

大亚湾杨梅坑人工鱼礁水域生物资源量声学评估

李娜娜^{1,2}, 陈国宝^{1,3,4}, 于杰^{1,3,4}, 李永振^{1,3,4*},
汤勇², 陈丕茂^{1,3,4}, 贾晓平^{1,3,4}

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东 广州 510300;

2. 大连海洋大学海洋工程学院, 辽宁 大连 116023;

3. 农业部南海渔业资源环境重点野外科学观测试验站, 广东 广州 510300;

4. 广东省渔业生态环境重点开放实验室, 广东 广州 510300)

摘要: 杨梅坑人工鱼礁区位于深圳市东部大亚湾海域, 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, 建礁体积9.51万 km^3 , 礁区面积 $966\text{ m} \times 2\ 851\text{ m}$ 。从2007年4月到2009年5月, 使用科学鱼探仪(EY60型, 120 kHz, Simrad)先后在不同季节对大亚湾杨梅坑生态调控区的礁区内和礁区外水域进行了6次声学调查, 共获取有效声学航程122.54 n mile, 以了解建礁后该水域生物分布和资源量密度变化情况。调查中设站点进行生物学拖网采样以辅助声学评估。利用Echoview声学处理软件对数据进行分析处理, 结合历史资料记载的生态、资源特点以及本研究中拖网生物学数据, 以0.5 n mile为间隔输出积分值, 并对该海域的生物资源量密度和生物资源量进行评估。声学评估结果表明, 第1航次春季调查礁区内和礁区外的平均生物资源量密度分别为 $41 \times 10^3\text{ kg/n mile}^2$ 和 $28 \times 10^3\text{ kg/n mile}^2$, 第3航次春季调查礁区内和礁区外的平均生物资源量密度分别为 $16 \times 10^3\text{ kg/n mile}^2$ 和 $10 \times 10^3\text{ kg/n mile}^2$, 第4航次夏季调查礁区内和礁区外的平均生物资源量密度分别为 $65 \times 10^3\text{ kg/n mile}^2$ 和 $3 \times 10^3\text{ kg/n mile}^2$, 第5航次秋季调查礁区内和礁区外水域的平均生物资源量密度分别为 $165 \times 10^3\text{ kg/n mile}^2$ 和 $45 \times 10^3\text{ kg/n mile}^2$ 。结果表明, 礁区内水域的平均生物资源量密度高于礁区外水域, 并且随着建礁时间的推移, 礁区内水域的生物资源总量基本呈增长趋势, 同时礁区内的声学评估种类也明显增加。根据拖网生物学数据, 建礁后优势种中的优质经济鱼类种数增加明显, 如黄斑蓝子鱼和日本金线鱼等, 说明人工鱼礁的建设有效地改良了渔业资源结构。

关键词: 人工鱼礁; 生物资源量; 声学评估; 大亚湾

中图分类号: Q 958.8; S 932.4

文献标志码: A

大亚湾位于珠江口东侧, 被深圳大鹏半岛、惠阳南部沿海及惠东平海半岛三面环绕。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, 由于大亚湾沿海地区的大规模海洋工程建设和渔业资源的持续过度开发, 给大亚湾海域的生态环境和渔业资源带来较大的负面影响。大亚湾海洋生态系统稳定性持续减弱, 朝

异养演替方向发展, 正经历着快速退化过程^[1]。为了改善和修复大亚湾的生态环境, 保护和增殖大亚湾的水生生物资源, 深圳市在大亚湾杨梅坑建设了面积为 2.75 km^2 的人工鱼礁区。建成后能否达到预期效果, 需要对其进行相关调查和效果评估。

近年来, 从生态、生物资源量及其在时间和空

收稿日期: 2011-01-25 修回日期: 2011-09-04

资助项目: 国家“八六三”高技术研究发展计划(2006AA100303); 公益性行业(农业)科研专项经费项目(201003068); 海洋公益性行业科研专项经费项目(201005013); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(2008TS01, 2007ZD03)

通讯作者: 李永振, E-mail: y. z. li@qq.com

间上的变化方面评价人工鱼礁建设效果已成为重要的指标^[2]。其中最常用的方法是通过潜水员或遥控车进行水下摄像、水下记录等操作获取鱼类和大型无脊椎动物的种群、群体信息及其生活史数据^[3-5]。但是,这种方法易受光照和悬浮物的限制,并且一些物种的逃避行为也可能导致调查结果可信度降低^[6-10]。另外,传统的拖网调查受礁体的限制,而手钓和延绳钓有较强的选择性,代表性不强。随着渔业资源声学评估技术在欧、美、日等渔业发达国家的广泛应用,国外采用声学评估技术对人工鱼礁水域生物资源量以及资源结构的调查已有诸多研究^[11-13],国内虽已经提出声学探测作为人工鱼礁水域的调查方法^[14],但其实际应用还未见报道。本研究是利用声学方法在大亚湾人工鱼礁水域进行资源调查的初步尝试,旨在通过声学评估技术了解建礁后该水域生物分布和资源量密度变化情况,对其建设效果进行初步评价,为人工鱼礁建设提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 评估区域及站位设置

