

doi: 10.3969/j.issn.2095-0780.2013.05.016

## 大亚湾杨梅坑人工鱼礁区渔业资源变动初步研究

陈丕茂, 袁华荣, 贾晓平, 秦传新, 蔡文贵,  
余景, 舒黎明, 黎小国, 周艳波

(中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业部南海渔业资源开发利用重点实验室, 广东省渔业生态环境重点实验室,  
农业部南海渔业资源环境科学观测实验站, 广东广州 510300)

**摘要:** 杨梅坑人工鱼礁区位于大亚湾西北部, 2007年12月25日完成投礁 $9.51 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 礁区面积 $2.75 \text{ km}^2$ 。分别于2007年、2008年和2009年春季, 采用拖网和刺网相结合的方法, 进行了1次建礁前的本底调查和2次建礁后的跟踪调查。结果表明, 礁区2次拖网跟踪调查的游泳生物平均渔获种数分别为建礁前调查的2.13倍和2.50倍, 平均资源密度分别为建礁前调查的3.38倍和8.19倍, 平均尾数资源密度分别为建礁前调查的11.57倍和23.39倍。礁区2次刺网跟踪调查礁区游泳生物平均渔获种数分别为建礁前的2.29倍和3.14倍, 平均渔获率分别为建礁前的5.51倍和9.49倍, 平均尾数渔获率分别为建礁前的11.33倍和10.06倍。渔业资源生物多样性指数呈上升趋势。

**关键词:** 大亚湾; 人工鱼礁; 资源密度; 优势种; 多样性

中图分类号: S 953.1

文献标志码: A

文章编号: 2095-0780-(2013)05-0100-09

## Changes in fishery resources of Yangmeikeng artificial reef area in Daya Bay

CHEN Pimao, YUAN Huarong, JIA Xiaoping, QIN Chuanxin, CAI Wengui,  
YU Jing, SHU Liming, LI Xiaoguo, ZHOU Yanbo

(Key Lab. of South China Sea Fishery Resources Exploitation & Utilization, Ministry of Agriculture; Key Lab. of Fishery Ecology Environment, Guangdong Province; Scientific Observing and Experimental Station of South China Sea Fishery Resources and Environment, Ministry of Agriculture; South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China)

**Abstract:** On December 25, 2007,  $9.51 \times 10^4 \text{ m}^3$  of artificial reef were constructed in Yangmeikeng artificial reef area ( $2.75 \text{ km}^2$ ) which is located in the northwest of Daya Bay. By trial net and gill net, we carried out a background investigation in spring of 2007 and 2 tracking investigations in 2008 and 2009. According to the 2 tracking surveys by trail net, after construction of artificial reef area, all of the average species number (2.13 times and 2.50 times than that of before), average stock density (3.38 times and 8.19 times than that of before) and average tail stock density (11.57 times and 23.39 times than that of before) of nekton increased. According to the 2 tracking surveys by gill net, the average species number (2.29 times and 3.14 times than that of before), average stock density (5.51 times and 9.49 times than that of before) and average tail stock density (11.33 times and 10.06 times than that of before) of nekton increased. The biodiversity index of fishery resources is ascending.

**Key words:** Daya Bay; artificial reef; stock density; dominant species; diversity

收稿日期: 2013-06-19; 修回日期: 2013-07-08

资助项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2006AA100303); 公益性行业(农业)科研专项经费项目(201003068); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(中国水产科学研究院南海水产研究所)资助项目(2007ZD03)

作者简介: 陈丕茂(1970-), 男, 研究员, 从事渔业资源保护与利用研究。E-mail: chenpm@scsfri.ac.cn

多年来,日本、韩国、澳大利亚的国家和地方政府每年投入大量资金用于人工鱼礁的建设;美国建设人工鱼礁取得了明显的资源增殖效果,在加大人工鱼礁建设的同时开发游钓等活动来增加人工鱼礁的经济效益;欧洲沿海国家也兴起了人工鱼礁建设;近年亚洲的其他国家如马来西亚、泰国、菲律宾等也逐渐投入少量资金用于人工鱼礁的建设。中国人工鱼礁建设方兴未艾,主要注重其在资源恢复、养护和海洋生态环境修复方面的作用<sup>[1-2]</sup>。

大亚湾位于南海北部珠江口东侧,是广东沿海中部一个典型的亚热带溺谷型海湾,湾内岛屿众多,岸线曲折,具有优越的自然环境和丰富的生物资源。近年来,由于过度开发、环境污染和气候变化等影响,大亚湾渔业资源衰退严重。人工鱼礁是人为在水域中设置构造物,以改善、修复和优化水生生物栖息环境,为鱼类等水生生物提供索饵、生长发育、繁殖等场所,达到保护、增殖资源和提高渔获质量的目的<sup>[3]</sup>。杨梅坑人工鱼礁区位于大亚湾西南部,从2007年3月20日开始投礁,12月25日正式完成全部工程施工任务,累计投放礁体2202个,礁区面积966 m×2851 m。

