

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2019.18236

人工鱼礁对防城港海域小型岩礁性鱼类诱集效果研究

曾雷^{1,2,3}, 唐振朝^{1,2,3}, 贾晓平^{1,2,3}, 于杰^{1,2,3}, 陈国宝^{1,2,3}

1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东 广州 510300;
2. 中国水产科学研究院海洋牧场技术重点实验室, 广东 广州 510300;
3. 农业农村部南海渔业资源环境科学观测实验站, 广东 广州 510300

摘要: 为探究人工鱼礁聚鱼效果, 于2017年2月、4月、9月和11月主要通过声学探测技术, 对防城港海域渔业资源密度、空间分布与大小组成进行了调查研究。结果显示, 防城港人工鱼礁区及其临近海域4次调查共捕获各类游泳生物和底栖无脊椎动物201种, 包括鱼类126种、蟹类32种、虾类20种、虾蛄类11种和头足类12种。双因素方差分析结果表明, 调查海域渔业资源密度在时空层面上均存在显著性差异($P < 0.001$), 且交互作用显著($P < 0.001$)。2月调查海域人工鱼礁区渔业资源密度($547745 \text{ ind/n mile}^2$)约为其周边海域($203990 \text{ ind/n mile}^2$)的2.68倍, 表现出明显的聚鱼效果。其中, 二长棘鲷(*Parargyrops edita*)、多齿蛇鲻(*Saurida tumbil*)、花斑蛇鲻(*Saurida undosquamis*)等岩礁性底层鱼类为该季度主要优势种类。各航次人工鱼礁区小型个体所占比重较高, 其平均目标强度(TS)分别为 -55.6 dB (2月)、 -54.5 dB (4月)、 -53.6 dB (9月)和 -52.2 dB (11月), 随个体生长其平均TS呈稳步增大的变化趋势。在垂直方向上, 2月和4月航次人工鱼礁区90%以上回波单体主要分布在9~16 m中下水层。上述研究结果表明, 人工鱼礁建设对防城港海域小型岩礁性鱼类表现出明显的向底层诱集的效果, 该结果能为海洋牧场生态效应系统评价提供重要支撑。

关键词: 人工鱼礁; 渔业资源; 大小组成; 空间分布; 防城港

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2019)04-0783-13

防城港人工鱼礁区位于防城港市白龙半岛以南海域, 约18 m等深线附近, 鱼礁投放范围为 $21^{\circ}25.278' \sim 21^{\circ}25.697' \text{N}$, $108^{\circ}12.924' \sim 108^{\circ}14.039' \text{E}$ 。该海域人工鱼礁建设始于2009年, 以期修复由于防城港钢铁项目建设期和营运期给周围海域渔业资源和海洋生态环境带来的损害。另一方面, 人工鱼礁建设海域位于北部湾二长棘鲷国家级种质资源保护区内, 有利于该海域二长棘鲷种质资源的保护^[1]。

近年来, 人工鱼礁渔业资源动态及其群落空间结构特征成为评价人工鱼礁渔业增殖与生态修复效果评估的重要指标^[2-3]。传统的渔业资源评估

主要通过拖网采样, 但往往会对水域生态环境造成一定的破坏, 且其应用范围受海底地形、海洋工程(人工鱼礁区、钻进平台)等条件的约束^[4]。水下摄像或潜水记录等方法易受光照条件的限制和鱼类逃避行为的影响, 导致调查结果可信度降低^[5]。渔业声学评估方法作为一种新兴的生态渔业评估手段, 具有科学、高效、便捷、对资源环境损害小等优点。该方法自20世纪80年代引入中国, 而后广泛应用于中国的深海、沿海、河口及内陆水域渔业资源评估^[6-9]和鱼类行为研究^[10-11]等领域。

本研究综合采用声学探测、网具采样和水下

收稿日期: 2018-07-12; 修订日期: 2019-02-20.

基金项目: 国家科技支撑计划课题项目(2012BAD18B02); 防城港钢铁项目渔业生态保护修复工程(01-154); 公益性行业(农业)科研专项经费项目(201003068); 农业部财政项目“南海海洋捕捞生产结构调查”(640).