杨梅坑人工鱼礁区位于深圳市东部大亚湾海域,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2 202个,建礁体积9.51万 km^3 ,礁区面积 $966\text{ m} \times 2\,851\text{ m}$,其中单位礁群18个,单位礁群面积 $160\text{ m} \times 160\text{ m}$,礁群中心之间距离横向为500 m,纵向为323 m(图1)。调查水域水深为10~15 m。为了对比人工鱼礁区内、外水域生物资源量的差异,较全面地评估人工鱼礁的生态效应,本研究将评估范围由礁区向外围大幅度扩展,把图1所示的近似长方形区域作为评估范围。

1.2 声学调查和生物学拖网取样

利用渔业声学手段开展人工鱼礁投放效果的评估与一般意义上的声学评估不同,属于局部海域渔业生态调查,需要根据评估对象、评估目的和评估海域的具体情况综合考虑时间和空间尺度的定点和连续观测,考虑到经费及其它一些因素的限制,调查未实施特定的数据采集方案,整个调查随项目其它调查同步完成。本研究自2007年4月到2009年5月,在大亚湾杨梅坑生态调控区人工鱼礁水域先后进行了6航次不同季节的声学调查(表1)。

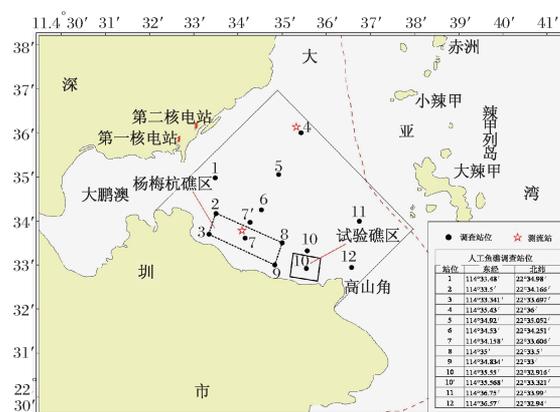


图1 杨梅坑人工鱼礁区位置、声学评估范围和生物学取样站位示意图

Fig. 1 The location of artificial reef area, scope of surveys and sampling stations in artificial reef area of Yangmeikeng in Daya Bay

表1 调查航次统计表

Tab. 1 The statistics of acoustic surveys

航次 survey	时间 date	有效声学航程/n mile effective track
1	2007-04	16.40
2	2008-03	24.05
3	2008-05	21.55
4	2008-08	12.78
5	2008-11	21.53
6	2009-05	26.23

传统的声学调查航线一般根据调查区域的具体地理情况设计成“之”字型或平行断面型等形式。本项调查由于考虑到与其它调查项目同步进行,未单独进行声学评估调查,因此声学采样为随机采样,航线不规则,具体航迹见图2。另外,由于条件限制,未做夜间调查。

声学数据利用 Simrad EY60 声学系统通过走航收集。由于该系统硬件本身缺乏长期的稳定性,调查过程中声波的散射和吸收损失以及鱼体在声束中的不定方位等因素均会影响声学数据采集的可靠性。因此,需要根据情况在调查前对 EY60 进行校准和参数设定,从而使其满足渔业资源评估的要求。EY60 的主要技术参数见表3。声学数据采集过程中,换能器置于导流罩内,导流罩固定在渔船的右侧(离船头约1/3船长的位置),上下调节导流罩使其位于水面下约1 m处,以减小表层气泡对声学数据的影响,并防止渔船左右摇摆时换能器露出水面而采不到数据。调查

船调查走航过程中, Simrad EY60 声学数据采集程序在电脑中同步存储声学数据和外接的 GPS 导航数据。另外, 为了避免海底回波信号的干扰, 正式采集前将海底积分提前量设为 0.5 m。

