

嵊泗人工鱼礁海域鱼类和大型无脊椎动物群落结构特征

赵静¹, 章守宇^{1,2}, 汪振华¹, 王凯¹

(1. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 海洋生态系统与环境实验室, 上海 201306)

摘要: 为了探明鱼礁生境中群落结构的组成情况, 评估人工鱼礁投放取得的生态效果以及探索人工鱼礁投放对整个资源组成情况的影响, 根据2004年–2007年嵊泗海域人工鱼礁区及周边海域和自然海域的资源调查资料, 对比分析了上述3个海域的资源种类组成、优势种、多样性等群落结构特征。共发现鱼类和大型无脊椎动物150种, 其中鱼礁区119种。鱼类和节肢类在生物量和数量上均占较高比例, 为3个海域的主要资源组成。鱼礁区在历次调查中共发现季节性优势种类11种, 随着时间的推移, 鱼类作为优势种的次数增多。同步调查中, 鱼礁区丰富度和多样性高于其余2个海区, 最高丰富度和多样性分别为6.349和3.303, 鱼礁周边海域分别为3.982和2.158, 自然海域为5.751和3.003。3个区域之间, 鱼礁区和自然海域的相似度最高; 其次是鱼礁周边海域和自然海域; 鱼礁周边海域与鱼礁区的相似度最低。结论认为, 鱼礁的投放有利于生物的栖息和聚集, 对鱼类的诱集和分布影响明显。[中国水产科学, 2010, 17(5): 1045–1056]

关键词: 人工鱼礁; 鱼类; 大型无脊椎动物; 群落结构; 嵊泗海域

中图分类号: S93

文献标识码: A

文章编号: 1005–8737–(2010)05–1045–12

近年来, 世界范围内海洋生境的破坏和渔业资源的衰退日益严重, 自20世纪70年代起, 中国近海渔业资源就因捕捞强度过大而开始衰退。为维持海洋渔业产量, 从20世纪80年代后期开始, 渔船、马力趋向大型化, 助渔助航设备现代化, 捕捞强度进一步增大, 加速了渔业资源的衰退; 同时, 近海持续的底拖网作业导致了渔业生态环境的恶化。为了扭转渔业资源的衰退趋势, 保护海洋生态环境, 国家有关部门采取了许多措施, 如实行禁渔区和禁渔期制度, 实行网目大小限制等, 这些措施虽然对减缓渔业资源的衰退起到了一定作用, 但都不能从根本上解决捕捞强度过大的问题。经过长期的观察和研究, 发现人工鱼礁具有恢复和改善海洋生态环境、增殖和养护渔业资源等效果, 因此, 人工鱼礁成为备受关注的生态改善途径之一^[1–4]。

通过建设人工鱼礁渔场, 可恢复和改善海洋生态环境, 增殖和养护渔业资源, 提高水产品质量, 这在国外的研究已获得证实^[5–6]。中国围绕人工鱼礁等生态型设施在本底调查、礁址选取、礁体设计、礁群配置、投放方案、跟踪调查及水动力效果、生态效应分析等各个技术环节都做了初步的研究, 并在多个海域进行了人工鱼礁建设^[7–9]。为了探明鱼礁生境中群落结构的组成情况, 评估人工鱼礁的投放取得的生态效果以及探索人工鱼礁投放对资源组成的影响, 本研究对投放人工鱼礁的嵊泗海域进行了长期的调查和实验, 主要侧重于研究鱼类和大型无脊椎动物生物学参数的组成与变化、优势种、物种多样性和相似性等, 对嵊泗海域的人工鱼礁影响区域(称为人工鱼礁区域)和邻近的自然海域(称为鱼礁周边海域)以及自然海域间群落结构的差别与变化进行初步探讨,

收稿日期: 2009–11–24; 修订日期: 2010–03–03.

基金项目: 国家863重点项目课题(2006AA100303); 上海市教委重点基金项目(05ZZ51); 国家自然科学基金项目(30471332).

作者简介: 赵静(1984–), 女, 硕士, 主要从事海洋生态系统与渔业资源的研究. Tel: 13524280083; E-mail: star_zhaojing@126.com

通讯作者: 章守宇, 教授, 研究方向为海洋生态系统工程. E-mail: syzhang@shou.edu.cn

以期了解人工鱼礁的生态效果和影响方式,对鱼礁所引起的生态效应做出初步评估,为该海域资源保护措施的制定提供实践依据。

1 材料与方法

1.1 采样时间和区域

于2005年1月至2006年1月期间,在东库山以南海域先后投放建成13座单位鱼礁,总投放量 $17\,000\text{ m}^3$,形成礁区面积 330 hm^2 。调查采样区域为东库山人工鱼礁影响区域及自然海域,鱼礁区选择为鱼礁周围不超过1 km的环形区域(实际采样控制在离礁址不过500 m的区域)。有研究表明,在礁区外围1 km以内一般都能受鱼礁影响^[10]。本研究设2个对照区,其一为距离鱼礁区稍近的东绿华山南面和柱住山南面的天然海域,大体与主要潮流方向

一致的椭圆型区域;另一个是离鱼礁较远的自然海域,选在水深、底质相近的黄礁区,调查区域设置详见图1。调查始于2004年,至2007年底结束,在人工鱼礁区域共进行11次大规模采样调查,其中2004年1次本底调查,2005、2006年分别进行4个季度调查,2007年进行补充调查2次。鱼礁周边海域共进行8次调查,其中2004年本底调查1次,2005年分季度调查4次,2006年调查3次。自然海域共进行调查9次,其中2005年分季度调查3次,2006年调查4次,2007年调查2次。由于人工鱼礁区范围较小,随机拖网作业2次即能基本反映礁区资源状况。鱼礁周边海域的调查,在主要潮流方向上,保证在周边海区不超过1 000 m海域内,随机拖网采样2次。黄礁区的调查,随机拖网作业2次。站位设置如图1所示。