文章根据大亚湾杨梅坑人工鱼礁区建礁前1次本底调查和建礁后2次跟踪调查,对人工鱼礁区拖网和刺网渔业资源的变动情况进行初步分析,以期为该人工鱼礁区管理和渔业资源保护利用提供参考依据。

## 1 材料与与方法

### 1.1 调查方法

采用拖网和刺网相结合的渔业资源调查方式,分别于2007年春季(4月23日)、2008年春季(5月7日)和2009年春季(5月6日)对大亚湾杨梅坑人工鱼礁区及其邻近水域进行了建礁前的1次本底调查和建礁后的2次跟踪调查。杨梅坑人工鱼礁区投礁前的2007年春季建礁前调查按《海洋调查规范》(GB 12763-1991)<sup>[4]</sup>、投礁后的2008年春季和2009年春季跟踪调查按《海洋调查规范》(GB 12763-2007)<sup>[5]</sup>中规定的方法进行,《海洋调查规范》GB 12763-1991版和GB 12763-2007版中渔业资源的调查方法并无差异。

大亚湾杨梅坑人工鱼礁区及附近海域各调查站位水深8~15 m,各次调查均租用规格相同的单船底拖网渔船和三重刺网渔船,单船底拖网渔船主要

调查底层和近底层渔业资源种类,三重刺网渔船主要调查中层和中上层渔业资源种类。拖网调查船主机功率135 kW,船长15.59 m,船宽5.60 m,吨位50 t;拖网桁杆长2.5 m、网长4.5 m、网高3.5 m、网身网目40~50 mm、网囊网目25 mm;根据礁区周边海洋环境,按照能基本反映礁区和对照区海域渔业资源状况的原则设定调查站位(图1),标记1、2、3、4、5为对照区站位,标记6、7、8、9、10、11为礁区站位,其中6、7为礁区中心站位,由于建礁后礁区内不能进行拖网,建礁后的2次跟踪调查,礁区海域的渔业资源6、7站位的拖网调查分别改在距礁区边缘约150 m的6'、7'站位进行;各次调查每站拖网0.5 h,平均拖速约2.5 kn。刺网调查渔具为三重刺网,网高1.4 m,网目20 cm~4.8 cm~20 cm;建礁前、后分别在人工鱼礁区及附近海域进行刺网试捕调查;各次调查每站放网600 m,平均放网约3 h。各次拖网和刺网调查,均现场对全部渔获物进行种类分类鉴定和测量记录,数据带回实验室进行分析。

### 1.2 分析方法

拖网调查的渔业资源密度( $D$ )采用扫海面积法<sup>[6]</sup>估算,单位为 $\text{kg}\cdot\text{km}^{-2}$ 或 $\text{尾}\cdot\text{km}^{-2}$ ,计算公式为:

$$D = \frac{C}{qa} \quad (1)$$

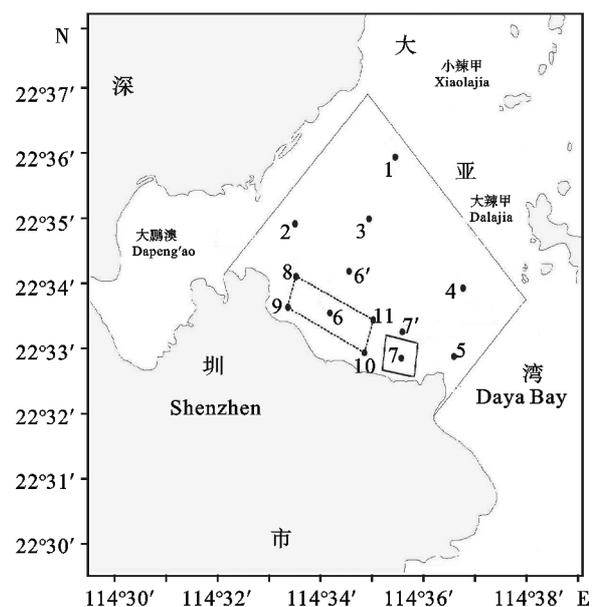


图1 大亚湾杨梅坑人工鱼礁区渔业资源调查站位  
Fig. 1 Investigation stations of fishery resources of Yangmeikeng artificial reef area in Daya Bay

式中  $C$  为平均每小时拖网渔获量,  $a$  为每小时网具取样面积,  $q$  为网具捕获率(取 0.5)。

刺网调查的渔获率( $D'$ )按每小时每公顷刺网面积的渔获量估算,单位为  $\text{kg}\cdot(\text{hm}^2\cdot\text{h})^{-1}$  或尾 $\cdot(\text{hm}^2\cdot\text{h})^{-1}$ , 计算公式为:

$$D' = \frac{C'}{L \times H} \quad (2)$$

式中  $C'$  为平均每小时刺网渔获量,  $L$  为刺网长度,  $H$  为刺网高度。

拖网调查的渔业资源优势种的优势度( $Y$ )<sup>[7]</sup> 估算公式为:

$$Y = \frac{n_i}{N} f_i \quad (3)$$

式中  $n_i$  为第  $i$  种的尾数;  $f_i$  为该种在各站中出现的频率,  $N$  为所有站每个种出现的总数。

拖网调查的渔业资源群落多样性采用 Shannon-Winener 多样性指数( $H'$ )公式<sup>[8]</sup> 分析:

$$H' = \sum_{i=1}^S \log_2 P_i \quad (4)$$

式中  $S$  为各站渔获的种类总数,  $P_i$  为第  $i$  种的个体数与总个体数的比值。

## 2 结果

### 2.1 渔业资源种类组成变动

2008 年春季和 2009 年春季拖网跟踪调查, 礁区游泳生物各站平均渔获种数分别为 25.5 种和 30 种, 均高于 2007 年春季建礁前调查的 12 种, 分别为建礁前调查的 2.13 倍和 2.50 倍(表 1), 鱼类、虾类、蟹类、虾蛄类和头足类的出现种数均高于建礁前调查; 礁区游泳生物各站平均渔获种数均高于同期调查的对照区, 分别为其的 1.02 倍和 1.18 倍。

表明随着时间的推移, 礁区游泳生物出现种数呈上升趋势, 人工鱼礁建设后对游泳生物产生了明显的种类聚集效果。

2008 年春季和 2009 年春季刺网跟踪调查结果表明, 礁区游泳生物渔获种数分别为 16 种和 22 种, 均高于 2007 年春季建礁前调查的 7 种, 分别为建礁前调查的 2.29 倍和 3.14 倍(表 2), 礁区刺网调查游泳生物渔获种数是同期调查对照区的 1.78 倍和 1.05 倍。投礁后随着时间的推移, 礁区游泳生物出现种数升高趋势明显, 投礁使游泳生物种类产生了明显的聚集。

### 2.2 渔业资源生物量变动

2008 年春季和 2009 年春季拖网跟踪调查结果表明, 礁区游泳生物各站平均资源密度分别为  $1\,569.763 \text{ kg}\cdot\text{km}^{-2}$  和  $3\,801.972 \text{ kg}\cdot\text{km}^{-2}$ , 均高于 2007 年春季建礁前调查的  $464.264 \text{ kg}\cdot\text{km}^{-2}$ , 分别为建礁前调查的 3.38 倍和 8.19 倍(表 3), 鱼类、虾类、蟹类、虾蛄类和头足类的平均资源密度均高于建礁前调查; 礁区游泳生物各站平均资源密度均高于同期调查的对照区, 分别为同期调查对照区的 2.46 倍和 1.68 倍。投礁后随着时间的推移, 礁区游泳生物资源密度呈明显上升趋势, 人工鱼礁建设后游泳生物的生物量增加明显。

2008 年春季和 2009 年春季拖网跟踪调查结果表明, 礁区游泳生物各站平均尾数资源密度分别为  $231\,204.5 \text{ 尾}\cdot\text{km}^{-2}$  和  $467\,439.2 \text{ 尾}\cdot\text{km}^{-2}$ , 均高于建礁前调查的  $19\,988.2 \text{ 尾}\cdot\text{km}^{-2}$ , 分别为建礁前调查的 11.57 倍和 23.39 倍(表 4), 鱼类、虾类、蟹类、虾蛄类和头足类的平均尾数资源密度均高于建礁前调查; 2 次跟踪调查礁区游泳生物各站平均尾

表 1 大亚湾杨梅坑人工鱼礁区与对照区各年春季拖网调查平均渔获种数比较

Tab. 1 Comparison of species number surveyed by trial net in Yangmeiken artificial reef area with control area in Daya Bay in spring

年份 year	区域 area	总渔获/种 total catch	鱼类/种 fish	虾类/种 shrimp	蟹类/种 crab	虾蛄类/种 squilla	头足类/种 cephalopod
2007	礁区	12.0	9.0	0	2.0	1.0	0
	对照区	15.9	6.1	1.9	5.3	1.9	0.7
2008	礁区	25.5	10.5	5.5	5.5	2.5	1.5
	对照区	25.5	9.3	5.3	6.2	2.7	1.5
2009	礁区	30.0	14.0	3.0	8.5	3.5	1.0
	对照区	25.3	12.2	2.7	7.0	2.5	1.0

表 2 大亚湾杨梅坑人工鱼礁区与对照区各年春季刺网调查平均渔获种数比较

Tab. 2 Comparison of species number surveyed by gill net in Yangmeikeng artificial reef area with control area in Daya Bay in spring

年份 year	区域 area	总渔获/种 total catch	鱼类/种 fish	虾类/种 shrimp	蟹类/种 crab	虾蛄类/种 squilla	头足类/种 cephalopod
2007	礁区	7	6	0	1	0	0
	对照区	4	2	1	0	1	0
2008	礁区	16	14	0	2	0	0
	对照区	9	8	0	0	0	1
2009	礁区	22	15	2	2	3	0
	对照区	21	18	0	3	0	0

