | 1 ^{G1C} | 1 ^{G2C} | 4 ^G | 1 ^G | | 1 ^G |
| 真鲷 <i>Pagrosomus major</i> | 1 ^G | | | | | | | |
| 横带髯鲷 <i>Hapalogenys mucronatus</i> | | | | | | 1 ^T | | |
| 龙头鱼 <i>Harpadon nehereus</i> | 1 ^{C2T} | | | | 4 ^C | 1 ^C | 1 ^G | 1 ^G |
| 黑棘鲷 <i>Acanthopagrus schlegeli</i> | | | | | | 1 ^T | | |
| 丝背细鳞鲷 <i>Stephanolepis cirrhifer</i> | | | | 7 ^C | | 2 ^T | | |
| 六指马鲛 <i>Polynemus sextarius</i> | 1 ^{G1C} | 1 ^G | | | 1 ^G | 1 ^T | 7 ^T | |
| 木叶蝶 <i>Pleuronichthys cornutus</i> | | | | 2 ^C | 2 ^T | | | |
| 鳎 <i>Cociella crocodila</i> | | | | | 1 ^T | | | |
| 天竺鲷 <i>Apogon sp.</i> | | | | | | | 1 ^T | |
| 斑鲷 <i>Konosirus punctatus</i> | 2 ^G | | | | | | | |
| 鳎 <i>Ilisha elongata</i> | 4 ^G | | | | | | | |
| 寿南沙丁鱼 <i>Sardinella zunasi</i> | | | | | 1 ^G | | | |
| 黄鲫 <i>Setipinna taty</i> | | | 1 ^G | | | | | 1 ^G |

·续表2·

| 种名 species | 站点 stations | | | | | | | |
|---------------------------------------|--|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|---|--|-------------------------------|-------------------------------|
| | 三横山鱼礁区 artificial reefs area in Sanheng | | | | 东库山鱼礁区 artificial reefs area in Dongku | | | |
| | S1 | S2 | S3 | S4 | S1 | S2 | S3 | S4 |
| 日本竹筴鱼 <i>Trachurus japonicus</i> | 1 ^G | | | | | | | |
| 长吻舌鳎 <i>C. lighti</i> | 3 ^G 3 ^C | 3 ^G | 41 ^G | 1 ^T | | 2 ^T | | |
| 短吻舌鳎 <i>C. abbreviatus</i> | 3 ^G | | | | 1 ^T | | | |
| 斑鳍鲂 <i>Scorpaena neglecta</i> | | | | | | 2 ^T | | |
| 大黄鱼 <i>Larimichthys crocea</i> | 1 ^G | 1 ^G | | | | | | |
| 尖吻蛇鳎 <i>Ophichthus apicalis</i> | | | | | | | 1 ^C | |
| 三齿躄鱼 <i>Antennarius pinniceps</i> | | | | | 1 ^T | 2 ^T | | |
| 白姑鱼 <i>A. argentatus</i> | | 19 ^T | 1 ^T | | | 3 ^T | 2 ^T | |
| 节肢类 arthropod | | | | | | | | |
| 鞭腕虾 <i>Lysmata vittata</i> | | | | | 1 ^T | | 1 ^C | |
| 日本对虾 <i>Penaeus japonicus</i> | 1 ^G | 1 ^T | 1 ^T | | | | 3 ^T | |
| 鹰爪虾 <i>Trachypenaeus curvirostris</i> | 2 ^T | | | | | 3 ^T | | |
| 细巧仿对虾 <i>Parapenaeopsis tenella</i> | 21 ^C 28 ^T | 37 ^T | 1 ^G 14 ^T | 8 ^T | 2 ^C 244 ^T | 3 ^C | | 1 ^C |
| 哈氏仿对虾 <i>P. hardwickii</i> | 9 ^C 2 ^T | 6 ^T | 2 ^T | 2 ^T | 2 ^C 50 ^T | 1 ^G 3 ^C | 1 ^G | 1 ^G |
| 葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i> | 12 ^C 42 ^T | 6 ^T | 1 ^C | 3 ^T | 2 ^C 546 ^T | 147 ^T | | 1 ^T |
| 中华管鞭虾 <i>Solenocera crassicornis</i> | 7 ^C 48 ^T | 24 ^T | 2 ^T | 1 ^T | 4 ^C 20 ^T | 2 ^C 3 ^T | | 2 ^G |
| 鲜明鼓虾 <i>Alpheus distinguendus</i> | | | 1 ^T | | 1 ^C | | 1 ^T | |
| 刀额仿对虾 <i>P. aculirostris</i> | 38 ^T | 64 ^T | 23 ^T | 43 ^T | 10 ^C | 15 ^C 5 ^T | 1 ^C 3 ^T | 10 ^T |
| 口虾蛄 <i>Squilla oratoria</i> | 3 ^C 5 ^T | 4 ^T | 6 ^G 10 ^T | 3 ^T | 3 ^C 7 ^T | 2 ^G 1 ^C 3 ^T | 1 ^G 5 ^T | 2 ^G |
| 日本蛄 <i>Charybdis japonica</i> | 8 ^G 1 ^T | 1 ^G 2 ^T | 2 ^C | 1 ^C 1 ^T | 42 ^T | 1 ^C 4 ^T | | 2 ^G 5 ^C |
| 双斑蛄 <i>C. bimaculata</i> | 2 ^C | | 3 ^T | | 148 ^T | 2 ^C 4 ^T | 5 ^T | |
| 锈斑蛄 <i>C. feriatus</i> | | | | | | 1 ^C 1 ^T | | |
| 三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i> | 2 ^C 1 ^T | | 9 ^G 1 ^T | | 2 ^G 149 ^T | | | |
| 纤手梭子蟹 <i>P. gracilimanus</i> | | | | | | 4 ^T | 1 ^T | 1 ^C |
| 红星梭子蟹 <i>P. sanguinolentus</i> | | | 1 ^G | | | | | |
| 矛形梭子蟹 <i>P. hastatoides</i> | 1 ^T | | | 1 ^T | | | 1 ^T | |
| 日本关公蟹 <i>Dorippe japonica</i> | | | | | 5 ^T | | | |
| 馒头蟹 <i>Calappa</i> sp. | | | | | | | | 1 ^C |
| 细点圆趾蟹 <i>Ovalipes punctatus</i> | | | 1 ^G | | 1 ^T | | | |
| 四齿矶蟹 <i>Pugettia quadridens</i> | 8 ^G | | | | | | | |
| 绵蟹 <i>Dromia dehaani</i> | | | | | 1 ^T | 1 ^G 1 ^T | | |
| 强壮菱蟹 <i>Parthenope validus</i> | 5 ^G | | | | | | | 1 ^T |
| 双角互敬蟹 <i>Hyastenus diacanthus</i> | 3 ^G | | | | | | 1 ^T | |