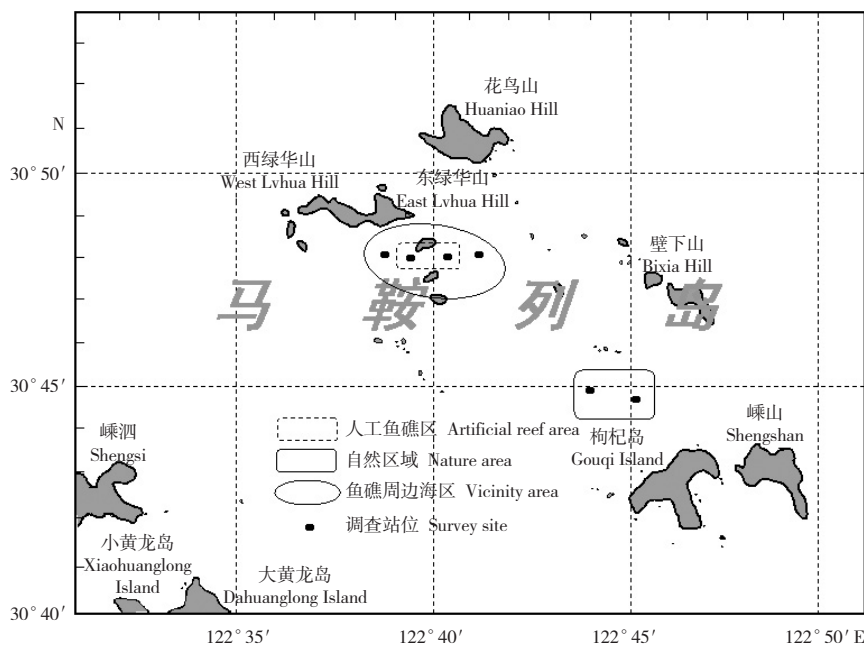


图1 调查区域及站位设置图

Fig. 1 Survey areas and sites in Shengsi sea area

1.2 采样网具和样品保存

鉴于当地渔民作业情况和海域实际情况,研究海域的调查应用当地较为流行的小型拖网船,能够最大程度上采集调查海域的渔业资源生物。调查

船为40HP小型拖网渔船。每次调查拖曳时间为30 min左右,拖速为1节。采样拖网的基本参数如表1所示。

表1 采样拖网基本参数
Tab. 1 General parameters of shrimp trawl

类型 Type	网具全长/m Net total length	网口周径/m Net gape circumference	曳纲长/m Warp length	叉纲长/m Strop length	网板类型 Back type	网袖目/mm Wing size	网囊目/mm Codend size
单囊网板底拖 Otter board trawl	25	13	200	6	V型钢质 V-steel	32	20

为准确而详细地了解各调查海域的渔业资源生物情况,每次拖网调查的样品均全部取样,冷冻储存,上岸后当天进行种类鉴定和体长、体质量、摄食等级等生物学测定。

1.3 数据分析处理

1.3.1 资源组成分类 本研究中渔业资源生物统指鱼类和大型无脊椎动物,群落组成上,为了解调查海区群落组成及资源整体变动状况,以大类组成作为基本分类方法,包括鱼类、节肢类、软体类和棘皮类。

1.3.2 数据标准化 为了消除调查时拖速与时间对相对资源量指数所产生的系统误差,以鱼礁区本底调查时30 min扫海面积为标准,对其他各次调查的数据进行标准化,标准化数据=调查数据×(鱼礁本底调查30 min扫海面积/其他各网次扫海面积)。

1.3.3 优势种 本研究在尝试计算了其他几种优势种计算方法^[11-12]后,摒弃不符合实际调查情况的方法,在Pinkas相对重要性指数^[13]基础上,以系数 $P=[(a \times NP_i + b \times WP_i) / \max(a \times NP + b \times WP)] \cdot 100\%$ 的大小衡量各次采样中出现的优势种,其中 a 、 b 分别为某种类 i 的数量百分比 NP_i 和质量百分比 WP_i 的权重系数, $a+b=1$ 。对权重系数 a 和 b 进行了比较计算,发现当 $a=0.7$ 、 $b=0.3$ 时,计算结果和采样的实际情况最为吻合,是实际海域渔业资源组成和本研究采用的拖网效能的反映,即 $P \geq 0.5$ 为优势种, $0.2 \leq P < 0.5$ 则为次优势种。

1.3.4 群落多样性

(1) Margalef丰富度指数 E (Index of abundance)^[14] 评价各个时期种类丰度情况:

$$E = \frac{S-1}{\ln N}$$

(2) Shannon-Wiener多样性指数 H' (Diversity index)^[15]进一步反映群落多样性状况:

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

式中 $P_i = \frac{n_i}{N}$, S 为每个站点的渔获种类数, N 为全部渔获的个体数之和, n_i 为某一站点某种渔获的个体数。

(3) 渔业资源生物组成的相似性情况采用木元新作^[16]定义的相似性指数(C_λ):

$$C_\lambda = \frac{2 \sum_{i=1}^s n_{li} \cdot n_{2i}}{(\lambda_1 + \lambda_2) N_1 \cdot N_2} \quad 0 < C_\lambda < 1$$

$$\lambda_1 = \frac{\sum_{i=1}^s n_{li} (n_{li} - 1)}{N_1 (N_1 - 1)}, \lambda_2 = \frac{\sum_{i=1}^s n_{2i} (n_{2i} - 1)}{N_2 (N_2 - 1)}$$

这里 N_1 、 N_2 分别为采样站点1、2的个体总数, n_{li} 、 n_{2i} 则为各自站点第 i 个种类的个体数, s 为2个站点的所有种类数。

2 结果与分析

3个区域共发现150种渔业资源生物,3个区域共有种为92种,鱼礁区特有生物有短吻舌鳎(*Cynoglossus abbreviatus*)等29种,鱼礁周边海域特有种为何氏鳐 [*Raja (Okamejei) hollandi* Jordan et Richardson] 等8种,自然海域特有种为21种,包括角鲛鰈(*Gigantactis vanhoeffeni*)、孔鳐(*Raja porosa* Günther)及红星梭子蟹 [*Portunus sanguinolentus* (Herbst)] 等。3个区域具体渔业资源生物种类数及主要种类如表2所示。