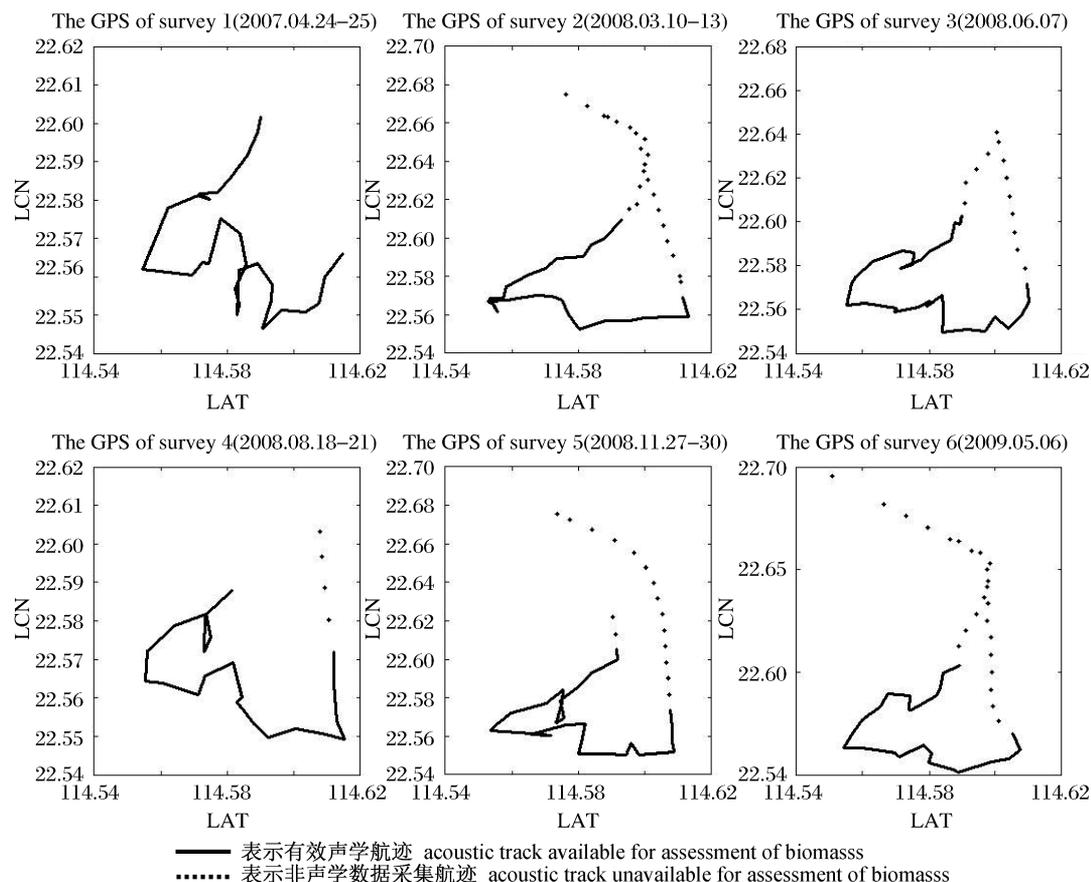


图 2 声学 6 个航次取样调查航迹图

Fig. 2 The acoustic maps for the six surveys

表 3 EY60 系统的主要技术参数

Tab. 3 The main technical parameters of EY60 acoustic system

项目 items	参数 parameter	参数 parameter	参数 parameter
型号 type	ES120-7C	波束横向角度 athw. beam angle	7.00°
序列号 serial no	269	波束纵向角度 along. beam angle	7.00°
频率 frequency	120 kHz	横向偏移量 athw. offset angle	0.00°
波束类型 beam type	分裂波束	纵向偏移量 along. offset angle	0.00°
增益 gain	26.80 dB	修改系数 Sa correction	0.00 dB
双向波束宽度 two way beam angle	-21.0 dB	脉冲宽度 pulse duration	0.128 ms
传感器横向角度 athw. angle sens	23.00	发射功率 power	50 W
传感器纵向角度 along. angle sens	23.00		

声学评估包括生物学取样和声学走航取样^[15-16]。生物学样品采集包括游泳生物的拖网采样和浮游生物水平和垂直网采, 目的是确定评估对象和辅助声学影像判读及积分值分配。生物学取样采用底拖网定点调查, 根据评估海域的生物和水文状况, 并顺应其它同步调查内容, 共设置

12 个调查站, 其中 7 号站和 10 号站分别为在建礁区和已建礁区的中心点, 2、3、8 和 9 号站分别为在建礁区的 4 个拐角。7 号站和 10 号站位于礁区之内, 由于礁体的存在不方便拖网, 因此调查只在 1、4、5、6、7'、10'、11 和 12 号站拖网采集样品和数据。各次渔业资源拖网调查, 均使用“粤汕

尾 11092”拖网渔船进行。调查船主机功率 135 kW,船长 15.59 m,船宽 5.60 m,吨位 50 t;虾拖网桁杆长 2.5 m,网长 4.5 m,网身网目 40~50 mm,网囊网目 25 mm。每站拖约 15 min,平均拖速约 2.5 kn。各站的渔获样品在现场进行分析和测定,不能现场测定的种类带回实验室处理。

1.3 数据分析

使用 Myriax 公司的 Echoview 声学评估软件对声学数据进行分析,该软件可以将现场采集的声学映像回放,映像中包括评估对象、浮游生物、温跃层、假海底、机器噪音等背景噪声的回波映像。为了提高评估结果的可靠性和准确性,在输出积分值前需根据映像的特征进行预判读,将评估种类以外的背景噪声产生的映像去除。本研究中需要去除的包括人工鱼礁的回波、假海底、海表噪声、浮游生物和机器噪声等。在映像处理中设置体积散射强度和目标强度回波映像中的最小阈值为 -70 dB,以屏蔽浮游生物等弱散射体的回波信号。声学映像分析时无需逐一分辨目标回波,接收信号也已经过散射损失和吸收损失的修正,因此可以对全水层的回波信号进行累加或积分处理。本研究以 0.5 n mile 为间隔对换能器表面 1 m 以下至海底之上 0.5 m 之内水体进行回波积分,以获得不同水域对应每平方海里的反向面积声学散射系数(nautical area scattering coefficient, NASC),即单位平方海里水域内鱼类的声学截面总数。在积分值分配过程中,根据拖网生物学资料和历史资料,按站位就近原则参考近邻采样站位的鱼类种类组成对各种类的积分值进行分配,礁区内水域的积分值分配主要参考第 7' 和第 10' 号站,礁区外水域的积分值分配主要参考第 1、4、5、6、11、12 号站。由于仪器设置和恶劣环境等因素造成第 2 航次和第 6 航次声学数据采集不理想,因此,本研究不拟分析这两个航次的声学数据,仅作为其它航次评估的参考。

2 结果

2.1 声学评估种类及其群落结构

声学调查中接近海底的 0.5 m 范围内为声学盲区,盲区内的鱼群视为海底,不在积分范围内。因此底栖虾蟹类和鲎类非常贴底的生物不在资源评估之列,另外一些浮游生物等弱散射体也不在生物资源量评估之列,因此在映像分析和积