作者简介: 曾雷(1989-), 男, 博士, 主要从事渔业资源评估与水生态研究. E-mail: 670898494@qq.com

通信作者: 陈国宝, 研究员, 主要从事渔业资源评估与水生态研究. E-mail: chengb98@163.com

摄影等多种方法,对防城港人工鱼礁区及其临近海域 2017 年各季度渔业资源现状进行了调查,对比分析了人工鱼礁区与其周边海域渔业资源组成、季节动态和空间分布特征,以期为人工鱼礁渔业增殖养护效果评价提供新的思路。

1 材料与方法

1.1 研究区域

根据防城港人工鱼礁投放记录与现场定位探测结果,该海域声学调查范围设计为 21°19.419'~

21°31.491'N, 108°9.054'~108°28.138'E, 区域总面积约 105 n mile², 调查区域平均水深为 17.41 m, 具体数据参见表 1。调查时间分别为 2017 年 2 月 15—16 日(冬季)、2017 年 4 月 24—25 日(春季)、2017 年 9 月 9—10 日(夏季)、2017 年 11 月 2—3 日(秋季)。

综合考虑人工鱼礁空间分布及其生态效应范围的影响,本研究针对人工鱼礁区及其周边水域分别设置了平行断面形式声学走航路线,结果如图 1 所示,人工鱼礁区共设置了 5 条水平断面(JQ₁~JQ₅),详细航线参见图 1 的右下角。其周边

表 1 防城港渔业资源声学评估航程信息
Tab. 1 Voyage information on acoustic assessment of fishery resources in Fangchenggang Gulf

时间 time	区域 region	平均水深/m mean depth	航程/n mile voyage	面积/n mile ² area	覆盖率 coverage
2017-02	人工鱼礁区 reef area	16.2	5.6	0.36	9.33
	鱼礁周边区 around	18.5	66	109	6.32
2017-04	人工鱼礁区 reef area	15.97	5.91	0.43	9.01
	鱼礁周边区 around	17.94	63.37	106	6.16
2017-09	人工鱼礁区 reef area	16.21	5	0.32	8.84
	鱼礁周边区 around	17.99	59.5	94.2	6.13
2017-11	人工鱼礁区 reef area	18.09	5.3	0.39	8.49
	鱼礁周边区 around	18.41	18.7	20.5	4.13