2.1 渔业资源种类大类组成和资源量变化趋势

所有拖网采样样品按鱼类、节肢类、软体类和棘皮类4大类作了生物量、个体数量和种类数上的统计,以便了解各类别生物组的组成情况。对人工鱼

表2 嵊泗人工鱼礁及自然海域渔业生物资源种类数
Tab. 2 Number of fishery species in Shengsi sea area

类 别 Species		人工鱼礁区 Artificial reef area	鱼礁周边海域 Vicinity area	自然海域 Natural area
鱼类 Fish	种类数 Species number	50	25	40
	主要种类 Main species	小黄鱼 (<i>Larimichthys polyactis</i>), 皮氏叫姑鱼 (<i>Johnius belengerii</i>), 褐菖鲉 (<i>Sebastes marmoratus</i>) 等	龙头鱼 (<i>Harpodon nehereus</i>), 小黄鱼 (<i>Larimichthys polyactis</i>) 等	小黄鱼 (<i>Larimichthys polyactis</i>), 赤鼻棱鳉 (<i>Thrissa kammalensis</i>) 等
	特有种 Endemic species	尖 鳍 鳐 (<i>Raja acutispina lshiyama</i>), 绿 鳍 马 面 鲉 (<i>Navodon septentrionalis</i>), 三 线 矶 鲈 (<i>Parapristipoma trilineatus</i>), 短吻舌鲷 (<i>Cynoglossus abbreviatus</i>) 等	何氏鳐 <i>Raja</i> [(<i>Okamejei</i>) <i>hollandi</i> Jordan et Richardson], 灯笼鱼 (<i>Symbolophorus barnardi</i>)	大 眼 鲷 (<i>Priacanthus macracanthus</i> Cuvier), 半 线 天 竺 鲷 (<i>Apogon semilineatus</i>) 等
节肢类 Arthropod	种类数 Species number	43	27	38
	主要种类 Main species	葛 氏 长 臂 虾 [<i>Palaemon gravieri</i> (Yu)], 日 本 蛄 (<i>Charybdis japonica</i>) 等	日 本 蛄 (<i>Charybdis japonica</i>), 口 虾 姑 (<i>Oratosquilla oratoria</i>) 等	中华管鞭虾 (<i>Solenocera crassicornis</i>), 双斑蛄 (<i>Charybdis bimaculata</i>) 等
	特有种 Endemic species	少 疣 长 方 蟹 (<i>Metaplex takahashii</i> Sakai), 斑节对虾 [<i>Penaeus (Penaeus) monodon</i> Fabricius], 逍 遥 馒 头 蟹 [<i>Calappa philargius</i> (Linnaeus)]	周 氏 新 对 虾 [<i>Metapenaeus joyneri</i> (Miers)], 尖尾细螯虾 (<i>Leptochela gracilis</i>), 武 士 蛄 (<i>Charybdis miles</i> De Haan)	扁 足 异 对 虾 [<i>Atypopenaeus stenodactylus</i> (Stimpson)], 长 眼 对 虾 [<i>Miyadiella podophthalmus</i> (Stimpson)], 红 星 梭 子 蟹 [<i>Portunus sanguinolentus</i> (Herbst)] 等
软体类 Mollusca	种类数 Species number	24	9	24
	主要种类 Main species	细 角 螺 [<i>Hemifusus ternatanus</i> (Gmelin)], 长 蛸 [<i>Octopus variabilis</i> (Sasaki)] 等	脉红螺 [<i>Rapana venosa</i> (Valenciennes)] 等	甲 虫 螺 [<i>Cantharus cecillei</i> (Philippi)], 脉红螺 [<i>Rapana venosa</i> (Valenciennes)] 等
	特有种 Endemic species	蛙 螺 [<i>Bursa (Bursa) bufonia</i> (Gmelin)], 短蛸 (<i>Octopus ocellatus</i> Gray) 等	红螺 [<i>Rapana bezoar</i> (Linnaeus)]	栉 孔 扇 贝 (<i>Chlamys farrei</i>), 香 螺 (<i>Neptunea arthritica cumingii</i> Crosse), 管 角 螺 [<i>Hemifusus tuba</i> (Gmelin)] 等
棘皮类 Echinodermata	种类数 Species number	2	3	3
	主要种类 Main species	马粪海胆 (<i>Hemicentrotus pulcherrimus</i>), 哈氏克肋海胆 (<i>Temnopleurus hardwickii</i>)	罗 氏 海 盘 车 (<i>Protoreaster nodosus</i>), 马 粪 海 胆 (<i>Hemicentrotus pulcherrimus</i>), 哈氏克肋海胆 (<i>Temnopleurus hardwickii</i>)	滩 栖 阳 遂 足 (<i>Amphiura vadicola</i>), 马 粪 海 胆 (<i>Hemicentrotus pulcherrimus</i>), 哈氏克肋海胆 (<i>Temnopleurus hardwickii</i>)
	特有种 Endemic species		罗 氏 海 盘 车 (<i>Protoreaster nodosus</i>)	滩 栖 阳 隧 足 (<i>Amphiura vadicola</i>)
总计 total		119	65	105

礁区域、鱼礁周边海域和自然海域的大类组成分别进行了生物量的统计处理,比例组成结果见图2。

从生物量组成上看,鱼类和节肢类在3大区域中的比重最大。鱼礁区各次调查累积生物量组成上,鱼类占53.3%,节肢类比例为24.4%;历次调查平均生物量组成上,鱼类比例为48.4%,节肢类比例为27.5%。鱼礁周边海域累积生物量组成上,鱼类占47.4%,节肢类

比例为28.6%;历次调查平均生物量组成上,鱼类占44.4%,而节肢类占23.9%。自然海域的总生物量组成鱼类和节肢类分别为47.6%和31.4%,平均生物量组成鱼类和节肢类分别为47.7%和32.7%。从中可以看出,无论是总生物量还是历次调查的平均生物量,各调查海域的渔业资源生物量组成均是鱼类占主要优势,其次按所占比例从大到小依次是节肢类、软体类和棘皮类。

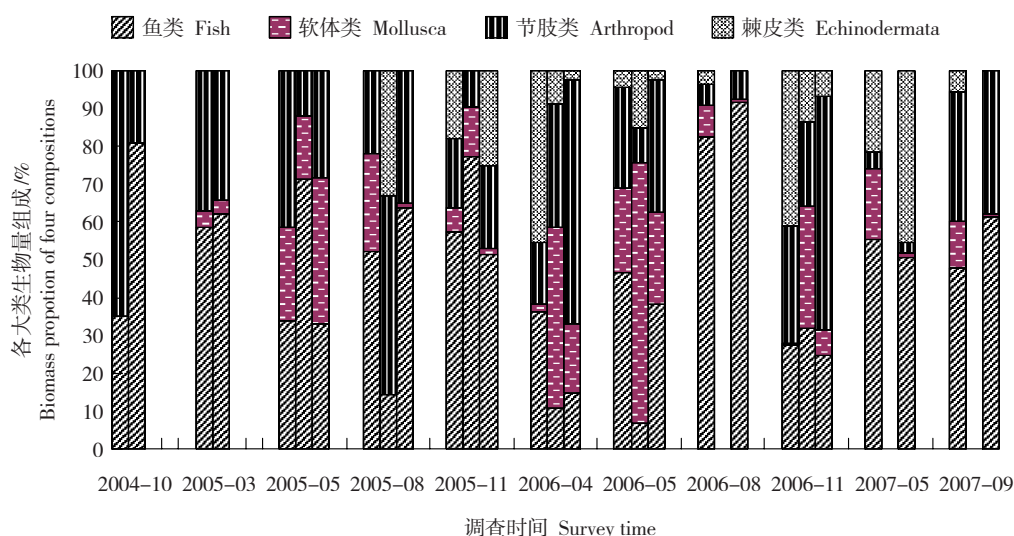


图2 3个海区渔业资源在各大类中的生物量比例
每次调查,从左到右依次为鱼礁区、鱼礁周边海域和自然海区(黄礁区)。
Fig. 2 Biomass proportion of fishery resources in four compositions in three research areas
From left to right are artificial reef area, vicinity area and natural area for each survey (Huangjiao area).