·续表2·

| 种名 species | 站点 stations | | | | | | | |
|---|--|-------------------|-------------------|----------------|---|-------------------|-------------------|-------------------|
| | 三横山鱼礁区 artificial reefs area in Sanheng | | | | 东库山鱼礁区 artificial reefs area in Dongku | | | |
| | S1 | S2 | S3 | S4 | S1 | S2 | S3 | S4 |
| 周氏新对虾 <i>Metapenaeus joyneri</i> | 1 ^T | | | 1 ^T | | | | |
| 水母虾 <i>Latreutes mucronatus</i> | 2 ^T | | | | 4 ^T | 2 ^T | 1 ^C | |
| 长角船形虾 <i>Tozeuma lanceolatum</i> | | | | | | 4 ^T | | |
| 日本鼓虾 <i>A. japonicus</i> | 2 ^T | 3 ^T | 1 ^T | | 2 ^T | 1 ^C | | |
| 软体类 mollusca | | | | | | | | |
| 甲虫螺 <i>Cantharus cecillei</i> | | 3 ^G | | | | | 1 ^T | |
| 假奈拟塔螺 <i>Turricula nelliae spurius</i> | | | | | | | | 1 ^T |
| 脉红螺 <i>Rapana venosa</i> | 1 ^G | | 1 ^G | | | 2 ^T | 2 ^T | 1 ^{G1C} |
| 纺锤螺 <i>Fusinus</i> sp. | 1 ^G | | 1 ^G | | | | | |
| 蓝无壳侧鳃 <i>Pleurbranchaea novaezealandiae</i> | | | | | | 1 ^{G1C} | 1 ^T | 1 ^{G1T} |
| 西格织纹螺 <i>Nassarius siquinjorensis</i> | | | | 1 ^T | | 1 ^C | 1 ^C | |
| 长牡蛎 <i>Ostrea gigas</i> | | | | | 2 ^T | 1 ^T | 2 ^T | |
| 日本枪乌贼 <i>Loligo japonica</i> | | | | | 1 ^C | | | |
| 长蛸 <i>Octopus variabilis</i> | 2 ^C | 1 ^T | 1 ^C | | 1 ^C | | 1 ^C | |
| 短蛸 <i>O. ocellatus</i> | 2 ^G | 1 ^{G1C} | | | 2 ^G | 4 ^{T5C} | | |
| 细角螺 <i>Hemifusus ternatanus</i> | | 1 ^G | | | | 1 ^T | 1 ^T | |
| 爪哇拟塔螺 <i>T. javana</i> | | | | | 1 ^T | | | |
| 海笔 <i>Pennatula phosphorea</i> | | | | | 1 ^C | | | |
| 桂山厚丛柳珊瑚 <i>Hicksonella guishanensis</i> | | | | | | 1 ^T | 1 ^T | 1 ^T |
| 亚洲棘螺 <i>Chicoreus asianus</i> | 2 ^G | | | | | | | |
| 管角螺 <i>H. tuba</i> | | 2 ^G | | | | | | |
| 棘皮类 echinodermata | | | | | | | | |
| 马粪海胆 <i>Hemicentrotus pulcherrimus</i> | 4 ^{G1C1T} | 8 ^{G12T} | 22 ^{G9T} | 9 ^T | 17 ^T | 2 ^{G42T} | 1 ^{C46T} | 1 ^{G23T} |
| 紫海胆 <i>Anthocidaris crassispira</i> | 4 ^T | | | | | | | |
| 高骨沙鸡子 <i>Phyllophorus hypsipygra</i> | 5 ^T | 2 ^T | 1 ^T | | | 1 ^G | | 5 ^T |
| 多棘海盘车 <i>Asterias amurensis</i> | | | | | | | 2 ^T | |