分值分配之前,需统计各网次渔获物中所有可参与评估的鱼类和头足类。第 1 航次春季本底调查共采集游泳生物和底栖无脊椎动物 68 种,其中 16 种作为声学评估对象,礁区内和礁区外水域各 11 种。从渔获尾数分析,白姑鱼(*Argyrosomus argentatus*)礁区内捕获率为 85.7%,二长棘鲷(*Parargyrops edita*)为 34.6%,短吻鲷(*Leiognathus brevirostris*)为 42.6%,黑鲷(*Acanthopagrus schlegelii*)为 100%;礁区外水域的优势种类主要为二长棘鲷和短吻鲷。并且白姑鱼、黑鲷、发光鲷(*Acropoma japonicum*)、日本金线鱼(*Nemipterus japonicus*)、镶点石斑鱼(*Epinephelus amblycephalus*)和青石斑鱼(*Epinephelus awoara*)等种类仅在礁区内水域捕获。

第 3 航次春季调查共采集游泳生物和底栖无脊椎动物 74 种,其中 21 种为声学评估对象。根据渔获尾数分析,主要种类有短吻鲷(*Leiognathus brevirostris*)、黄斑蓝子鱼(*Siganus canaliculatus*)、杜氏枪乌贼(*Loligo duvaucelii*)和白姑鱼(*Argyrosomus argentatus*)等。礁区内水域有 15 种,主要为短吻鲷、黄斑蓝子鱼和杜氏枪乌贼等。礁区外水域的优势种主要为短吻鲷、黄斑蓝子鱼、杜氏枪乌贼和白姑鱼等。柏氏四盘耳乌贼(*Euprymna berryi*)、斑鲳(*Konosirus punctatus*)、带鱼、日本金线鱼、田乡枪乌贼(*Loligo tagoi*)和图氏后乌贼(*Metasepia tullbergi*)仅出现在礁区外水域。第 1 航次调查中礁区内种类在本次调查的礁区外水域也有出现,如黑鲷、日本金线鱼等。

第 4 航次夏季调查共采集游泳生物和底栖无脊椎动物 70 种,其中 23 种为声学评估对象。从渔获尾数分析,主要为黄斑蓝子鱼、二长棘鲷、短吻鲷、六指马鲛(*Polydactylus sextarius*)等,礁区内和礁区外水域均为 17 种;礁区内水域主要有黄斑蓝子鱼、二长棘鲷、短吻鲷、短尾大眼鲷(*Priacanthus macracanthus*),并且黑鲷、斑鲳、青石斑鱼、黑斑绯鲤(*Upeneus tragula*)、杜氏枪乌贼和田乡枪乌贼仅出现在礁区内水域,而短棘银鲈(*Gerres lucidus*)、多鳞鱈(*Sillago sihama*)、卵蛸(*Octopus ovulum*)、前鳞骨鲷(*Osteomugil ophuyseni*)、图氏后乌贼和弯斑蛸(*Octopus dollgusi*)只在礁区外水域捕获。本次调查中黄斑蓝子鱼捕获率最高,但礁区内水域捕获的比例只

占 39.3%, 二长棘鲷、短尾大眼鲷、竹筴鱼 (*Trachurus japonicus*)、李氏鲆等礁区内的捕获率大于礁区外水域。

第 5 航次秋季调查共采集游泳生物和底栖无脊椎动物 76 种, 其中 25 种为声学评估对象。从渔获尾数分析, 主要有中线天竺鲷 (*Apogon kiensis*)、黄斑蓝子鱼、六指马鲛、黄鳍马面鲀 (*Navodon xanthopterus*) 等, 多为礁区内水域的优势种类; 刺鲷 (*Psenopsis anomala*) 和杜氏枪乌贼仅在礁区外水域捕获。与礁区外水域相比, 褐菖鲈 (*Sebastiscus marmoratus*)、橙点石斑鱼

(*Epinephelus bleekeri*)、斑尾绯鲤 (*Upeneus vittatus*)、黄鳍马面鲀、斑鳍天竺鱼 (*Apogonichthys carinatus*)、短带鱼、日本金线鱼和细纹鲷 (*Leiognathus berbis*) 在礁区内水域捕获率较高。

2.2 声学评估生物资源量密度

根据评估区域的范围并结合有效声学航程, 将积分航程单元设置为 0.5 n mile。参照各个积分单元所处位置, 4 个航次礁区内外水域的平均生物资源量密度以及礁区内的生物总量评估结果见表 4。4 个航次中礁区内、外水域平均生物资源量密度比较结果显示, 礁区内明显高于礁区外水域(图 3)。

表 4 各航次生物资源量密度评估结果
Tab. 4 The biomass density of each survey

航次 cruise no.	礁区外平均生物资源量密度/(kg/n mile ²) biomass density outside the artificial reef area	礁区内平均生物资源量密度/(kg/n mile ²) biomass density inside the artificial reef area	礁区内生物资源量/t biomass inside the artificial reef area
1	27 ~ 609	41 ~ 467	9.7
3	10 ~ 077	15 ~ 630	3.7
4	3 242	65 ~ 157	15.3
5	45 ~ 097	164 ~ 829	38.6