3个海区渔业生物资源量变化趋势如图3所示,从图中可以看出:1)在3个海域同步调查中,人工鱼礁区渔业生物资源量在3个海区最高,最高值出现在2005年11月份,达到16.036 7 kg,而且季节影响比较明显,在夏秋两季资源量较高;2)鱼礁周边海域在调查伊始,渔业资源量8.448 0 kg,为调查期顶峰,之后有所下降;3)自然海域资源量波动较为规律,变动幅度小于鱼礁区,渔业资源量最高为5.596 9 kg,其次在2007年9月份资源量也较高,为4.793 9 kg;4)从资源量变化趋势上来看,鱼礁区与自然海域资源变动规律大致相同,资源量均在2005年11月份最高,2006年8月和2007年9月较高。而鱼礁周边海域资源量变动趋势与其他两海域相反。

2.2 3个海域优势种组成

基于系数 P 值得出各个调查时期的人工鱼礁区域、鱼礁周边海域和自然海域的优势种和次优势种组成,详细结果见附录。

人工鱼礁区域历次调查出现的优势种共有中华管鞭虾(*Solenocera crassicornis*)、葛氏长臂虾[*Palaemon gravieri* (Yu)]、口虾蛄(*Oratosquilla oratoria*)、皮氏叫姑鱼(*Johnius belengerii*)、赤鼻棱鲷(*Thrissa kammalensis*)、小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)、马粪海胆(*Hemicentrotus pulcherrimus*)、细巧仿对虾[*Parapenaeopsis tenella* (Bate)]、银鲳(*Stromateoides argenteus*)、六丝矛尾虾虎鱼(*Amblychaeturichthys hexanema*)、哈氏克肋海胆(*Temnopleurus hardwickii*),

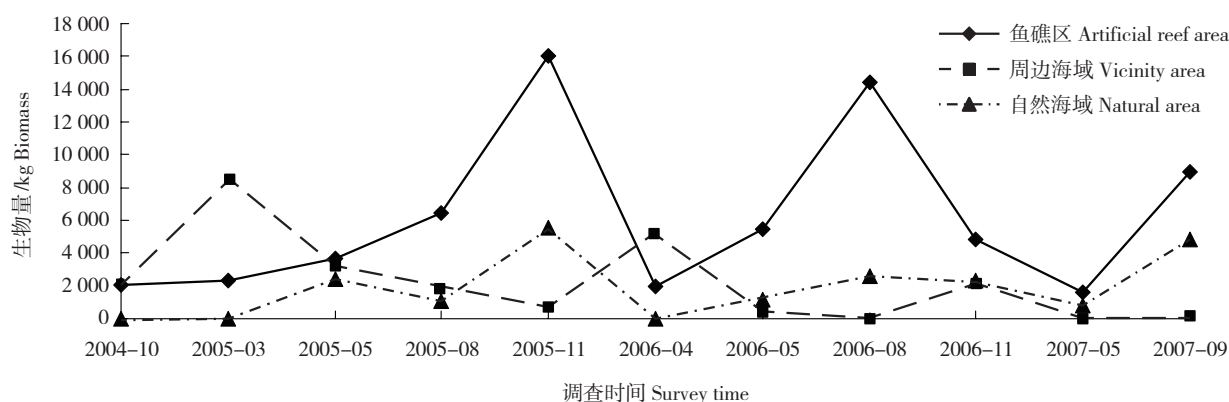


图3 人工鱼礁区、鱼礁周边海域和自然海域渔业资源量变化趋势

Fig. 3 Change trend of fishery resources in artificial reef area, artificial reef vicinity area and natural area

共11种,其中鱼类5种,虾类4种。11次调查中,有5次调查鱼类为主要优势种,有6次调查优势种主要为虾类。

鱼礁周边海域优势种主要有中华管鞭虾、皮氏叫姑鱼、龙头鱼(*Harpodon nehereus*)、三线舌鳎(*Cynoglossus trigrammus* Günther)、葛氏长臂虾、鹰爪虾[*Trachypenaeus curvirostris* (Stimpson)]、小黄鱼、武士螯(*Charybdis miles* De Haan)、中国毛虾(*Acetes chinensis* Hansen)、脉红螺[*Rapana venosa* (Valenciennes)]、海葵(*Actina*)、刀额仿对虾[*Parapenaeopsis cultrirostris* (Alcock)]、马粪海胆,共13种,其中鱼类4种,虾类5种,在8次调查中,仅有2次虾类优势度不明显,其余调查中,在组成上虾类均占很大优势。

自然海域的优势种为赤虾[*Metapenaeopsis barbata* (De Haan)]、双斑螯(*Charybdis bimaculata*)、白姑鱼(*Pennahia argentatus*)、马粪海胆、赤鼻棱鳀、细巧仿对虾、葛氏长臂虾、鲜明鼓虾(*Solenocera melanthero*)、口虾蛄、刺鲷[*Psenopsis anomala* (Temminck et Schlegel)]、小黄鱼、龙头鱼、哈氏克肋海胆、中华管鞭虾,共14种,其中鱼类5种,虾类6种,蟹类1种,棘皮类2种,鱼类和甲壳类交替占据优势。3个海区中,人工鱼礁区的次优势种为22种,周边海区次优势种为13种,自然海域次优势种类出现最多为26种。

2.3 种类丰富度和多样性

为分析人工鱼礁区域、鱼礁周边海域、自然海域

的资源状况和群落结构差异,计算了各次调查3个海区鱼类和大型无脊椎动物的种类丰富度、群落多样性(图4)。

由图4可见,人工鱼礁区域的丰富度相对较高,最高出现在春季,为6.349,高于其余2个区域。投礁前的调查中,人工鱼礁区域丰富度为3.064,鱼礁周边海域为2.637,两者相差不大;投礁后人工鱼礁区域丰富度逐渐增加,最高值达到2005年5月的6.349,其后8月份丰富度也较高,为6.307,之后丰富度有所下降,在2006年4月份出现较低值3.122,但相对于其余2个海区还处于较高水平且稳定。鱼礁周边海域丰富度最高出现在2006年11月,为3.982,远低于鱼礁区最高值(6.349);最低值为2005年8月的2.029,而此时,鱼礁区丰富度处于极高水平。自然海域的丰富度范围为0.131~5.751,最低值和最高值分别出现在2007年5月和2006年11月。

从多样性指数来看,在同步调查中,3个海区多样性最高值出现在人工鱼礁区域,2005年11月份为3.303;最低值出现在2006年5月鱼礁周边海域,为0.961,多样性最高值与最低值出现时间相对于丰富度均要推迟一段时间。鱼礁区多样性范围为1.258~3.303;鱼礁周边海域多样性变动范围为0.961~2.158;自然海域多样性变动范围较其他2个海区要小,大致处于两者中间水平,最低值为1.892,出现在2007年9月份调查,最高值为2006年11月的3.002。