注: G. 刺网, C. 地笼网, T. 拖网

Notes: G. gillnet; C. cage; T. trawl

要性指数较高, 尤其在三横山鱼礁区的S1、S3样带内分别达到了22.5和29.8; 褐菖鲉的相对重要性指数则相对较低, 为5.0~10.0。地笼网因为采获样品较少, 共采获优势种4种, 其组成为2种鱼类, 2种节肢类。拖网共采集到优势种8种, 其中鱼类2种, 节肢类5种, 软体类1种。葛氏长臂虾在S1样带中达到了38.9, 为拖网渔获物

中相对重要性指数最高的物种(表3)。

3种采样方法在S1、S2、S3样带中的优势种均出现了趋礁性极强的褐菖鲉, 说明了人工鱼礁区的良好建设效果。根据各采样样带与鱼礁核心区距离, 发现在距鱼礁核心区200~300 m的范围间仍有褐菖鲉这样趋礁性极强的物种作为优势种存在。

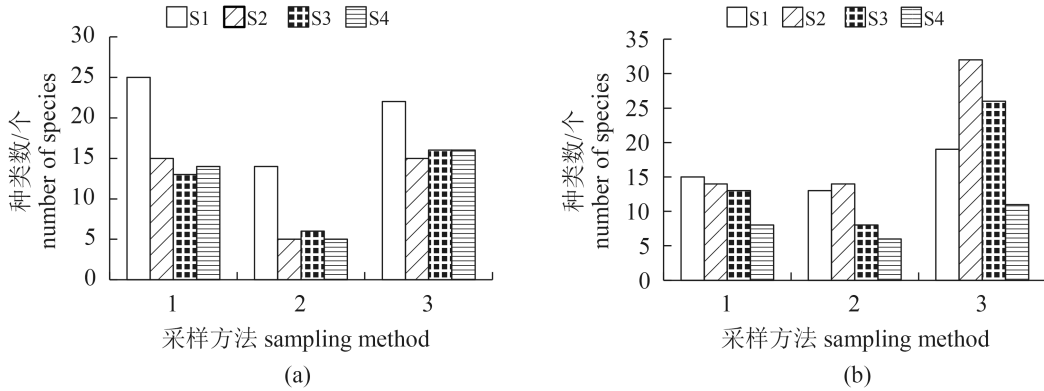


图 2 三横山(a)和东库山(b)鱼礁区渔获种类数量

1. 刺网; 2. 地笼网; 3. 拖网, 下同

Fig. 2 The horizontal variation of species number in Sanheng (a) and Dongku (b) artificial reef areas