表 3 大亚湾杨梅坑人工鱼礁区与对照区各年春季拖网调查平均资源密度比较

Tab. 3 Comparison of average stock density surveyed by trial net in Yangmeikeng artificial reef area with control area in Daya Bay in spring

年份 year	区域 area	总渔获 total catch	鱼类 fish	虾类 shrimp	蟹类 crab	虾蛄类 squilla	头足类 cephalopod
2007	礁区	464.264	380.101	10.843	30.713	36.128	6.480
	对照区	294.943	102.609	21.701	85.256	73.060	12.317
2008	礁区	1569.763	934.198	117.453	262.060	240.256	15.797
	对照区	637.552	157.304	74.667	254.196	140.912	10.473
2009	礁区	3801.972	1413.497	163.415	1799.980	414.714	10.367
	对照区	2265.249	692.523	120.084	826.672	578.200	47.771

表 4 大亚湾杨梅坑人工鱼礁区与对照区各年春季拖网调查平均尾数资源密度比较

Tab. 4 Comparison of average tail stock density surveyed by trial net in Yangmeikeng artificial reef area with control area in Daya Bay in spring

年份 year	区域 area	总渔获 total catch	鱼类 fish	虾类 shrimp	蟹类 crab	虾蛄类 squilla	头足类 cephalopod
2007	礁区	199988.2	11466.8	2591.8	2945.3	2552.5	432.0
	对照区	27711.3	7971.4	6030.9	7715.6	5529.4	464.1
2008	礁区	231204.5	80633.7	53481.5	74874.1	16867.3	5348.2
	对照区	157457.7	16547.8	58406.1	64205.3	15872.5	2426.1
2009	礁区	467439.2	117414.6	64941.0	245768.3	38624.3	691.1
	对照区	259801.8	64266.3	35893.9	107658.5	49358.9	2624.1

数资源密度分别为同期调查对照区的 1.47 倍和 1.80 倍, 均高于同期调查的对照区。随着时间的推移, 礁区游泳生物尾数资源密度呈明显上升趋势, 人工鱼礁建设后游泳生物的资源尾数增加明显。

2008 年春季和 2009 年春季拖网跟踪调查, 礁

区底栖贝类各站平均渔获种数均低于 2007 年春季建礁前调查(表 5), 分别为建礁前调查的 0.88 倍和 0.38 倍, 表明投礁后 1~2 年内, 随着时间的推移, 礁区底栖贝类种数呈现下降趋势。

2008 年春季和 2009 年春季刺网跟踪调查, 2008 年对比区渔获 1 种贝类, 可能是随水流流经

刺网被留下。

2008年春季和2009年春季拖网跟踪调查,礁区底栖贝类各站平均资源密度分别为223.058 kg·km<sup>-2</sup>和111.540 kg·km<sup>-2</sup>,均高于建礁前调查的18.731 kg·km<sup>-2</sup>(表5),分别为建礁前调查的11.91倍和5.95倍,均明显高于同为春季调查的建礁前调查,投礁后贝类生物量增加明显;礁区底栖贝类各站平均尾数资源密度分别为52 247.4尾·km<sup>-2</sup>和8187.4尾·km<sup>-2</sup>,均高于建礁前调查的7 225.7尾·km<sup>-2</sup>,分别为建礁前调查的7.23倍和1.13倍(表5),均明显比同为春季调查的建礁前调查时高,投礁后贝类资源尾数增加明显。

建礁后礁区底栖贝类渔获种数呈下降趋势,贝类生物多样性降低,但生物量资源密度和个体数资源密度则呈上升趋势(表6)。2008年春季跟踪调

查结果表明,消失的底栖贝类为大轮螺(*Architectonica maxima*),增加的游泳生物种类主要有伪装关公蟹(*Dorippe facchino*)、长叉口虾蛄(*Miyakea nepa*)、日本蛄(*Charybdis japonica*)等;2009年春季跟踪调查结果表明,消失的底栖贝类为梨形红螺(*Rapana rapiformis*)、四角细带螺(*Fasciola riatrapezium*)、假奈拟塔螺(*Turricula nelliae spurius*)、白龙骨乐飞螺(*Lophiotoma leucotropis*),增加的游泳生物种类主要有二长棘鲷(*Parargyrops edita*)、变态蛄(*Charybdis variegata*)、长蛇鲷(*Saurida elongata*)等(表6)。新增的游泳生物种类中,大部分主要以底栖贝类、鱼类和甲壳类为食<sup>[9]</sup>。此外,短吻鲷等种群数量较大、繁殖基础较好种类在人工鱼礁所营造的生境下大量增殖,使作为其食物来源之一的底栖贝类大量减少。

表5 大亚湾杨梅坑人工鱼礁区与对照区贝类各年春季调查资源变动

Tab. 5 Changes of shellfish resources in Yangmeikeng artificial reef area and control area in Daya Bay in spring