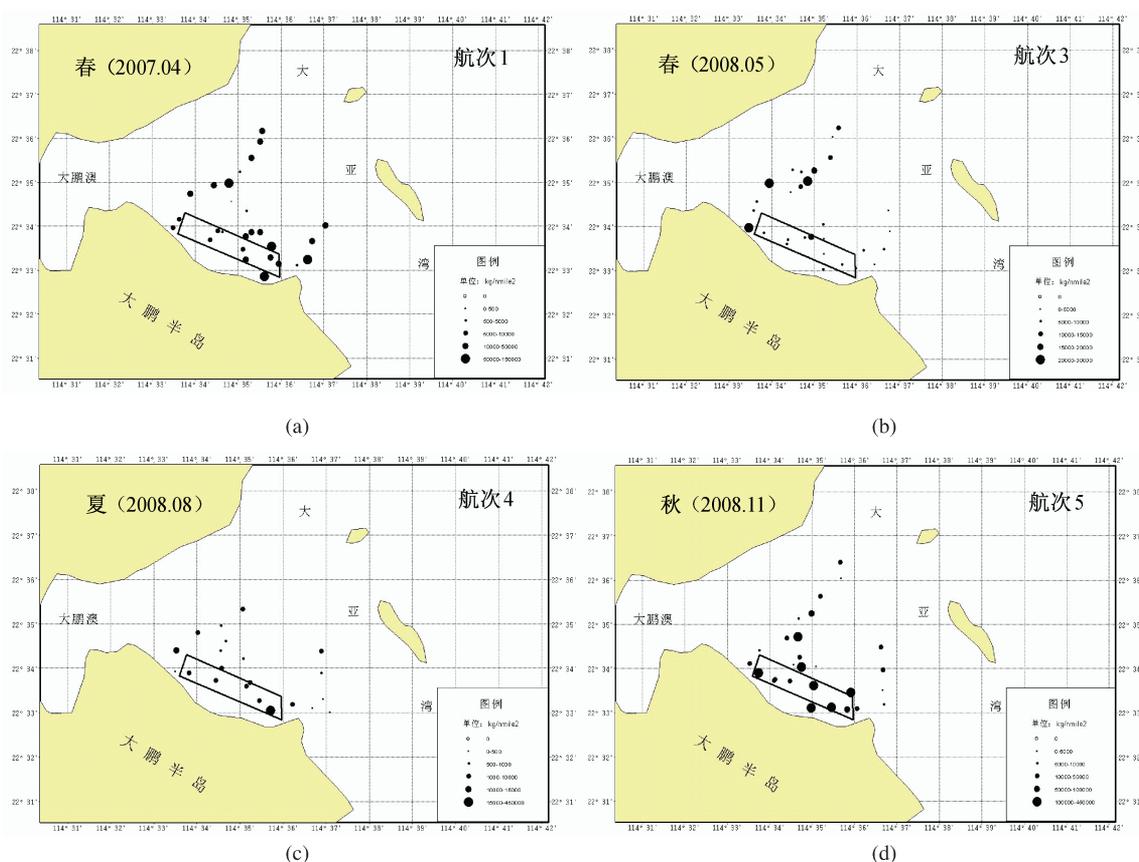


图 3 各航次声学调查生物资源量密度分布

Fig. 3 The distribution of biomass density of different surveys

由于第1航次本底调查时礁体还未全部投放完毕,在建礁区的生物资源量密度还相对较低,而已建礁区生物资源量密度显著较高,表明人工鱼礁对鱼类的诱集效果显著;第3航次春季调查继本底调查一年后进行,此时人工鱼礁虽已经投放完毕,但由于水质指标以及生物环境还欠稳定,平均生物资源量密度偏低;第4航次夏季调查结果与2007年本底调查和春季调查结果相比,礁区内水域的平均生物资源量密度明显增加;第5航次秋季调查结果显示,礁区内和礁区外水域生物资源量密度增幅均较明显。对各航次各积分单元的生物资源量密度结果统计显示,最大值分别为 195×10^3 , 40×10^3 , 687×10^3 和 621×10^3 kg/n mile²,均位于礁区内水域。表明随着时间的推移,礁区游泳生物出现种数总体呈上升趋势,人工鱼礁建设后对渔业资源产生了明显的聚集效果。

2.3 声学评估生物资源量

渔业声学资源评估中计算总生物资源量常用的方法是断面法和方区法。由于受航线设计的限制,本文仅对礁区内水域的生物资源量进行评估。评估区域面积为 802 928 m²。根据礁区内水域的平均生物资源量密度、评估区域面积以及评估对象的平均体重,经计算可知,第1航次春季本底调查中礁区内水域的生物总量为 9.7 t;第3航次春季调查中礁区内水域的生物总量为 3.7 t,短吻蝠资源量明显增加;第4航次夏季调查中礁区内水域的生物总量为 15.3 t;第5航次秋季调查中礁区内水域生物总量为 38.6 t(图4)。跟踪调查中礁区内水域的生物总量分别为本底调查的 0.38 倍、1.58 倍和 3.98 倍,总体呈上升趋势,并以 2008 年秋季调查结果增加最为明显。

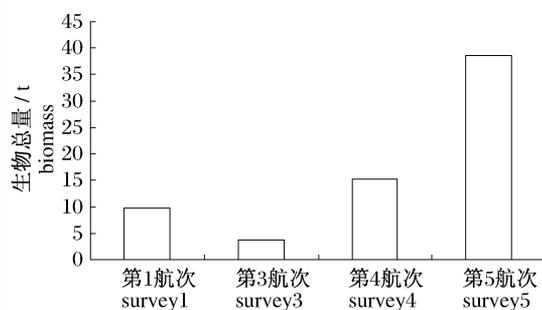


图4 各航次声学调查礁区内水域生物总量比较

Fig. 4 The comparison of biomass of different surveys inside the artificial reef area