1. gillnet; 2. cage; 3. trawl, the same below

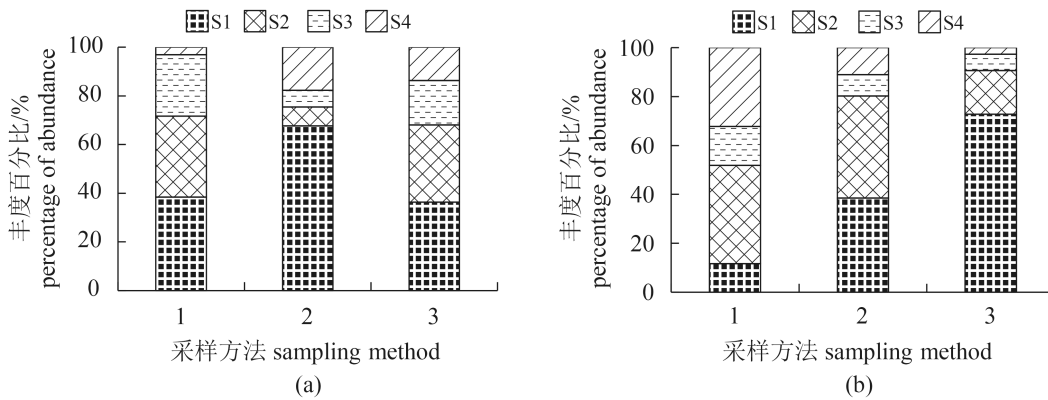


图 3 三横山(a)和东库山(b)鱼礁区渔获丰度

Fig. 3 The abundance in Sanheng (a) and Dongku (b) artificial reef areas

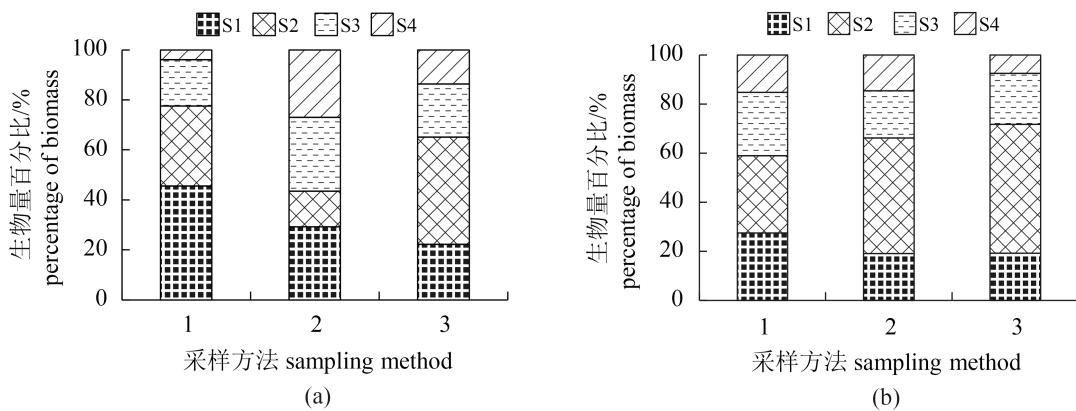


图 4 三横山(a)和东库山(b)鱼礁区渔获生物量

Fig. 4 The biomass percentage at each transect in Sanheng (a) and Dongku (b) artificial reef areas

2.4 各采样方法中群落多样性指数值的空间分布

分别计算3种采样方法在各样带的丰富度和多样性, 在三横山鱼礁区3种采样方法均在S1站

点有最大的丰富度和多样性(表4), 其次是S2和S3样带, 在这2个样带内丰富度和多样性的值较为相近。对3种采样方式的群落多样性数值进行比较, 拖网 > 刺网 > 地笼网, 表明不同的采样

表 3 三种采样方法各站点的渔获优势种组成及其相对多度

Tab. 3 Composition of dominant species at each transect by three sampling methods

| 采样站点 stations | 三横山礁区 artificial reefs area in Sanheng | | | 东库山礁区 artificial reefs area in Dongku | | |
|------------------|---|-------------|-------------------------------|--|-------------|---|
| | 刺网 gillnet | 地笼 cage | 拖网 trawl | 刺网 gillnet | 地笼 cage | 拖网 trawl |
| S1 | 皮氏叫姑鱼(22.5) 海鳗(13.3) 褐菖鲈(5.8) | | 焦氏舌鳎(12.1) 中华管鞭虾 (11.3) | 皮氏叫姑鱼 (7.6) | 刀额仿对虾(10.3) | 葛氏长臂虾(38.9) 三疣梭子蟹(25.5) 细巧仿对虾(20.6) |
| S2 | 皮氏叫姑鱼(29.8) 小黄鱼(12.3) 褐菖鲈(9.0) | 长吻红舌鳎(20.8) | 刀额仿对虾 (18.4) | 小黄鱼(26.6) 皮氏叫姑鱼 (19.1) | 刀额仿对虾(15.8) | 褐菖鲈(8.5) 葛氏长臂虾(10.9) 马粪海胆(7.8) |
| S3 | 长吻红舌鳎(15.8) 小黄鱼(8.9) | 褐菖鲈(13.7) | 焦氏舌鳎(15.6) | 小黄鱼(18.8) | | 褐菖鲈(5.3) 马粪海胆(9.7) |
| S4 | | | 刀额仿对虾 (11.8) | 小黄鱼(30.3) 焦氏舌鳎(8.3) | 日本蝠(51.3) | |