年份 year	区域 area	种类/种 species		资源密度 /kg·km <sup>-2</sup> stock density	资源尾数密度 /尾·km <sup>-2</sup> tail stock density
		拖网 trial net	刺网 gill net		
2007	礁区	8.0	0	18.731	7 225.7
	对照区	3.7	0	49.936	228 833.3
2008	礁区	7.0	0	223.058	52 247.4
	对照区	5.5	1	85.883	39 865.2
2009	礁区	3.0	0	111.540	8 187.4
	对照区	3.0	0	313.116	1 057 003.1

表6 大亚湾杨梅坑人工鱼礁区与对照区投礁后各年春季拖网调查主要新增种类及资源密度

Tab. 6 Number and biomass density of new species surveyed by trail net in Yangmeikeng artificial reef area and control area in Daya Bay in spring

年份 year	区域 area	新增种类 (kg·km <sup>-2</sup> ) new species
2008	礁区	伪装关公蟹(162.913)、长叉口虾蛄(111.489)、日本蛄(80.223)、刀额新对虾(66.235)、黄斑蓝子鱼(52.659)、中华海鲷(39.906)、细巧仿对虾(28.386)、六指马鲛(27.152)、褐菖鲉(21.393)、峨眉条鲷(19.747)、杜氏枪乌贼(13.823)、勒氏短须石首鱼(13.576)
	对照区	三疣梭子蟹(28.881)、鲷(17.905)、六指马鲛(14.159)、远海梭子蟹(14.159)、银牙鱼或(9.397)、多鳞鳢(8.591)、杜氏枪乌贼(6.708)、宽条天竺鱼(6.638)、斑鲷(5.981)、龙头鱼(5.472)
2009	礁区	二长棘鲷(637.980)、变态蛄(215.903)、长蛇鲷(154.710)、长叉口虾蛄(108.536)、美人蛄(98.940)、贪食鼓虾(73.926)、竹荚鱼(69.115)、远海梭子蟹(67.786)、刀额新对虾(59.811)、疣面关公蟹(59.651)
	对照区	须赤虾(74.387)、三疣梭子蟹(68.017)、刺鲷(53.261)、美人蛄(50.448)、长蛇鲷(45.517)、竹荚鱼(27.561)、六指马鲛(26.677)、图式后乌贼(12.818)、日本蛄(11.599)、红狼牙鰕虎鱼(11.199)

2008年春季和2009年春季刺网跟踪调查结果表明, 礁区游泳生物各站平均渔获率分别为 $10.368 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{h})^{-1}$ 和 $17.838 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{h})^{-1}$ , 均高于建礁前调查的 $1.880 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{h})^{-1}$ , 分别为建礁前调查的5.51倍和9.49倍(表7), 鱼类、虾类、蟹类和虾蛄类的平均渔获率均高于建礁前调查; 2次跟踪调查礁区游泳生物各站平均渔获率分别为同期调查对照区的1.41倍和1.98倍, 均高于同期调查的对照区。随着时间的推移, 礁区游泳生物渔获率升高趋势明显, 人工鱼礁建设后游泳生物的渔获率增加明显。

根据2008年春季和2009年春季刺网跟踪调查结果, 礁区游泳生物各站平均尾数渔获率分别为 $496.3 \text{ 尾} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{h})^{-1}$ 和 $440.6 \text{ 尾} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{h})^{-1}$ , 均高于建礁前调查的 $43.8 \text{ 尾} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{h})^{-1}$ , 分别为建礁前调查的11.33倍和10.06倍(表8), 鱼类、虾类、蟹类和虾蛄类的尾数渔获率均高于建礁前调查; 2次跟踪调查礁区游泳生物各站尾数渔获率分别为同期调查对照区的1.33倍和1.68倍, 均高于同期调查的对照区。随着时间的推移, 礁区游泳生物尾数渔获率升高趋势明显, 人工鱼礁建设后游泳生物的尾数渔获率增加明显。

表7 大亚湾杨梅坑人工鱼礁区与对照区各年春季刺网调查平均渔获率比较

Tab. 7 Comparison of average catch rate surveyed by gill net in Yangmeikeng artificial

年份 year	区域 area	reef area with control area in Daya Bay in spring					$\text{kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{h})^{-1}$	
		总渔获 total catch	鱼类 fish	虾类 shrimp	蟹类 crab	虾蛄类 squilla	头足类 cephalopod	
2007	礁区	1.880	1.515	0	0.365	0	0	
	对照区	0.588	0.242	0.060	0	0.286	0	
2008	礁区	10.368	9.928	0	0.440	0	0	
	对照区	7.333	7.146	0	0	0	0.187	
2009	礁区	17.838	12.314	0.254	2.917	2.353	0	
	对照区	8.987	8.543	0	0.444	0	0	

表8 大亚湾杨梅坑人工鱼礁区与对照区各年春季刺网调查尾数渔获率比较

Tab. 8 Comparison of tail catch rate surveyed by gill net in Yangmeikeng artificial