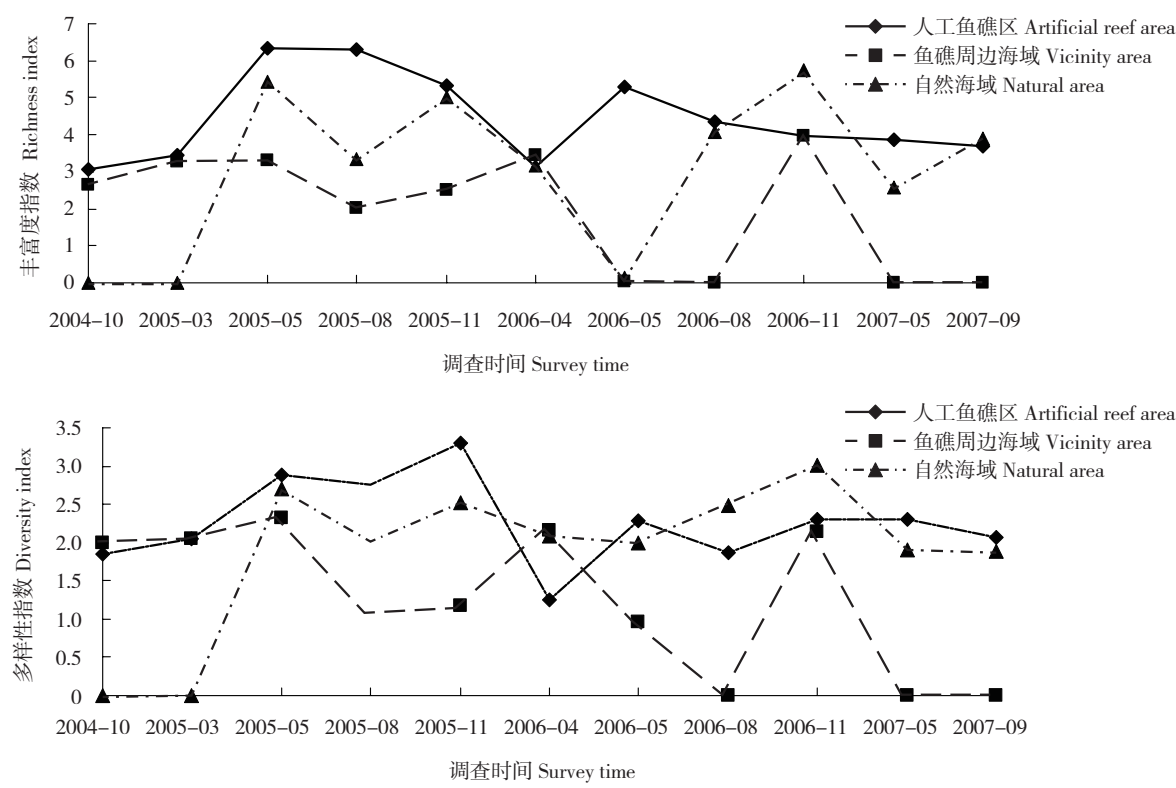


图4 人工鱼礁区域、鱼礁周边海域和自然海域渔业资源的丰富度和多样性

Fig. 4 Variation of richness indices and diversity indices of fishery resources during each survey in three research areas

2.4 3个海域的群落组成相似度

3个海域在种类和丰度上无显著性差异($P>0.05$),说明3个海域的资源在现有调查基础上,种类组成上还有一定的相似性,在此基础上,采用木元新作^[16]定义的相似性指数,包括种类数和丰度,来评价3个海区群落结构的相似情况,图5为各次调查3个海区之间的相似性指数。

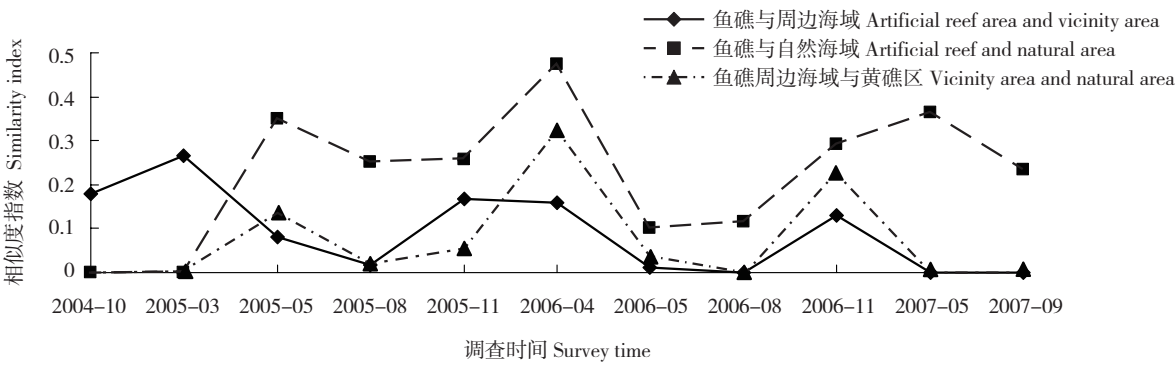


图5 嵊泗人工鱼礁海域3个海区间相似性指数

Fig. 5 Variation of similarity indices between three research areas

从种群相似度指数上来看,3个海域之间,资源组成最为相近的是人工鱼礁区与自然海域,在2006年春季达到最高,为0.474,在其他各次调查中,其相似度也处于最高水平。人工鱼礁与周边海域在投礁

之前,相似度达0.179,在刚投礁时最高为0.266,但是随着时间推移,2个海区相似性不断下降,在2006年5月降至最低0.012,其后有所恢复,上升至0.13,说明此时投放鱼礁引起的影响逐渐稳定,2个海区之间群落结构趋于相似。而鱼礁周边海域与自然海域的相似情况有着很大波动,共产生3个相似度高峰点,分别是2005年5月的0.136、2006年4月的0.325及2006年11月的0.227。

3 讨论

3.1 3个海域资源组成变动情况及影响因素

人工鱼礁投放后,引起鱼礁区和周边海区海域渔业资源结构发生变化,以相距较远的自然海域(黄礁区)作为两者的对照区,自然海域渔业生物资源几大类的变化情况为:鱼类生物量比重在2005年5月到8月由32.9%先上升至63.9%后下降至最低14.8%,其后在2006年8月达到最大值,为91.4%,直至最后所占比例为47.7%;节肢类变动呈交替升降状况,从调查初期至末期,其生物量比重由28.4%变为32.7%,而同期数量百分比则由57.5%变为47.9%,说明节肢类趋向大型化,但从生物量上看,鱼类和节肢类的总体比重呈上升趋势。