表 4 三种采样方法在2个鱼礁区各站点的群落多样性指数值

Tab. 4 The index of community diversity at each transect in two artificial reef areas by three sampling methods

| 样带 transect | 三横山鱼礁区 artificial reefs area in Sanheng | | | | | | 东库山鱼礁区 artificial reefs area in Dongku | | | | | |
|----------------|--|------------|-------------|------------------|------------|-------------|---|------------|-------------|------------------|------------|-------------|
| | 丰富度 richness | | | 多样性 diversity | | | 丰富度 richness | | | 多样性 diversity | | |
| | 刺网 gillnet | 地笼 cage | 拖网 trawl | 刺网 gillnet | 地笼 cage | 拖网 trawl | 刺网 gillnet | 地笼 cage | 拖网 trawl | 刺网 gillnet | 地笼 cage | 拖网 trawl |
| S1 | 4.89 | 3.07 | 3.89 | 2.36 | 1.89 | 2.15 | 2.54 | 3.85 | 3.08 | 1.81 | 1.98 | 1.71 |
| S2 | 3.02 | 2.09 | 2.68 | 1.58 | 1.18 | 1.86 | 2.32 | 4.04 | 5.33 | 1.32 | 1.86 | 1.81 |
| S3 | 2.78 | 2.34 | 3.41 | 1.69 | 1.17 | 2.09 | 1.66 | 3.37 | 4.67 | 0.77 | 1.33 | 1.95 |
| S4 | 1.21 | 1.21 | 3.12 | 0.94 | 0.84 | 1.56 | 2.13 | 2.17 | 2.36 | 1.29 | 1.03 | 1.28 |

方式对资源多样性的评估能力不一样。东库山鱼礁区拖网的丰富度指数要大于地笼网大于刺网, 但3种采样方式在多样性指数方面的比较相对复杂。例如, 拖网的多样性指数在S1、S2、S3样带内分别为1.71、1.81、1.95, 呈现距离鱼礁核心区越远, 多样性指数反而逐渐增高的现象。这可能是由于东库山鱼礁区投礁的时间较早, 所以可能在S2~S3样带范围内形成了生态过渡带, 导致该区域内聚集了更多的资源量, 从而调查样带中出现了高生物量、高多样性的现象。从整体上来看, 人工鱼礁区核心区域的群落多样性指数高于远离礁区的区域, 在其有效辐射范围内生物群落组成更复杂, 多样性更高, 群落结构也更稳定。

3 讨论

3.1 不同采样方法评估鱼礁区鱼类和大型无脊椎动物种类组成的效果差异

不同的采样方法在采样过程中各有其不同的采样效果, 在渔获种类组成和优势种组成等方

面均有体现。渔获种类相似性指数的结果揭示了3种采样方式相互之间并没有很高的相似性, 尤其刺网和拖网之间的相似性指数极低, 仅为0.18。刺网主要采样对象为鱼类, 拖网的主要采样对象为节肢类, 其次为鱼类, 而地笼网的渔获种类组成则相对较为均匀(图5)。人工鱼礁区内共有5种鱼类^[6]: I.需要接触刺激的鱼类; II.定座型鱼类; III.几乎不接触固形体, 但需要固形体在身旁的鱼类; IV.通常不需要固形体在身旁, 但若有固形体在身旁, 能以此定位的鱼类; V.完全不需要固体形的存在, 但有时需要定位于海洋表层固形体。本次调查中, I型鱼类如海鳗, 星康吉曼等, II型鱼类如褐菖鲈等, III型鱼类如真鲷、黑鲷等鲷科鱼类, IV型鱼类如竹筴鱼、蓝点马鲛, 均广泛分布于各站点中。对比各采样方式所得渔获组成发现, 刺网因其较强的选择性, 较适合采集I型和II型鱼类, 而拖网较适用于调查III、IV、V型鱼类。当采样条件比较复杂, 无法综合采样时, 3种渔具分别作为调查工具的适宜程度为拖网>刺网>地笼

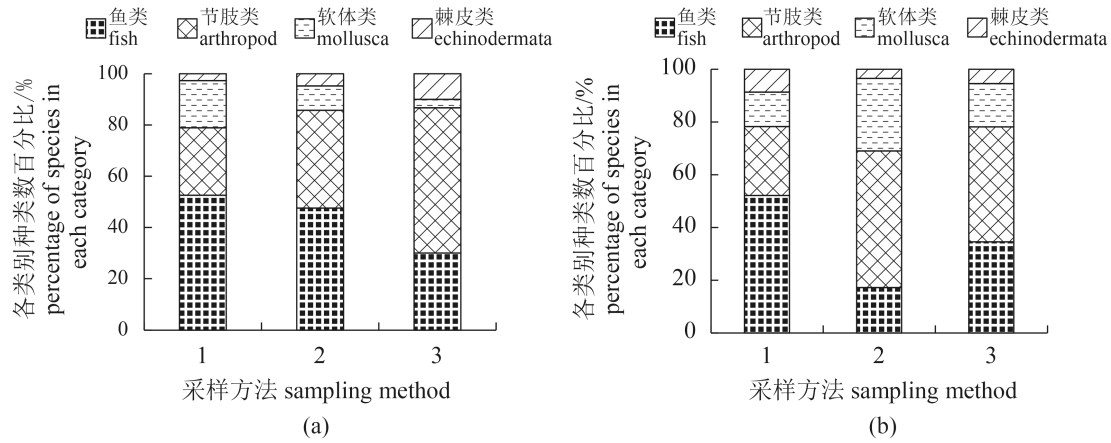


图 5 三横山(a)和东库山(b)三种采样方法渔获种类数百分比

Fig. 5 The percentage of different species types in Sanheng (a) and Dongku (b) artificial reefs area