年份 year	区域 area	reef area with control area in Daya Bay in spring					$\text{尾} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{h})^{-1}$	
		总渔获 total catch	鱼类 fish	虾类 shrimp	蟹类 crab	虾蛄类 squilla	头足类 cephalopod	
2007	礁区	43.8	39.8	0	4.0	0	0	
	对照区	43.7	15.9	4.0	0	23.8	0	
2008	礁区	496.3	488.3	0	8.0	0	0	
	对照区	372.9	368.9	0	0	0	4.0	
2009	礁区	440.6	325.5	11.9	31.8	71.4	0	
	对照区	262.1	246.2	0	15.9	0	0	

### 2.3 渔业资源优势种与经济种变动

2007年建礁前春季拖网调查发现, 礁区优势种为鱼类, 以黑鲷(*Sparus macrocephalus*)、镶点石斑鱼(*Epinephelus amblycephalus*)、白姑鱼(*Argyrosomus argentatus*)、口虾蛄(*Oratosquilla oratoria*)、日本金线鱼(*Nemipteras japonicus*)等优质经济种为主,

资源密度合计为 $429.765 \text{ kg} \cdot \text{km}^{-2}$ (表9); 对照区优势种为甲壳类, 以口虾蛄、二长棘鲷、晶莹蚌(*Charybdis lucifera*)、刀额新对虾(*Metapenaeus ensis*)等优质经济种为主, 资源密度为 $88.143 \text{ kg} \cdot \text{km}^{-2}$ 。

2008年春季拖网跟踪调查发现, 礁区优势种

仍为鱼类,以黑鲷、口虾蛄、长叉口虾蛄、刀额新对虾、黄斑蓝子鱼(*Siganus oramin*)、中华海鲗(*Arius sinensis*)等优质经济种为主,资源密度为 $673.046 \text{ kg}\cdot\text{km}^{-2}$ (表9);而对照区优势种为甲壳类,以口虾蛄、长叉口虾蛄、刀额新对虾、白姑鱼、红星梭子蟹(*Portunus sanguinolentus*)、锈斑蜆(*Charybdis feriatus*)、三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)为主,资源密度为 $272.763 \text{ kg}\cdot\text{km}^{-2}$ 。

2009年春季拖网跟踪调查发现,礁区优势种为鱼类和甲壳类,以二长棘鲷、豆形拳蟹(*Philyra pisum*)、口虾蛄、长蛇鲷、长叉口虾蛄、李氏鱼衔(*Callionymus richardsoni*)等优质经济种为

主,资源密度为 $1462.304 \text{ kg}\cdot\text{km}^{-2}$ ;对照区优势种也是鱼类和甲壳类,以二长棘鲷、长叉口虾蛄、断脊口虾蛄(*Oratosquilla interrupta*)、口虾蛄为主,资源密度为 $867.159 \text{ kg}\cdot\text{km}^{-2}$ 。根据2008年春季和2009年春季拖网跟踪调查,游泳生物优势种中的优质经济鱼类种数分别为对照区的3.00倍和3.00倍,均明显高于对照区;礁区的资源密度分别为对照区的15.58倍和3.01倍。

#### 2.4 渔业资源生物多样性变动

2008年春季和2009年春季拖网跟踪调查发现,礁区渔业资源生物的平均多样性指数均高于建礁前,多样性指数上升趋势明显(表10),且均高于对照区同期调查结果。

表9 大亚湾杨梅坑人工鱼礁区与对照区各年春季拖网调查优势种前10种的资源密度及优势度

Tab. 9 Biomass density and dominance of top 10 dominant species surveyed by trail net in Yangmeikeng artificial reef area and control area in Daya Bay in spring