人工鱼礁区鱼类与节肢类的变动趋势呈负相关关系,主要是由于摄食压力和礁区蟹笼等作业方式突增引起的。鱼类生物量比重的变化趋势为交替升降,后期的调查中,鱼类生物量比重上升幅度较大;节肢类生物量比重在调查初期一直呈下降趋势,最低降至4.6%,总体上由65.1%下降至34.4%。从鱼类和节肢类变动趋势中可以看出,鱼礁区鱼类逐渐占据优势地位。引起鱼礁区渔业生物群落组成变动的主要原因归结为:1)通过历年来鱼礁区摄食关系研究,发现在鱼类的食物组成里面,鲜明鼓虾、日本岩瓷蟹(*Petrolisthes japonicus*)等节肢类的质量百分比占52.4%,出现频率达40.6%,可以看出,节肢类是鱼类的重要饵料,因此,当鱼礁投放后,由于鱼礁对鱼类的诱集作用,鱼礁区鱼类比重增加,给节肢类造成很大摄食压力。2)从鱼类和节肢类的比重变动曲线看

出,鱼类和节肢类比重呈负相关关系,但相关性不显著($R^2=0.344$)。由此可见,鱼类的增加只能在一定程度上使得节肢类数量下降,还存在其他使得节肢类数量下降的因素,人工鱼礁区域从2005年末至今高密度的蟹笼作业是导致节肢类比重降低的另外一重要原因,它使得节肢类中比重相当大的蟹类数量大为减少,一定程度上使得该区域节肢类比重下降强烈。

鱼礁周边海域的鱼类和节肢类相应于人工鱼礁区域在2004–2007年间却发生了完全相反的变化,渔获资源量由初期的2 106.9 g先增至8 448 g,而后逐步呈下降趋势,伴随着大类组成的变动规律为:鱼类质量百分比从80.9%降至32.0%,而节肢类则由19.1%变化至23.9%,软体类、棘皮类的比重增长幅度较大;同期在优势种变化上,在前期的调查中,鱼类优势度十分明显,皮氏叫姑鱼、小黄鱼、龙头鱼等在几次调查中占据优势,而在后期调查中,虾类、棘皮类等优势度增加,鱼类比例的减少,使得对节肢类和软体类的摄食压力减小。鱼礁周边海域资源结构的变动,尤其是鱼类比重的降低有2种可能:一是鱼类迁移到鱼礁区;另一方面是鱼类迁移至别的区域。排除历年该海域捕捞没有剧烈变化并且无灾害性破坏性自然灾害的情况,从鱼礁区资源量明显增多的情况推断,鱼礁周边海域的部分鱼类聚集至鱼礁区,使得鱼礁周边海域资源群落组成发生较大变化^[1,7]。

调查采样拖网,对鱼礁区Ⅱ型、Ⅲ型^[17]鱼即近礁性鱼类的捕获十分有效,但鉴于拖网的作业方式,很容易忽略靠近鱼礁生活的Ⅰ型鱼类如褐菖鲉等的调查,同期潜水影像显示,在人工鱼礁周围或鱼礁中间,有很多褐菖鲉在其中生活,这可能会降低鱼类在渔业生物资源中的比例,今后调查中,还需依据礁区实际情况增加刺网等调查方式,确保更全面的掌握鱼礁内资源状况。

3.2 优势种类的变动规律

根据所得优势种结果分析,不同季节和鱼礁投放时期,3个海区种群的优势种存在差异并呈现一定规律。鱼礁周边海域在鱼礁投放前和初期,优势种与人工鱼礁区域相同或相似,而在投礁后中期逐

渐开始发生变化,优势种种类差异很大,如在2005年5月、8月、11月的调查中发现,对照区与鱼礁区优势种极为不同,3次调查中没有相同的优势种,而且人工鱼礁区域和鱼礁周边海域的鱼类和节肢类优势种分别在不同时期占优势。但发展到后期,2个区域的优势种类又趋于类似,相同优势种类有马粪海胆、葛氏长臂虾等。由于鱼礁的投放,可为各种不同的鱼类提供索饵、避害、产卵、定位的场所,可以吸引许多鱼类聚集^[18-19],因此,鱼礁周边海域的鱼类部分迁移至人工鱼礁区域,使得鱼礁周边海域内渔业结构发生很大变化,表现为各种类比重分布有所改变。自然海域作为远离鱼礁影响的区域,其优势种组成比较多样化,极少出现单一优势种的情况,而且鱼类和节肢类交替出现,受季节影响较大。在种类组成上,前期调查中,自然海域与鱼礁区有一定差异,但随着时间的推移,在鱼礁投放后期,两者开始出现相同的优势种,同时次优势种也具一定相似之处,这说明,人工鱼礁区域在渡过前期的不稳定状态后,种类组成上逐渐与海域整体状况趋于一致,但在生物量上还保持很大优势。

人工鱼礁区在鱼礁投放后,优势种类逐步由节肢类较多转变为鱼类较多,优势种更加多样化。在人工鱼礁区域早期调查中,优势种种类比较单一,且甲壳类占优势,如前2次调查中,优势种分别为葛氏长臂虾、中华管鞭虾,此时,海域环境还不稳定,整个生态系统处于不成熟阶段^[20]。根据李永刚等^[21]所做的人工鱼礁区能量流动模型结果,在2005年1月到2005年11月,人工鱼礁生态系统处于不稳定不成熟状态(该模型以1年为周期,是生态系统的平均整体状态),而到2005年底,鱼礁已经开始显示出良好的效应,如2005年11月调查,优势种类较多,多样性也相对较高。也有研究显示鱼礁的投放效应不是短期内可以体现的,在投礁近半年后才初步开始显示出其作用^[21]。而到后期,优势种种类逐渐增加,且鱼类逐渐占据优势,小黄鱼、皮氏叫姑鱼等鱼类成为优势种,说明在投礁之后,人工鱼礁区域的鱼类比重增加,种类分布更为均匀,单一种类控制海域的情况逐渐减少。

3.3 人工鱼礁投放后对群落结构特征的影响

鱼礁区丰富度和多样性在3个海区之中最高。嵊泗海域人工鱼礁区以及整个嵊泗海域的渔业生物资源的群落结构特征表明,鱼礁区生物资源群落的平均丰富度为4.438,鱼礁周边海域和自然海域分别为1.932和3.034。而平均多样性指数,鱼礁区为2.464,鱼礁周边海域和自然海域分别为1.627和2.262。可以看出,鱼礁区的丰富度和多样性均高于其余2个海区,自然海域高于鱼礁周边海域。为便于横向比较,选取4个季度3海区同步调查结果相比较,即2005年5月、2005年8月、2005年11月、2006年4月、2006年5月、2006年11月。可以看出,种类平均丰富度人工鱼礁区域为5.066,鱼礁周边海域和自然海域分别为2.559和3.807,人工鱼礁海域种类丰富度处于相当高的水平。平均多样性指数人工鱼礁区域、鱼礁周边海域以及自然海域分别为2.264、1.255和1.871。说明鱼礁区的渔业生物资源种类丰富,特别是鱼礁投放后,资源种类呈上升趋势,充分显示了鱼礁对渔业生物资源的养护和诱集作用。