网。值得一提的是，地笼网与综合采样方法的相相似度只有0.38，明显低于其他2种渔具，因此仅使用地笼网作为采样渔具进行鱼礁区调查具有非常大的缺陷，很难反映鱼礁区生物群落结构的真实组成状况，不宜单独使用。

优势种是具有控制群落和反映群落特征的物种^[19]。根据所得优势种结果分析，鱼类的优势种构成以岩礁性鱼类(褐菖鲉)和石首鱼科种类(小黄鱼、皮氏叫姑鱼等)为主，梁君等^[20]在朱家尖人工鱼礁区的调查也得到了相似的结果。刺网的优势种组成均为鱼类，地笼网主要为鱼类和节肢类，只有拖网的优势种构成囊括了鱼类、节肢类和软体类。3种采样方式所得渔获物中仅有一个共有的优势种，即褐菖鲉。由于人工鱼礁的投放，褐菖鲉这种趋礁性极强的鱼类大量聚集在人工鱼礁区及其周围，因此在3种采样方式渔获物中均占有较大比重。因此，单一的刺网或者拖网采样调查并不能准确地反映人工鱼礁区的渔业资源状况。为完整、准确地反映东库山和三横山人工鱼礁区的资源状况，需使用刺网、拖网并辅以渔获组成较为平均的地笼网这三种网具进行综合采样。

此外，本次调查结果与国外人工鱼礁区的研究结果^[21]相似的是人工鱼礁的核心区域渔获种类数量的确高于鱼礁区外的站点，但是渔获种类组成与离鱼礁区的距离远近之间并无显著关系。

3.2 不同采样方法对各个采样间距的物种多样性的反映能力

天然生境投放鱼礁后，形成物种更多，空间

结构更为复杂、稳定的人工生境，理论上可以提供更多的小生境，从而提高该区域的生物多样性^[22]。国外的一些研究也在一定程度上印证了这些结论，如Scott^[23]等对澳大利亚悉尼附近的一个近海人工鱼礁区的丰度和多样性进行调查研究，发现自鱼礁核心区向外，丰度和多样性指数均呈现依次降低的趋势，本次调查也发现了类似的规律。比较不同采样方法对各个采样间距上物种多样性的反映能力，发现地笼网相较于其他两种方式多样性指数较小，但更为稳定，在2个鱼礁区内的变化趋势一致，变动幅度平缓，均为沿着鱼礁核心区向外，多样性依次减弱；拖网的多样性指数略大于刺网，且这2种采样方式的多样性指数均在鱼礁核心区S1样带内最高。

为探明不同采样方式在水平方向上多样性的反映能力，以X轴表征各采样方式在各采样样带内的多样性指数，Y轴表征各采样方式，Z轴表征多样性指数数值进行分析^[24](图6)。因不同采样方式的作业原理不同(刺网、地笼网为被动网具，拖网为主动网具)，在水平方向上拖网的多样性指数变化幅度大于刺网和地笼网。不同采样方式对多样性指数的反映能力方面，拖网的反映能力优于刺网和地笼网，而3种网具的组合采样方式最佳，具体为GTC > CT > GT > T > GC > G > C(图6)。考虑到拖网不宜在岩相海底包括鱼礁区内部采样，如若要完整、准确地反映不同采样方法在鱼礁区水平方向上的多样性，3种网具的综合采样效果是最优的。

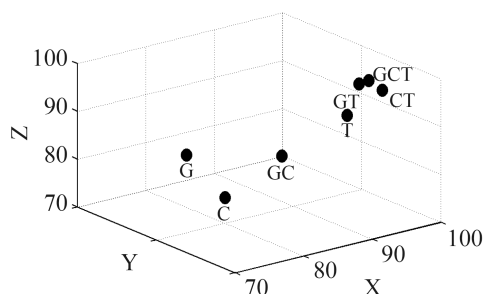


图 6 各不同采样方式在各采样距离上呈现的多样性关系

Fig. 6 Relationship between the sampling methods, diversity and the distance of sampling

4 结论

通过本次调查研究, 对3种采样方法在2个鱼礁区的资源量、渔获种类组成和多样性等进行分析, 可得到以下3个结论: ①鱼礁区的种类数目、丰度、丰富度、多样性等均要高于鱼礁区外的海域; ②3种网具两两间的渔获组成相似性皆未达到中等相似水平, 故采样过程中都有各自不可替代的作用; ③渔获数据显示自鱼礁核心区向外, 有一个明显的有效辐射范围。东库山鱼礁区的辐射范围在礁区外部200~300 m; 三横山鱼礁区的辐射范围大约为礁区外200 m。