年份 year	区域 area	优势种( $\text{kg}\cdot\text{km}^{-2}$ ; 优势度) dominant species advantage index
2007	礁区	黑鲷(283.526; 0.060)、月腹刺鲀(73.041; 0.015)、镶点石斑鱼(69.900; 0.015)、白姑鱼(66.758; 0.182)、紫隆背蟹(19.635; 0.015)、隆线强蟹(14.922; 0.030)、短吻鲷(13.116; 0.060)、口虾蛄(4.869; 0.030)、日本金线鱼(4.712; 0.015)、拟矛尾鰕虎鱼(2.592; 0.030)
	对照区	口虾蛄(55.787; 0.097)、隆线强蟹(28.350; 0.036)、二长棘鲷(12.212; 0.037)、短吻鲷(16.816; 0.030)、贪食鼓虾(13.224; 0.064)、伪装关公蟹(9.736; 0.013)、晶莹蜆(16.654; 0.004)、拟矛尾鰕虎鱼(8.278; 0.023)、变态蜆(5.564; 0.043)、刀额新对虾(3.490; 0.001)
2008	礁区	短吻鲷(433.611; 0.059)、伪装关公蟹(162.913; 0.077)、黑鲷(277.692; 0.001)、口虾蛄(125.065; 0.012)、长叉口虾蛄(111.489; 0.007)、日本蜆(80.223; 0.005)、刀额新对虾(66.235; 0.006)、黄斑蓝子鱼(52.659; 0.020)、细巧仿对虾(28.386; 0.053)、中华海鲗(39.906; 0.0004)
	对照区	伪装关公蟹(122.579; 0.346)、口虾蛄(78.648; 0.043)、长叉口虾蛄(50.384; 0.030)、细巧仿对虾(27.381; 0.308)、刀额新对虾(25.896; 0.013)、白姑鱼(23.770; 0.014)、红星梭子蟹(29.663; 0.005)、锈斑蜆(35.557; 0.002)、三疣梭子蟹(28.881; 0.0007)、宽突赤虾(9.717; 0.011)
2009	礁区	二长棘鲷(637.980; 0.127)、隆线强蟹(475.773; 0.130)、伪装关公蟹(325.849; 0.065)、豆形拳蟹(277.362; 0.015)、直额蜆(248.812; 0.110)、变态蜆(215.903; 0.119)、口虾蛄(182.968; 0.035)、长蛇鲷(154.710; 0.007)、长叉口虾蛄(108.536; 0.017)、李氏鱼衔(100.748; 0.021)
	对照区	二长棘鲷(297.059; 0.116)、隆线强蟹(238.110; 0.067)、长叉口虾蛄(253.064; 0.027)、断脊口虾蛄(151.229; 0.099)、变态蜆(144.144; 0.147)、口虾蛄(165.807; 0.024)、伪装关公蟹(107.113; 0.055)、短吻鲷(80.753; 0.033)、须赤虾(74.387; 0.069)、直额蜆(67.732; 0.029)

表10 大亚湾杨梅坑人工鱼礁区与对照区各年春季拖网调查渔业资源平均生物多样性指数

Tab. 10 Average Shannon-Winener diversity index of fishery resources surveyed by trail net in Yangmeikeng artificial reef area and control area in Daya Bay in spring

年份 year	礁区平均 average value of reel area	对照区平均 average value of control area
2007	3.22	3.50
2008	3.71	2.72
2009	3.91	3.71

### 3 讨论

投放人工鱼礁对海洋生物具有良好的诱集作用, 养护和增殖渔业资源的效果明显, 产生的生态经济效益可观<sup>[6,10-19]</sup>; 对大亚湾杨梅坑人工鱼礁区建礁前、后渔业资源的调查也得到了相似的结果。建礁后礁区和对照区春季游泳生物渔获种数及资源密度增加, 礁区和对照区春季优质经济种数和资源密度呈逐渐增加的趋势且均明显大于建礁前, 表明人工鱼礁不仅有区内效应, 还有区外辐射效应, 礁区增幅大于对照区, 这可能是由于对照区的捕捞压力以及礁区对周边海域中游泳生物的诱集作用, 此与刘舜斌等<sup>[18]</sup>、袁华荣等<sup>[19]</sup>的观点相似; 人工鱼礁投放后产生的栖息空间和阴影效应提供了很好的生存栖息环境以及避难场所, 饵料效应可以提供良好的索饵场, 此外, 人工鱼礁投放产生的诸多效应( 音响效应、流场效应等) 均在不同程度上对渔业资源生物产生吸引作用, 致使礁区海域生物量增加<sup>[17]</sup>。随着时间的推移, 礁区渔获游泳生物种数及资源密度呈上升趋势, 人工鱼礁的渔业资源增殖效果与人工鱼礁在海域中存在的时间呈正相关。

人工鱼礁的资源增殖作用范围较广, 王宏等<sup>[20]</sup>选择在距离礁区 3.70 km 处作为投礁后礁区的调查站位, 距礁区边 200 m 的范围为人工鱼礁的主要有效范围圈<sup>[21]</sup>, 笔者研究将投礁后礁区调查站位选择在礁区边缘距离礁区边约 150 m, 基本能代表礁区内的渔业资源状况。采用拖网和刺网相结合的调查方式能尽量覆盖各水层, 调查结果可体现礁区的渔业资源真实状况。基于拖网调查和刺网调查 2 种方式, 对渔业资源变动进行评估, 其结果比较接近, 表明 2 种网具结合使用进行礁区渔业资源调查具有可行性。为了更全面地反映人工鱼礁的效果, 将来应结合声学调查等方式进行研究。

大多数学者采用生物多样性指数研究人工鱼礁海域生物群落结构<sup>[15-16]</sup>, 认为建礁后渔业资源丰富度、生物群落结构多样性会随着时间逐渐增加<sup>[19]</sup>。笔者调查结果表明, 建礁后礁区的游泳生物平均多样性指数上升趋势明显, 均高于同期调查的对照区, 表明建礁后渔业资源多样性和丰富度明显增加, 从生物多样性角度体现了大亚湾杨梅坑人工鱼礁建设后已经促进了渔业资源的增殖和渔业资源结构的改善。