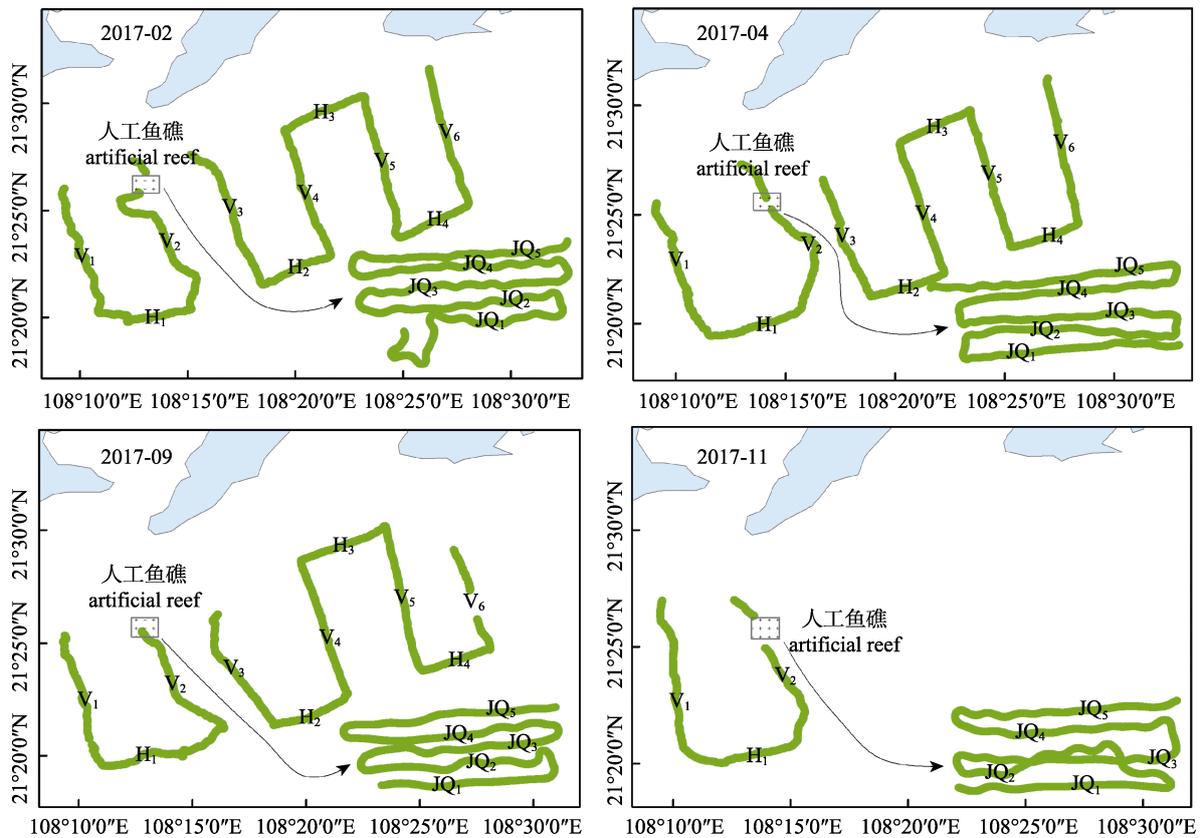


图 1 防城港海域声学调查航迹

Fig. 1 The acoustic survey track line in Fangchenggang Gulf

水域共设置了 6 条垂直断面($V_1 \sim V_6$)和 4 条水平断面($H_1 \sim H_4$)。受秋季恶劣海况条件的影响, 该航次部分声学数据不能使用。各航次有效航程、区域面积与覆盖率如表 1 所示。

调查前通过声呐探测与水下摄影的方法确定了人工鱼礁的规格与空间分布范围, 其结果如图 2a、图 2b 所示。调查海域共识别出 3 种规格的沉底礁(4 m、5 m、6 m)和两种规格的悬浮礁(2 m 沉底+3 m 悬浮, 2 m 沉底+4 m 悬浮)。礁体上有大量贝类附着生物, 礁体周围及其内部均有鱼类分布。

1.2 声学数据采集与分析

声学探测通过便携式分裂波束科学鱼探仪(EY60 型, Simrad 公司, 挪威)完成, 其工作参数如表 2 所示。根据相关声学调查规范要求, 在调查之前参照国际通用的标准球法对仪器的收发增益系数进行校正^[12]。声学调查过程中, 将换能器置于导流罩内, 固定于渔船右侧船舷中部, 吃水

深度为 0.8 m, 平均航速约 5.5 kn, 以减小环境噪声的影响。声学数据通过系统自带的 ER60 软件采集, 并由 Gamin GPSCSx (美国)提供同步经纬度动态数据。声学调查航线大致按照事先制订的平行线断面形式, 分为人工鱼礁区和鱼礁周边区。声学探测区域覆盖率(D)计算按照公式: $D=L/\sqrt{A}$; 式中, L 为有效航程, A 为调查水域面积^[13]。

声学数据使用 Ehoview Software Pty Ltd 公司开发的专用声学数据后处理软件 Echoview (6.0 版本), 参照 ICES 的海洋规范(Acoustic Survey design and Analysis Procedure, 1992 年)和大湖渔业声学调查标准操作流程^[14]进行后处理分析。通过底部自动检测程序确定海底轮廓并进行手动修正。设置海表 1.6 m 以下及海底 0.3 m 以上为有效回波积分区域, 以屏蔽海表航行气泡干扰回波与海底突起物回波信号的干扰。为提高声学评估结果的科学性, 需对回波映像进行解析。通过调节后向体