3 讨论

在渔业资源声学调查中,需要通过渔获捕捞获取鱼类种群的相关信息以辅助声学数据处理与分析。对大亚湾人工鱼礁水域鱼类时空分布上的变化不仅包括密度分布的差异,还涉及种类组成的变化。通常,鱼类的分布与生态因子如温度、盐度、流速、食物的可利用性等因素存在一定的关系^[17-18]。大亚湾水体受粤东沿岸水以及南海水和大辣甲附近海域上升流的影响,其种类呈现出热带和亚热带区系特征。评估结果显示,2008年春季调查礁区内和礁区外的平均生物量密度分别为 16×10^3 和 10×10^3 kg/n mile²,与2007年本底调查的 41×10^3 和 28×10^3 kg/n mile² 相比有所减少,这可能是由于人工鱼礁刚刚投放完毕,各项水质指标和环境条件还不稳定。但礁区内物种数由本底调查时的 11 种增加为 15 种,黄斑蓝子鱼数量增加最为明显。这说明到 2008 年春季人工鱼礁的建设虽未能增加其生物资源量密度及总量,但是投放礁体以后礁区内水域的水体透明度、溶氧度等的变化可能影响了附着生物种类组成,出现了更多不同的附着生物,为该水域更多的游泳生物提供饵料及生存环境^[19-20]。2008 年夏季总体生物资源量密度较本底调查结果偏低,这可能与夏季时中上层鱼类多集中于大辣甲海域附近有关。但礁区内水域的平均生物资源量密度达到 65×10^3 kg/n mile²,增加明显,并且物种数目也呈增长趋势,如新增种类有短尾大眼鲷、日本红娘鱼等,并且一些种类仅出现在礁区内水域,如斑鲷、青石斑鱼、黑斑绯鲤等。2008 年秋季调查结果显示,礁区内水域的平均生物资源量密度较本底调查结果显著增加,并且评估种类也已增至 23 种。证实了礁体的多洞穴结构和投放后所形成的流、光、音、味以及生物的新环境,为各种不同的鱼类提供了索饵、避害、产卵、定栖的场所,因此吸引了许多鱼类,并且这些鱼类在礁区的分布和行为呈多样化^[21]。建礁后优势种中的优质经济鱼类种数及生物资源量增加明显,说明人工鱼礁建设有效地改良了渔业资源结构。因此,人工鱼礁的投放使海底地貌发生变化,导致一定范围内的海水流速和流向也发生了变化,形成了各种复杂的物理、化学和生物环境,为海洋生物提供了觅食场所、栖息场所以及隐蔽场所^[22]。另外,由于时间

和条件限制,对大亚湾人工鱼礁水域的调查数据还很有限,因此对其数量变动趋势和变动机制还需今后进一步开展跟踪调查研究。

然而,本研究在方案设计以及探测方式等方面存在许多潜在的因素对本研究的评估结果带来一定的误差。从方案设计方面,传统的声学调查航线一般根据调查区域的具体地理情况设计成“之”字型或平行断面型等形式,然而本研究考虑到经费及其它一些因素的限制,调查未做特定的数据采集方案设计,整个调查随项目其它调查过程同步完成。因此给数据分析带来了许多不便,加大了产生误差的可能性。另外,国外在人工鱼礁水域多采用多台仪器定点探测,24 h 昼夜同时收集数据,分析礁区内外水域鱼类分布情况。而本研究中不仅仪器台数的限制仅用一台仪器进行走航调查。由于调查水域水深较浅,声学采样体积相对较小,而且受方案的限制,导致调查精度降低。因此,在今后对于人工鱼礁区域的调查中应适当增加调查航线的密度。从评估对象方面,由于调查中拖网网具选择以及拖网方法等方面的因素,使得拖网种类较以往大亚湾海域资源调查偏少,因此对声学回波映像积分值分配结果存在一定的影响,但对于反映整体趋势影响不大。SORIA 等^[23]在地中海调查时发现秘鲁鳀、大西洋鲱鱼群在距离调查船 70 m 时有侧向回避行为,因而使回声探测器所记录到的鱼群较实际的小。尽管对大亚湾人工鱼礁水域鱼类的回避行为还未做了解,但是由于调查水域水深在受影响范围内,因此鱼类对探测船的回避行为是可能存在的。调查过程中鱼探仪的换能器安装在船一侧,因此分布在表层 1 m 以内的鱼群探测不到,另外接近海底的 0.5 m 范围内为声学盲区,盲区内的鱼群视为海底,不在积分范围内。因此,评估结果与实际资源量可能存在一定的偏差。另外,调查样品中鱼类的大小和种类组成也是影响评估资源量结果的一个潜在的因素。现有的调查一般假设拖网中鱼类的大小和年龄组成来反映整个海域组成,但是已有很多学者研究指出不同大小和年龄的鱼对拖网和船体噪声的反应不同^[24-28],在不同的反应条件下对声波的散射强度也不同。并且当评估有集群行为鱼类的资源量时,遮蔽效应也会对结果产生误差,使结果往往偏低,鱼群越大遮蔽效应越严重^[29]。另外,季节的变化引起的渔期和渔汛可

能会对本调查评估结果产生影响。从生态环境方面,受环境条件和人工鱼礁大小的影响,人工鱼礁的生态效应对周围水域的影响范围为 5 ~ 50 m^[30-32],这可能会使调查结果中礁区外水域的结果偏高。因此,解决上述问题将使声学评估技术更具准确性和可靠性。