在渔业资源增殖和渔业资源结构改善、贝类总资源密度增加明显的同时, 礁区部分贝类在建礁后消失。根据贾晓平等<sup>[9]</sup>和此次调查的结果, 笔者认为人工鱼礁建设后主要以底栖贝类为饵料的游泳生物种类, 如短吻鲷、黑鲷、二长棘鲷等大量聚集, 造成个别底栖贝类被大量摄食乃至消失; 根据陈应华<sup>[22]</sup>、周艳波等<sup>[17]</sup>、贾晓平等<sup>[23]</sup>关于人工鱼礁生态效应的研究报道, 人工鱼礁区良好的流场效应导致礁区浮游生物大量滋生, 人工鱼礁区表、底层水体的生产力水平会有所提高<sup>[22]</sup>, 从而能带动区域内生物群落结构的改善; 人工鱼礁的投放产生的上升流将海底的营养盐带到光照充足的上层, 促进了浮游生物的繁殖, 有利于增加水体的溶解氧。礁体上大量附着生物附着生长, 提高了域的初级生产力和次级生产力, 从而形成食物链和能量链的良性循环, 因此, 其他种群数量较大、繁殖基础较好的底栖贝类种群在部分成体和幼体被摄食后仍能大量繁殖。

人工鱼礁投放后礁区海域的物理环境改变引起海域的化学、生物过程的变化, 共同作用形成人工鱼礁的增殖效果<sup>[24]</sup>。人工鱼礁的增殖效果受到礁区水深、底质、流场、生物状况和礁体设计、礁区布局、投放规模、投放时间以及力度等因素的影响<sup>[6]</sup>, 礁区生物群落结构的演变是一个长时间的过程, 日后需要加强跟踪调查来进一步探讨投放人工鱼礁对生物群落结构的影响<sup>[17]</sup>, 笔者研究结果已初步体现了大亚湾杨梅坑人工鱼礁区渔业资源增殖效果和生态经济效益。

#### 参考文献:

- [1] 陈心, 冯全英, 邓中日. 人工鱼礁建设现状及发展对策研究[J]. 海南大学学报: 自然科学版, 2006, 24(1): 83-89.
- [2] 刘同渝. 国内外人工鱼礁建设状况[J]. 渔业现代化, 2003(2): 36-37.
- [3] 于广成, 张杰东, 王波. 中国人工鱼礁开发建设的现状与前景[J]. 渔业现代化, 2005(6): 6-7.
- [4] 国家质量技术监督局. GB 2763-1991, 海洋调查规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 1991.
- [5] 国家质量技术监督局. GB 2763-2007, 海洋调查规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [6] 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.
- [7] 沈国英, 施并章. 海洋生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 159.
- [8] WILSON J P, SJEAVES M. Short-term temporal variations in taxo-

- onomic composition and trophic structure of a tropical estuarine fish assemblage[J]. *Mar Biol*, 2001, 139(4): 787-796.
- [9] 贾晓平, 李纯厚, 林昭进, 等. 北部湾渔业生态环境与渔业资源[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 128-169.
- [10] 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.
- [11] ROOKER J R, DOKKEN Q R, PATTENGILL C V. Fish assemblages on artificial and natural reefs in the Flower Garden Banks National Marine Sanctuary, USA[J]. *Coral Reefs*, 1997, 16: 83-92.
- [12] 陈勇, 于长青, 张国胜, 等. 人工鱼礁的环境功能及集鱼效果[J]. *大连水产学院学报*, 2002, 17(1): 64-69.
- [13] 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.
- [14] 张虎, 朱孔文, 汤建华. 海洲湾人工鱼礁资源养护效果初探[J]. *海洋渔业*, 2005, 27(1): 38-43.
- [15] 雷安平, 陈欢, 陈菊芳, 等. 大亚湾人工鱼礁区浮游植物的种类组成和生物量研究[J]. *海洋技术*, 2009, 28(4): 83-88.
- [16] SANTOS M N, MONTEIRO C C. The Olhao artificial reef system (south Portugal): fish assemblages and fishing yield[J]. *Fish Res*, 1997, 30: 33-41.
- [17] 周艳波, 蔡文贵, 陈海刚, 等. 人工鱼礁生态诱集技术的机理及研究进展[J]. *海洋渔业*, 2010, 32(2): 225-230.
- [18] 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.
- [19] 袁华荣, 陈丕茂, 李辉权, 等. 雷州乌石人工鱼礁渔业资源增殖效果初步评价[J]. *上海海洋大学学报*, 2011, 20(6): 883-889.
- [20] 王宏, 陈丕茂, 章守宇, 等. 人工鱼礁对渔业资源增殖的影响[J]. *广东农业科学*, 2009(8): 18-21.
- [21] 刘同渝, 吕晓明. 关于人工鱼礁的有效范围[J]. *国外水产*, 1985(3): 36-37.
- [22] 陈应华. 大亚湾大辣甲南人工鱼礁区的生态效应分析[D]. 广州: 暨南大学, 2009: 52-60.
- [23] 贾晓平, 陈丕茂, 唐振朝, 等. 人工鱼礁关键技术研究 with 示范[M]. 北京: 海洋出版社, 2011: 156-160.
- [24] 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.