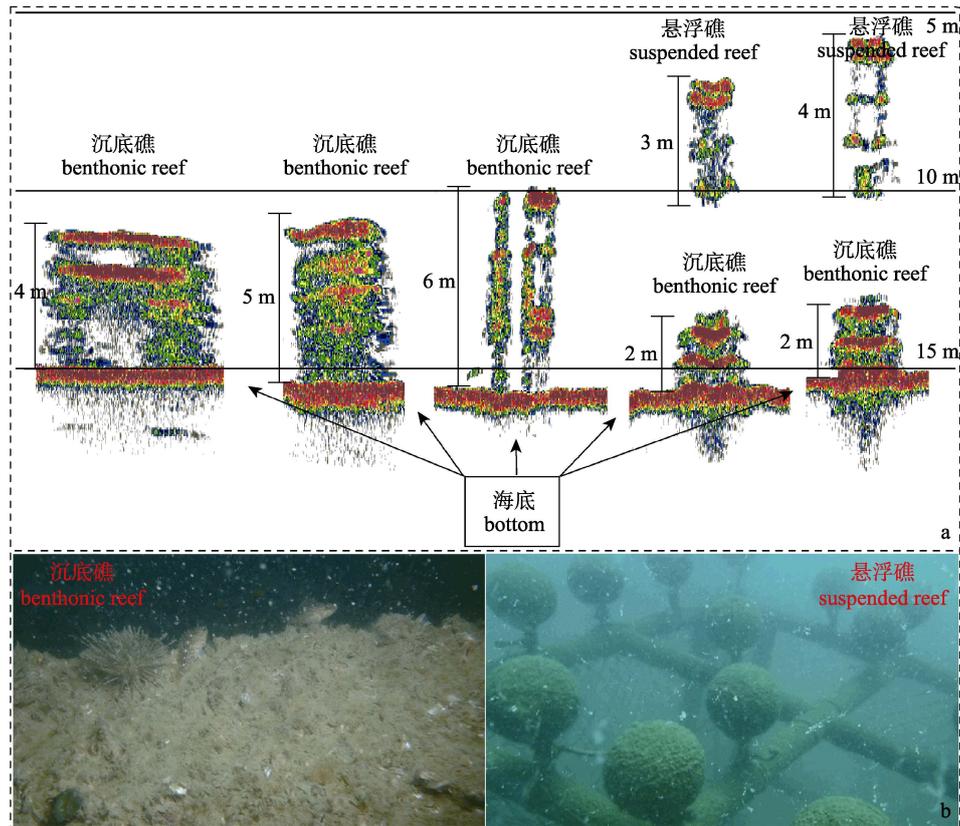


图 2 防城港人工鱼礁声学探测(a)与水下摄影(b)
悬浮礁与沉底礁之间通过绳索连接。

Fig. 2 Acoustic detection (a) and underwater video (b) of artificial reef in Fangchenggang Gulf
Benthonic reef and suspended reef were connected by ropes.

表 2 科学探鱼仪(EY60 型, Simrad)主要技术参数设置
Tab. 2 Main technical parameters setting for scientific echosounder (EY60, Simrad)

技术参数 technical parameter	参数设置 parameter setting
换能器频率 transducer frequency	200 kHz
脉冲宽度 pulse duration	0.256 ms
功率 power	150 W
吸收系数 absorption coefficient	61.9 dB/km
声速 sound velocity	1514.1 m/s
换能器增益 transducer gain	27.18 dB
脉冲间隔 ping interval	0.2 s/ping

积散射强度(volume backscattering strength, Sv)阈值将不同类型的回波映像进行分类, 剔除海底礁石、海表航行气泡、浮游生物以及悬浮颗粒等回波噪声^[15]。Sv 映像中的大部分背景噪声利用虚拟变量数据生成器模块进行消除(图 3)。单回波映像中单体目标强度(target strength, TS)、频率与垂直分布规律, 利用 Echoview 软件中单回波检测(single echo detection, SED)与追踪模块(tracking)获取。