尽管声学调查方法评估鱼类资源量仍存在许多问题需要解决^[33-34],但本研究基本上实现了声学探测在大亚湾人工鱼礁水域的成功应用。此为国内首次应用声学评估开展人工鱼礁水域的资源评估,是声学评估方法在人工鱼礁效果评价方面的一次探索。在很多时候,声学评估比光学手段更有优势,可以实现昼夜不间断观测,高效获取连续数据。但由于诸多因素的限制,本研究未开展这方面的现场观测。另外,由于人工鱼礁水域特殊的环境特点,采用单一的调查方法,难以了解鱼礁区与非鱼礁区的鱼类数量和活动全况,因此,在今后的调查中可以采用多种方法进行综合观测来推断集鱼效果,在利用声学探测技术进行资源评估调查的同时,采用潜水观测、水中摄像摄影等传统方法辅助调查,将有效的提高评估结果的准确性。这些都将有助于分析人工鱼礁对周围水域环境的影响,为人工鱼礁的管理和规划提供重要的数据支持。

参考文献:

- [1] 王友绍,王肇鼎,黄良民. 近 20 年来大亚湾生态环境的变化及其发展趋势[J]. 热带海洋学报,2004,23(5):85-95.
- [2] STEIMLE F W, MEIER M H. What information do artificial reef managers really want from fishery science[J]. Fisheries,1997,22(4):6-8.
- [3] BORTONE S A, KIMMEL J J. Environmental assessment and monitoring of artificial habitats[C] // SEAMAN W, SPRAGUE L M, eds. Artificial habitats for marine and freshwaters fisheries. Academic Press, Inc., San Diego, California, 1991:285.
- [4] OKAMOTO M, NAKAMURA M, GROVE R S, et al. Methods of estimating fish abundance around reefs[C] // Japan-U. S. Symposium on Artificial Habitats for Fisheries Proceedings. Southern California Edison Company, Rosemead, California, 1991:105-114.
- [5] CHARBONNEL E, FRANCOUR P, HARMELIN J

- G. Finfish populations assessment techniques on artificial reefs: a review in the European Union [C] // JENSEN A C, Eds. Proceedings of the 1st EARRN Conference, Ancona (Italy), March 1996. Southampton Oceanography Center, 1997; 261 - 277.
- [6] BORTONE S A. Visual census to monitor and assess fish life history and assemblages [C] // Proc of SCAW/LSUSVM spon-sored Conference. The care and use of amphibians, reptiles, and fish in research, 8 - 9 April, New Orleans. 2007.
- [7] DEMARTINI E E, ROBERTS D. An empirical test of biases in the rapid visual technique for species-time censuses of reef fish assemblages [J]. Mar Biol, 1982, 70(2) : 129 - 134.
- [8] WICKAM D A, RUSSEL G M. An evaluation of mid-water artificial structures for attracting coastal pelagic fishes [J]. Fishery Bulletin, 1974, 72: 181 - 191.
- [9] BUCKLEY R M, HUECKEL G J. Biological processes and ecological development on an artificial reef in Puget Sound, Washington [J]. Bulletin of Marine Science, 1985, 37: 50 - 69.
- [10] HARMELIN-VIVIEN M L, HARMELIN J G, CHAUVET C, *et al.* Evaluation visuelle des peuplements et populations de poissons: méthodes et problèmes = Visual evaluation of fish communities and populations. Methods and problems [J]. Revue d'écologie, 1985, 40: 467 - 539.
- [11] STANLEY D R, WILSON C A. Spatial variation in fish density at three petroleum platforms as measured with dual-beam hydroacoustics [J]. Gulf of Mexico Science, 1998, 16(1) : 73 - 82.
- [12] FABI G, SALA A. An assessment of biomass and diel activity of fish at an artificial reef (Adriatic sea) using a stationary hydroacoustic technique [J]. ICES Journal of Marine Science, 2002, 59: 411 - 420.
- [13] HWANG D J, PARK J S, LEE Y W. Estimation of fish school abundance by using an echo sounder in an artificial reef area [J]. J Kor Fish Soc, 2004, 37(3) : 249 - 254.
- [14] 广东省人民政府外事办公室. 人工鱼礁效果调查实施要领 [J]. 水产科技, 2001, 4: 24 - 26.
- [15] 李永振, 陈国宝, 孙典荣, 等. 南海区多鱼种声学评估工作程序 [J]. 湛江海洋大学学报, 2003, 23(1) : 35 - 40.
- [16] 赵宪勇, 陈毓楨, 李显森, 等. 多种类海洋渔业资源声学评估技术与方法 [C] // 我国专属经济区和大陆架勘测研究论文集. 北京: 海洋出版社, 2002: 341 - 353.
- [17] NOEBRAY F. Changes in the vertical distribution of capelin (*Mallotus villosus*) off Newfoundland [J]. ICES Journal of Marine Science, 2002, 59: 942 - 949.
- [18] PARAMO J, QUINONES R A, *et al.* Relationship between abundance of small pelagic fishes and environmental factors in the Colombian Caribbean Sea: an analysis based on hydroacoustic information [J]. Aquatic Living Resources, 2003, 16(3) : 239 - 245.
- [19] 章守宇, 张焕君, 焦俊鹏, 等. 海州湾人工鱼礁海域生态环境的变化 [J]. 水产学报, 2006, 30(4) : 475 - 480.
- [20] 张伟, 李纯厚, 贾晓平, 等. 人工鱼礁附着生物影响因素研究进展 [J]. 南方水产, 2008, 4(1) : 64 - 68.
- [21] 陈勇, 于长青, 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.
- [22] 陈勇, 于长青, 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.
- [23] SORIA M, FRÉON P, GERLOTTO F. Analysis of vessel influence on spatial behavior of fish schools using a multi-beam sonar and consequences for estimates by echo-sounder [J]. ICES J Mar Sci, 1996, 53: 453 - 458.
- [24] CHAPMAN C J, HAWKINS A A. The importance of sound in fish behaviour in relation to capture by trawls [J]. FAO Fish Rep, 1969, 62(3) : 717 - 719.
- [25] HAWKINS A D. The sensitivity of fish to sounds [J]. Ocean Mar Biol Ann Rev, 1973, 11: 291 - 340.
- [26] ONA E, TORESEN R. Reactions of herring to trawling noise [J]. ICES CM, 1988, 36: 1 - 4.
- [27] ONA E, GODO O R. Fish reaction to trawling noise: the significance for trawl sampling [J]. Rapp P-V Reun Cons Explor Mer, 1990, 189: 159 - 166.
- [28] MISUND O A, AGLEN A. Swimming behaviour of fish schools in the North Sea during acoustic surveying and pelagic trawl sampling [J]. ICES J Mar Sci, 1992, 49: 325 - 334.
- [29] TORESEN R. Absorption of acoustic energy in dense herring schools studied by the attenuation in the bottom echo signal [J]. Fish Res, 1991, 10: 317 - 327.
- [30] United States Bureau of Land Management. New Orleans Continental Shelf Office, Continental Shelf Associates. Study of the effect of oil and gas