而从群落相似性上可以看出,鱼礁区资源与自然海域资源有着较高的相似度,尤其是在每年的春季,两者的相似度最高,这可能是由于鱼礁的投放使得鱼礁区生物栖息环境与自然海域趋近一致,如流速以及饵料环境等方面,给渔业资源生物构建了相似的栖息环境,相近的生物栖息地,使得两者的资源结构更加相近。而鱼礁区与周边海域在投礁前和投礁初期相似度较高,而在投礁后,由于鱼礁投放引起环境条件的改变和鱼礁本身对渔业资源的诱集作用,使得2个海区的资源相似度逐渐降低,鱼礁区和周边海区的资源结构出现明显差异。

国内外对鱼礁的集鱼作用已有很多研究,集鱼原理也做了深入探讨,本研究通过鱼礁投放后,对相关海域的调查,探究了鱼礁投放所引起的海域水生生物资源群落结构的变化,为今后鱼礁的生态功能研究提供了一定依据。本研究以鱼礁的理论计算区域作为礁区,其对资源的诱集效果很明显,但从生态影响范围上看,鱼礁周边海域也同时受鱼礁投放的

影响,但具体范围尚未确定。从总体资源量上看,虽然黄礁区未同步作本底调查,不能定量比较3个海区资源量,但从鱼礁区与临近海区调查初期资源量相差不大,而后鱼礁区资源量远高于临近海域的情况来看,鱼礁对渔业资源的吸引作用还是非常明显的,特别是对于鱼类的聚集作用较大。

4 结论

1) 鱼类和节肢类在3个海区均为主要种类组成,在生物量和数量上均占较大比例。在鱼礁区,鱼类和节肢类之间的摄食关系和蟹笼作业是引起大类组成变动最主要因素。

2) 3个海区资源量最高的为鱼礁区,鱼礁区资源初期呈现缓慢上升趋势,达到最大值后呈现明显季节波动,调查后期整体较本底调查时资源量上升。

3) 鱼礁投放后,礁区优势种类更加平均,鱼类占优势几率增加。

4) 鱼礁区丰富度和多样性高于其余2个海区。

5) 3个海区相似度上,鱼礁区和自然海域的相似度最高;其次是鱼礁周边海域和自然海域,鱼礁周边海域受鱼礁影响强烈,与鱼礁区的相似度最低。

参考文献:

- [1] 姜作真,段钰. 建设人工鱼礁,保护和增值海洋渔业资源[J]. 水产科技情报,2006,33(2): 94-96.
- [2] 林军,章守宇. 人工鱼礁物理稳定性及其生态效应的研究进展[J]. 海洋渔业,2006,28(3): 257-262.
- [3] 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.
- [4] 张剑诚,于金海,王吉桥. 人工鱼礁建设现状研究[J]. 水产科学,2004,23(11): 27-30.
- [5] Pielou E C. The use of information theory in the study of ecological succession[J]. J Theory Biol,1966,10: 370-383.
- [6] Moura A, Boaventura D, Cúrdial J. Effect of depth and reef structure on early macrobenthic communities of the Algarve artificial reefs (southern Portugal)[J]. Hydrobiologia,2007,580(1): 173-180.
- [7] 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): 64-69.
- [8] 张虎,刘培延,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.
- [9] 郁尧山,张庆生,陈卫民,等. 浙江北部岛礁周围海域鱼类群落特征值的初步研究[J]. 水产学报,1986,10(3): 305-313.
- [10] 杨咨,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: 85-87.
- [11] 金显仕,邓景耀. 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.
- [12] 费鸿年,何宝全,陈国铭. 南海北部大陆架底栖鱼群聚的多样性以及优势种区域和季节变化[J]. 水产学报,1981(1): 55-61.
- [13] Pinkas L, Oliphant M S, Iverson I L K. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters[J]. Calif Dep Fish Game Fish Bull,1971,152: 1-105.
- [14] Margalef D R. Information theory in ecology[J]. Gen System,1958,3: 36-71.
- [15] Shannon E C, Weaver W. The mathematical theory of communication[M]. Urbana: University of Illinois Press,1948: 125.
- [16] 木元新作. 动物群集研究方法I-多样性种类组成: 生态学研究讲座14[M]. 日本: 共立出版社,1976: 192.
- [17] 普罗塔索夫, B. P. 着. 鱼类的行动[M]. 何大仁、俞文钊译. 第一版. 北京: 科学出版社,1984: 284.
- [18] 刘群,任一平,王艳君. 鱼类种群行为及其与环境变化的关系. 青岛海洋大学学报,2000,30(3): 477-481.
- [19] 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,2007,25(3): 93-102.
- [20] 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.
- [21] 李永刚,汪振华,章守宇. 嵊泗人工鱼礁海区生态系统能量流动模型初探[J]. 海洋渔业,2007,29(3): 226-234.

Analysis on community structure and diversity of fish and macroinvertebrate in Shengsi artificial reef area

ZHAO Jing¹, ZHANG Shouyu^{1,2}, WANG Zhenhua¹, WANG Kai¹

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Marine Ecosystem and Environmental Laboratory, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Based on the fishery data collected in artificial fish reef area, artificial reef vicinity area and natural area of Shengsi sea area from 2004 to 2007, community structure characters of above three areas were analyzed to understand the influences of artificial reef on fishery specific composition, and evaluate ecological effects of artificial reef. The results indicated that numbers of species found in Shengsi sea area and artificial reef area were 150 and 119, respectively. The majority species were fish and arthropod, which held major proportion on biomass and quantity. Eleven seasonal dominant species were found in artificial reef area, and the frequency of fish as the dominant species increased in recent surveys. In synchronous surveys, Margalef index (E) and Shannon-Wiener index (H') of artificial area were higher than those of other two areas. Similarity index between artificial reef area and natural area was the highest, with that between artificial reef vicinity and nature area following, and the index between artificial reef and artificial reef vicinity was the lowest. According to the development of community structure, we conclude that it is favorable for organisms to habitat and assemble in artificial reef area, especially for fishes. [Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(5): 1045–1056]

Key words: artificial reef area; fish, macroinvertebrate; community structure; Shengsi Ssa area

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

附录1表注

注: P 为衡量物种优势程度的1个系数, $P \geq 0.5$ 为优势种, $0.2 \leq P < 0.5$ 则为次优势种. 表内优势种代号如下: 1. 中华管鞭虾; 2. 葛氏长臂虾; 3. 口虾蛄; 4. 皮氏叫姑鱼; 5. 赤鼻棱鳀; 6. 小黄鱼; 7. 马粪海胆; 8. 银鲳; 9. 六丝矛尾虾虎鱼; 10. 哈氏克肋海胆; 11. 细巧仿对虾; 12. 日本蟳; 13. 哈氏仿对虾; 14. 鹰爪虾; 15. 三线舌蟳; 16. 龙头鱼; 17. 孔虾虎鱼; 18. 双斑蟳; 19. 泥脚隆背蟹; 20. 甲虫螺; 21. 半褶织纹螺; 22. 六指马鲛; 23. 长纺锤螺; 24. 中国对虾; 25. 武士蟳; 26. 中国毛虾; 27. 脉红螺; 28. 海葵; 29. 刀额仿对虾; 30. 红狼牙虾虎鱼; 31. 鲩鱼; 32. 鲜明鼓虾; 33. 长蛸; 34. 赤虾; 35. 白姑鱼; 36. 刺鲳; 37. 三疣梭子蟹; 38. 泥脚隆背蟹; 39. 金口嵌线螺; 40. 中华蟹守螺; 41. 细肋蕾螺; 42. 带鱼; 43. 长眼对虾; 44. 褐菖鲉; 45. 日本鳀; 46. 火枪乌贼; 47. 黄短口螺; 48. 焦氏舌鳎; 49. 海鳗; 50. 疣荔枝螺.