1.3 生物学数据采集

为辅助声学映像分析, 分别在人工鱼礁及其周边水域综合采用刺网和底拖网进行生物学采样,

各站位设置如图 4, 站位信息与取样方法见表 3。底拖网采样租用当地渔船, 主机功率为 200 kW, 网口宽度为 16 m, 高度为 70 cm, 每个站位各拖一网, 拖网时长约为 0.5 h, 船速 2~3 kn。各位点刺网放置时间为日落前后, 于翌日日出前起网, 放置时间约 12 h, 刺网分大、中、小 3 种规格, 网目大小分别为 8 cm、6 cm 和 4.5 cm, 每种规格各两张为一网, 总长度约 60 m, 网高为 1.2 m, 放置深度约水下 10 m。对所有渔获样品均进行现场分类并计数, 数量少于 50 尾的物种全部取样; 若单一物种数量大于 50 尾, 则根据渔获物大小组成特点按比例随机取样。所有样品均进行低温冷冻保存, 带回实验室分类鉴定, 并测量记录每种渔获的体长/叉长/胴长和体重, 体长精确至 1 cm, 体重精确至 1 g。

1.4 渔业资源声学评估

按照多种类海洋渔业资源评估方法, 鱼礁周边区域与人工鱼礁区分别以 0.2 n mile 和 100 m 水平间隔为基本积分单元, 对海表 1.6 m 以下与海底 0.3 m 之上的水体进行回波积分, 其 Sv 和 TS 积分阈值分别设置为 -70 dB 和 -60 dB(调查水域优势种类为鲷类, 个体极小, 故阈值较低, 设为 -60 dB),