综上所述, 单独使用某一网具评估人工鱼礁区的资源结构和群落状况往往难以客观反映现场海域的真实情况。3种方法综合使用, 取长补短, 方能最大化地获取种类组成和多样性信息, 增加调查结果的科学参考价值。而在鱼礁的辐射能力和范围上, 仍需要设置更多的样带, 才能更好地查清鱼礁影响的空间范围。

感谢上海海洋大学吴程宏、邓明星、曾旭、陈玲、周曦杰和陈亮然给予的帮助。

参考文献:

- [1] 陈勇, 于长清, 张国胜, 等. 人工鱼礁的环境功能与集鱼效果[J]. 大连水产学院学报, 2002, 17(1): 64-68.
Chen Y, Yu C Q, Zhang G S, *et al.* The environmental function and fish gather effect of artificial reefs[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2002, 17(1): 64-68 (in Chinese).
- [2] 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.
Wang H, Chen P M, Li H Q, *et al.* Preliminary evaluation on fish-aggregating effects of artificial reefs in Chenghai coast, Guangdong, China[J]. South China Fisheries Science, 2008, 4(6): 63-69 (in Chinese).
- [3] 刘凯, 徐东坡, 张敏莹, 等. 崇明北滩鱼类群落生物多样性初探[J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14(4): 418-421.
Liu K, Xu D P, Zhang M Y, *et al.* Preliminary studies on biodiversity of fish community on north beach of Chongming island[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2005, 14(4): 418-421. (in Chinese).
- [4] 张旭丰, 张鹏, 谭永光, 等. 硃洲岛周围水域虾拖网虾渔获组成[J]. 海洋渔业, 2008, 30(3): 207-212.
Zhang X F, Zhang P, Tan Y G, *et al.* Composition of shrimp catches caught shrimp by beam trawl in the waters around Naozhou Island of Guangdong Province[J]. Marine Fisheries, 2008, 30(3): 207-212 (in Chinese).
- [5] 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 J J, Pan Y X, Sun L Y, *et al.* Effect of artificial reefs on fish multiplication[J]. Fisheries Science, 2011, 30(2): 79-82 (in Chinese).
- [6] 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): 316-319.
Chen Y, Zheng X X, Zhu J B, *et al.* Assessing methods of fish and macro-invertebrate in artificial reef areas[J]. Fisheries Science, 2008, 27(6): 316-319 (in Chinese).
- [7] 陈丕茂. 中山人工鱼礁区渔获物调查[J]. 热带海洋学报, 2005, 24(3): 73-80.
Chen P M. A survey on catch in artificial reef area of Zhongshan city[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2005, 24(3): 73-80 (in Chinese).
- [8] 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 S B, Wang Z H, Lin L W, *et al.* Preliminary evaluation on effects of artificial reef project in Shengsi[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2007, 16(3): 297-302 (in Chinese).
- [9] 汪振华, 章守宇, 王凯, 等. 三横山人工鱼礁区鱼类和大型无脊椎动物诱集效果初探[J]. 水产学报, 2010, 34(5): 751-759.
Wang Z H, Zhang S Y, Wang K, *et al.* A preliminary study on fish and macro-invertebrate enhancement in artificial reef area around Sanheng Isle, Shengsi, China[J]. Journal of Fisheries of China, 2010, 34(5): 751-759.