- activities on reef fish populations in Gulf of Mexico OCS area[C]. Continental Shelf Associates,1982.
- [31] GERLOTTO F, BERCY C, BORDEAU B. Echo integration survey around offshore oil extraction platforms of Cameroon; observations of the repulsive effect on fish of some artificially emitted sounds[J]. Proceedings of the Institute of Acoustics, 1989, 19: 79-88.
- [32] FABI G, LUCCARINI F, PANFILI M, *et al.* Valutazione dell'efficacia delle strutture artificiali nei mari italiani; studio del funzionamento del sistema barriere artificiali attraverso le reti trofiche [C]. Report to the Ministry for Agricultural Politics, Fishery and Aquaculture Directorate, 1999b.
- [33] 李永振,陈国宝,赵宪勇,等.南海北部海域小型非经济鱼类资源声学评估[J].中国海洋大学学报, 2005,35(2):206-212.
- [34] 李永振,陈国宝,赵宪勇.南海区多鱼种渔业资源声学评估[C]//我国专属经济区和大陆架勘测研究论文集.北京:海洋出版社,2002:391-397.

Assessment of biomass in artificial reef area of Yangmeikeng in Daya Bay using acoustic method

LI Na-na^{1,2}, CHEN Guo-bao^{1,3,4}, YU Jie^{1,3,4}, LI Yong-zhen^{1,3,4*},
TANG Yong², CHEN Pi-mao^{1,3,4}, JIA Xiao-ping^{1,3,4}

(1. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China;

2. College of Ocean Engineering Dalian Ocean University, Dalian 116023, China;

3. Key Field Scientific Experimental Station of South Sea Fishery Resources and Environment,
Ministry of Agriculture, Guangzhou 510300, China;

4. Key Laboratory of Fishery Ecology Environment, Guangdong Province, Guangzhou 510300, China)

Abstract: The Yangmeikeng artificial reef area is located in the eastern part of Daya Bay in Shenzhen. The artificial reefs were cast from March 20, 2007, and the whole construction was finished on December 25 with the volume of 95.1 thousand m³ space and the area of 966 m × 2 851 m. In order to know the biological distribution and the variation of the biomass density, six acoustic surveys were conducted with a split-beam echosounder (EY60 model, 120kHz, Simrad) inside and outside the artificial reef area of Yangmeikeng in Daya Bay in different months from April 2007 to May 2009. The effective acoustic range is 122.54 n mile. Trawl samplings were used to help the acoustic assessment. In this paper, the volume backscattering strength (SV) data were integrated with 0.5 n mile interval to analyze the distribution of biomass by using a fisheries acoustic software of Echoview (Myriax) combined with the historical data of ecology, resource characteristics and trawl data. The acoustic assessment results showed that the average biomass density inside and outside the artificial reef area were 41×10^3 kg/n mile² and 28×10^3 kg/n mile² respectively in survey 1, while 16×10^3 kg/n mile² and 10×10^3 kg/n mile² in survey 3, 65×10^3 kg/n mile² and 3×10^3 kg/n mile² in survey 4, 165×10^3 kg/n mile² and 45×10^3 kg/n mile² in survey 5. Obviously, the average density of biomass was higher inside the artificial reef area than the outside. And the inside biomass assumed the growth movement basically as time goes on. According to the trawl sampling data, the species estimated inside the artificial reef area were also increased evidently, such as *Siganus canaliculatus* and *Nemipterus japonicus*. It proved that the construction of artificial reefs in the Daya Bay could improve community structure of fishery resources.

Key words: artificial reef; biomass; acoustic assessment; Daya Bay

Corresponding author: LI Yong-zhen. E-mail: y. z. li@qq. com