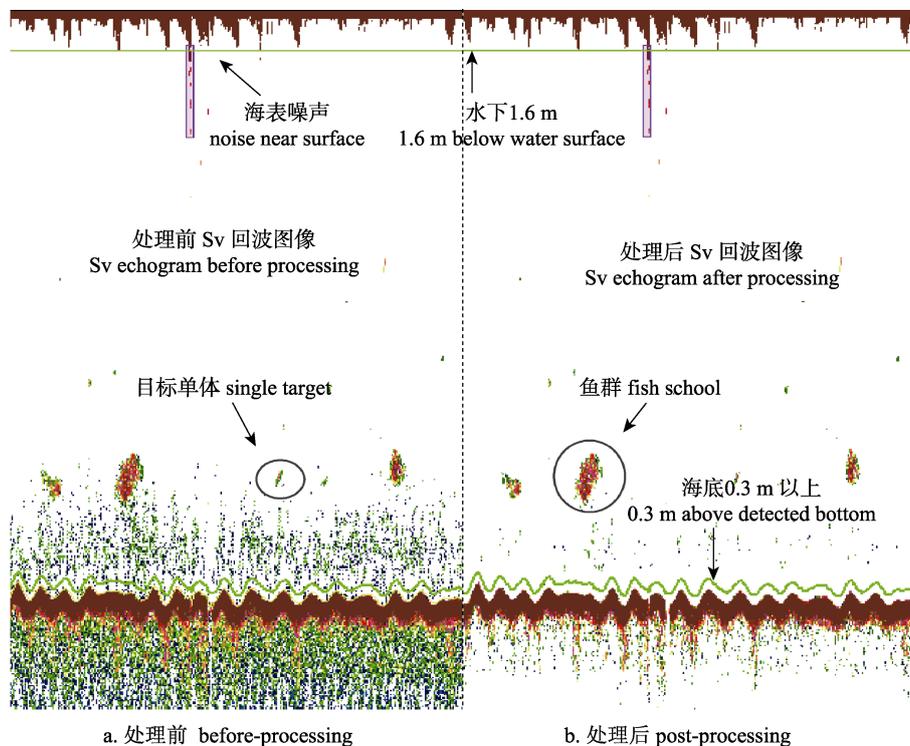


图 3 防城港海域 Sv 回波图像
Fig. 3 Sv echogram in Fangchenggang Gulf

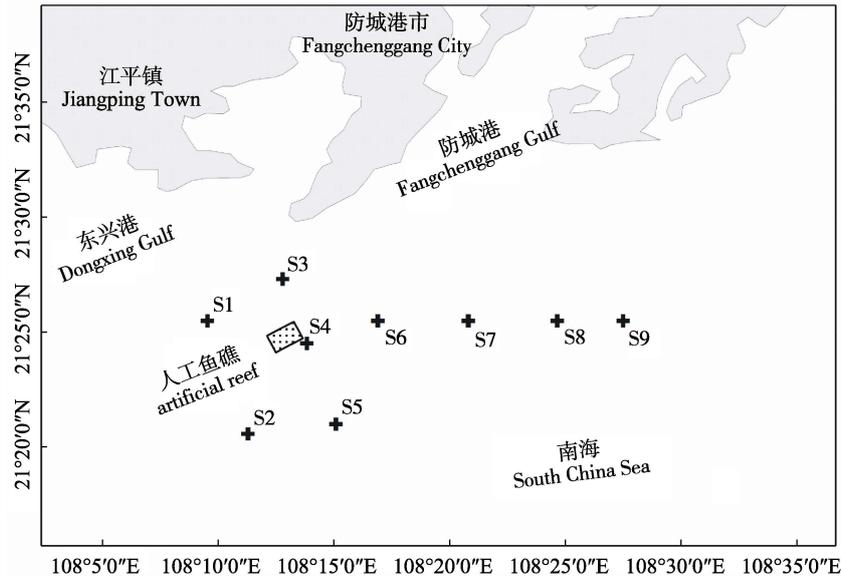


图 4 防城港海域生物学取样站位设置

Fig. 4 The design of biological sampling stations in Fangchenggang Gulf

表 3 防城港海域生物学取样站位信息

Tab. 3 Biological sampling stations information in Fangchenggang Gulf

站位 site label	经度 longitude	纬度 latitude	取样方法 sampling method
S1	108°9.530'	21°25.455'	拖网 trawl net
S2	108°11.278'	21°20.535'	拖网 trawl net
S3	108°12.794'	21°27.281'	拖网 trawl net
S4	108°13.827'	21°24.477'	拖网 trawl net, 流刺网 gill net
S5	108°15.085'	21°20.971'	拖网 trawl net
S6	108°16.895'	21°25.455'	拖网 trawl net
S7	108°20.803'	21°25.455'	拖网 trawl net, 流刺网 gill net
S8	108°24.640'	21°25.455'	拖网 trawl net
S9	108°27.490'	21°25.455'	拖网 trawl net, 流刺网 gill net

即可获得取样单元内声学积分值(NASC)。以拖网采样的渔获物组成信息为依据, 基于回波积分分配原理, 则基本积分单元内第 i 种鱼类的数量密度(ρ_i)和生物量密度(B_i)分别为

$$\rho_i = c_i \times \frac{NASC}{4\pi\sigma} \quad (1)$$

$$B_i = c_i \times \frac{NASC}{4\pi\sigma} \times \frac{W_i}{1000} \quad (2)$$

$$\sigma = \sum_i^n (c_i \times 10^{\frac{TS_i}{10}}) \quad (3)$$

$$TS_i = 20 \log L_i + b_{20i} \quad (4)$$

式中, ρ_i 为分析区域内第 i 种鱼类密度(ind/n mile²), c_i 为第 i 种鱼类在渔获中所占数量百分比

(%), NASC 为以海里为单位的面积回波散射积分值(m²/n mile²), σ 为分析区域内所有声学评估种类的平均后向散射截面(m²), B_i 为分析区域内生物量密度(kg/n mile²), W_i 为第 i 种鱼类的平均体质量, n 为参与声学评估渔获物种数, TS_i 为第 i 种鱼类目标强度(dB), L_i 为第 i 种鱼类平均体长, b_{20i} 为第 i 种鱼类目标强度参数, 主要通过查阅相关文献统计获得, 其结果如表 4 所示^[2, 6, 9, 16]。

2 结果与分析

2.1 渔获种类组成

2017 年 4 次调查, 防城港人工鱼礁区及其临界海域共捕获各类游泳生物和底栖无脊椎动物

201 种, 包括鱼类 126 种、蟹类 32 种、虾类 20 种、虾蛄类 11 种和头足类 12 种。各季度渔获种类组成如表 5 所示, 2 月、4 月、9 月和 11 月渔获物种数分别为 78 种、92 种、100 种和 68 种, 其中鱼类物种数在各季度渔获物种组成中均占据优势地位。