- 751-759 (in Chinese).
- [10] 赵静, 章守宇, 汪振华, 等. 崂洒人工鱼礁海域鱼类和大型无脊椎动物群落结构特征[J]. 中国水产科学, 2010, 17(5): 1045-1056.
Zhao J, Zhang S Y, Wang Z H, *et al.* Analysis on community structure and diversity of fish and macro-invertebrate in Shengsi artificial reef area[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(5): 1045-1056 (in Chinese).
- [11] Lowry M, Folpp H, Gregson M, *et al.* Comparison of baited remote underwater video (BRUV) and underwater visual census (UVC) for assessment of artificial reefs in estuaries[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2012, 416-417: 243-253.
- [12] Cappo M, Speare P, De'ath G. Comparison of baited remote underwater video stations (BRUVS) and prawn (shrimp) trawls for assessments of fish biodiversity in inter-reefal areas of the Great Barrier Reef Marine Park[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2004, 302(2): 123-152.
- [13] Pascaline B, Catherine S, Charbonnel E, *et al.* Monitoring of the artificial reef fish assemblages of golfe juan marine protected area (France, North-Western Mediterranean)[J]. Brazilian Journal of Oceanography, 2011, 59(suppl.1): 167-176.
- [14] 梁玉波, 马明辉, 王长云, 等. 海洋生物生态调查技术规程[M]. 北京: 海洋出版社, 2006.
Liang Y B, Ma M H, Wang C Y, *et al.* Technical specification for ecological survey of halobios[M]. Beijing: China Ocean Press, 2006 (in Chinese).
- [15] 张旭, 张秀梅, 高天翔. 春季黄河口海域2种网具渔获物组成的比较分析[J]. 南方水产, 2010, 6(1): 59-67.
Zhang X, Zhang X M, Gao T X. Comparative analysis on catch composition with two fishing gears at Yellow River estuary in spring[J]. South China Fisheries Science, 2010, 6(1): 59-67 (in Chinese).
- [16] 王雪辉, 杜飞雁, 邱永松, 等. 1980-2007年大亚湾鱼类物种多样性、区系特征和数量变化[J]. 应用生态学报, 2010, 21(9): 2403-2410.
Wang X H, Du F Y, Qiu Y S, *et al.* Variations of fish species diversity, faunal assemblage, and abundances in Daya Bay in 1980-2007[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(9): 2403-2410 (in Chinese).
- [17] 金显仕, 邓景耀. 莱州湾渔业资源群落结构和生物多样性的变化[J]. 生物多样性, 2000, 8(1): 65-72.
Jin X S, Deng J Y. Variations in community structure of fishery resources and biodiversity in the Laizhou Bay, Shandong[J]. Chinese Biodiversity, 2000, 8(1): 65-72 (in Chinese).
- [18] Wilson J P, Sheaves M. Short-term temporal variations in taxonomic composition and trophic structure of a tropical estuarine fish assemblage[J]. Marine Biology, 2001, 139(4): 787-796.
- [19] 沈国英, 施并章. 海洋生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
Shen G Y, Shi B Z. Marine ecology[M]. Beijing: Science Press, 2002 (in Chinese).
- [20] 梁君, 王伟定, 潘国良, 等. 朱家尖人工鱼礁区鱼类和大型无脊椎动物群落结构变动初探[J]. 南方水产, 2010, 6(4): 13-19.
Liang J, Wang W D, Pan G L, *et al.* Preliminary study on changes of fish and macroinvertebrate community structure in Zhujiajian artificial reef area[J]. South China Fisheries Science, 2010, 6(4): 13-19 (in Chinese).
- [21] Santos L N, Brotto D S, Zalmon I R. Fish responses to increasing distance from artificial reefs on the Southeastern Brazilian coast[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2010, 386(1-2): 54-60.
- [22] 汪振华, 章守宇, 王凯. 三横山鱼礁生境鱼类和大型无脊椎动物群落特征[J]. 生态学报, 2010, 30(8): 2026-2035.
Wang Z H, Zhang S Y, Wang K. Fish and macro-invertebrates community structure in artificial habitat around Sanheng Isle, Shengsi, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(8): 2026-2035 (in Chinese).
- [23] Scott M E, Smith J A, Lowry M B, *et al.* The influence of an offshore artificial reef on the abundance of fish in the surrounding pelagic environment[J]. Marine & Freshwater Research, 2015, 66(5): 429-437.
- [24] Kilar J A, Hanisak M D, Yoshida T. On the expression of phenotypic variability: why is *Sargassum* so taxonomically difficult[M]. Oakland: University of California Press, 1992.

Use of different sampling tools for comparison of fish-aggregating effects along horizontal transect at two artificial reef sites in Shengsi

XU Shengnan, WANG Zhenhua, LIANG Jinling, ZHANG Shouyu*

(College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Fishes and macro-invertebrates were sampled at two artificial reef sites in August of 2014 using sampling tools (gillnet, cage, trawl) to find out the horizontal boundaries of fish aggregating effects by deployed artificial reefs (AR) as well as sampling efficiency of the applied sampling tools. Fish are the most abundant species for trammel nets catch. It took 51.1% of the total gillnets catch; trawls was the most efficient tool for collection of arthropod, followed by fish, accounting 41% and 37.7% respectively of the total catch. Catch of cages did not show any significant difference on species abundance or biomass between different species types along the selected transects. Trawls acted as a better tool on species diversity investigation than trammel nets and cages, while the combination those three tools can draw a most complete picture for local species composition status. For the abundance, biomass and diversity indices, both trammel nets and trawls had the highest density and diversity at core area of sampling AR sites, decreasing slowly along the selected four transects. Based on that, we extracted a distance of 200 m as the effective radiation range of Sanheng AR area while 200–300 m of Dongku AR area. It is concluded firstly that different sampling tools have different advantages on fish and macro-invertebrate evaluation, thus the combination of different tools is needed to reveal the most complete and accurate status of AR aggregating effects. Secondly, the effective range of fish aggregating function by deployed AR could be restricted in a very narrow area less than 1000 m and it is 200 m for this study.

Key words: fish; macro-invertebrate; artificial reef; gillnet; trawl; cage; the aggregating range

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

Funding projects: Scientific Research Project of the Marine Public Welfare Industry of China (201005013-3)