Note of appendix 1

Note: P was a index for measuring dominant level which was mentioned in “material and method”, $P \geq 0.5$ means dominant species, $0.2 \leq P < 0.5$ means sencond dominant species. The means of codes as follows: 1 *Solenocera crassicorni*; 2 *Palaemon gravieri* (Yu); 3 *Oratosquilla oratoria*; 4 *Johnius belengerii*; 5 *Thirissa kammalensis*; 6 *Larimichthys polyactis*; 7 *Hemicentrotus pulcherrimus*; 8 *Pampus argenteus*; 9 *Amblychaeturichthys hexanema* (Bleeker); 10 *Temnopleurus hardwickii*; 11 *Parapenaeopsis tenella* (Bate); 12 *Charybdis japonica*; 13 *Parapenaeopsis hardwickii* (Miers); 14 *Trachypenaeus curvirostris*; 15 *Cynoglossus trigrammus* Günther; 16 *Harpodon nehereus*; 17 *Trypauchen vagina* (Bloch et Schneider); 18 *Charybdis bimaculata*; 19 *Carcinoplax vestita*; 20 *Cantharus cecillei* (Philippi); 21 *Nassarius semiplicatus*; 22 *Polydactylus*; 23 *Fusinus longicauda*; 24 *Fenneropenaeus chinensis*; 25 *Charybdis miles*; 26 *Acetes chinensis*; 27 *Rapana venosa* (Valenciennes); 28 *Actiniaria*; 29 *Parapenaeopsis cultrirostris* Alcock; 30 *Odontamblyopus bleeker*; 31 *Müchthys müuy*; 32 *Solenocera melanthero*; 33 *Octopus variabilis* (Sasaki); 34 *Metapenaeopsis dalei* (Rathbum); 35 *Argyrosomus argentatus* (Houttuyn); 36 *Psenopsis anomala* (Temminck et Schlegel); 37 *Portunus triuberbulatus*; 38 *Carcinoplax vestita*; 39 *Cymatium nicobaricum*; 40 *Rhinoclavis sinensis*; 41 *Gemmula*; 42 *Trichiurus haumela*; 43 *Miyadiella podophthalmus* (Stimpson); 44 *Sebastisus marmoratus*; 45 *Engraulis japonius* (Houttuyn); 46 *Loligobeka*; 47 *Brachytoma flavidula*; 48 *Arelicus joyneri* Günther; 49 *cinereus*; 50 *Thais clavigera*

附录1 嵊泗人工鱼礁影响海域及自然海域调查优势种组成
Appendix 1 Dominant species in artificial reef area and vicinity area in Shengsi area

调查时间 Sampling date	调查区域 Sampling area					
	人工鱼礁区 Artificial reef area		鱼礁周边海域 Vicinity area		自然海域 Natural area	
	优势种 (P) Dominant species	次优势种 (P) Secondary Dominant species	优势种 (P) Dominant species	次优势种 (P) Secondary Dominant species	优势种 (P) Dominant species	次优势种 (P) Secondary Dominant species
2004-10	1 (1.00)	11 (0.260); 12 (0.298)	1 (1.00); 4 (0.873); 16 (0.585); 13 (0.980); 2 (0.761); 14 (0.620)	49 (0.441); 9 (0.314); 30 (0.316)		
2005-03	2 (1.00)	9 (0.319); 14 (0.374)	2 (1.00)	9 (0.360); 31 (0.252); 14 (0.461); 12 (0.221); 3 (0.340)		
2005-05	3 (1.00)	15 (0.206); 16 (0.392); 17 (0.275); 18 (0.466); 19 (0.494); 20 (0.318); 21 (0.611)	6 (1.00)	9 (0.218)	34 (1.00)	15 (0.783); 19 (0.522); 3 (0.658); 39 (0.219); 27 (0.226); 40 (0.306); 21 (0.250); 41 (0.445)
2005-08	4 (1.00)	6 (0.636); 15 (0.204); 22 (0.225); 12 (0.298); 18 (0.392); 23 (0.323)	25 (1.00)	10 (0.294)	18 (1.00); 35 (0.731)	42 (0.376); 1 (0.379); 3 (0.295)
2005-11	5 (1.00); 6 (0.682); 7 (0.914)	12 (0.271)	16 (1.00); 26 (0.712)		7 (1.00); 5 (0.894)	6 (0.234); 18 (0.227); 3 (0.427)
2006-04	7 (1.00); 2 (0.518)	6 (0.387)	2 (1.00); 27 (0.614)	11 (0.385); 32 (0.243); 12 (0.283); 7 (0.232)	11 (1.00); 2 (0.591); 32 (0.734); 3 (0.600)	43 (0.279)
2006-05	11 (1.00)	4 (0.191); 24 (0.193)	26 (1.00); 28 (0.569)	7 (0.203)	11 (1.00); 32 (0.559)	33 (0.282); 50 (0.261)
2006-08	6 (1.00)	22 (0.258)			36 (1.00); 6 (0.606); 16 (0.746); 2 (0.681)	45 (0.282); 4 (0.199)
2006-11	7 (1.00)	16 (0.387); 1 (0.198); 2 (0.237); 12 (0.212)	16 (1.00); 29 (0.528); 7 (0.641)	12 (0.253); 33 (0.404)	37 (1.00); 16 (0.697)	6 (0.404); 48 (0.215); 13 (0.343); 2 (0.274); 1 (0.468); 11 (0.398); 18 (0.415); 19 (0.317); 3 (0.493); 7 (0.415); 47 (0.206)
2007-05	8 (1.00); 9 (0.554); 10 (0.569)	31 (0.231); 44 (0.209); 45 (0.314); 6 (0.221); 11 (0.299); 46 (0.418)			10 (1.00)	44 (0.216); 45 (0.407); 8 (0.400)
2007-09	4 (1.00); 3 (0.660)	9 (0.239); 6 (0.291)			1 (1.00); 3 (0.690); 6 (0.790)	

表注见 P1055.

Note is on page 1055.