为尽量避免海底回波信号的干扰, 声学回波积分区间设置为海底 0.3 m 以上水域, 故底栖种

类(如鲎类等)不在声学评估范围之内。2017 年 2 月、4 月、9 月、11 月各次调查, 参与声学评估的物种数分别为 40 种、47 种、55 种和 41 种。拖网/刺网渔获采样结果显示, 鳎类、蛇鲻类、枪乌贼和二长棘鲷等为调查海域 2017 年数量优势种类。各航次参与渔业资源声学回波积分分配的种类, 其生物学组成信息如表 6 所示。

表 4 声学评估种类参考 b_{20} 值

Tab. 4 The referred b_{20} values of the acoustic estimated species

种类 species	b_{20}	种类 species	b_{20}
白姑鱼 <i>Argyrosomus argentatus</i>	-68	截尾白姑鱼 <i>Pennahia anea</i>	-68
刺鲷 <i>Psenopsis anomala</i>	-80	金线鱼 <i>Nemipterus virgatus</i>	-68
带鱼 <i>Trichiurus haumela</i>	-66.1	静鳎 <i>Leiognathus insidiator</i>	-72.5
杜氏枪乌贼 <i>Uroteuthis duvauceli</i>	-78	丽叶鲷 <i>Caranx kalla</i>	-72.5
短带鱼 <i>Trichiurus brevis</i>	-66.1	六带石斑鱼 <i>Epinephelus sexfasciatus</i>	-72.5
短吻鳎 <i>Leiognathus brevirostris</i>	-72.5	鹿斑鳎 <i>Leiognathus ruconius</i>	-72.5
多齿蛇鲻 <i>Saurida tumbil</i>	-80	青石斑鱼 <i>Epinephelus awoara</i>	-72.5
二长棘鲷 <i>Parargyrops edita</i>	-68	日本金线鱼 <i>Nemipterus japonicus</i>	-68
高体若鲷 <i>Caranx equula</i>	-72.5	乳香鱼 <i>Lactarius lactarius</i>	-72.5
海鳗 <i>Muraenesox cinereus</i>	-76	四线天竺鲷 <i>Apogon quadrifasciatus</i>	-72.5
海鲷 <i>Arius thalassinus</i>	-66.1	田乡枪乌贼 <i>Loligo tagoi</i>	-78
黑鳃兔头鲷 <i>Lagocephalus laevigatus</i>	-72.5	细纹鳎 <i>Leiognathus berbis</i>	-72.5
花斑蛇鲻 <i>Saurida undosquamis</i>	-80	银方头鱼 <i>Branchiostegus argentatus</i>	-68
花鲈 <i>Lateolabrax japonicus</i>	-66	印度鳎 <i>Ilisha melastoma</i>	-72.5
黄斑鳎 <i>Leiognathus bindus</i>	-72.5	月腹刺鲷 <i>Gastrophysus lunaris</i>	-76
黄斑蓝子鱼 <i>Siganus canaliculatus</i>	-68	长体蛇鲻 <i>Saurida elongata</i>	-80
黄带绯鲤 <i>Upeneus sulphureus</i>	-72.5	中国枪乌贼 <i>Uroteuthis chinensis</i>	-78
黄鲫 <i>Setipinna tenuifilis</i>	-72.5	竹筴鱼 <i>Trachurus japonicus</i>	-72.5
及达叶鲷 <i>Caranx djeddaba</i>	-72.5	棕斑腹刺鲷 <i>Gastrophysus spadiceus</i>	-76
剑尖枪乌贼 <i>Uroteuthis edulis</i>	-78	其他物种 other species	-71.9

表 5 防城港调查海域不同游泳生物类群物种数

Tab. 5 Species numbers of different nekton groups in the study area

物种 species	2017-02		2017-04		2017-09		2017-11	
	物种数 species number	百分比/% percentage						
鱼类 fish	41	52.56	56	60.87	62	62	45	66.18
蟹类 crab	13	16.67	18	19.57	15	15	7	10.29
虾类 decapod	10	12.82	8	8.7	10	10	7	10.29
虾蛄类 Squilloidea	6	7.69	5	5.43	9	9	5	7.35
头足类 Cephalopoda	8	10.26	5	5.43	4	4	4	5.88

2.2 渔业资源时空分布特征

根据多种类渔业资源声学积分分配原则, 调查海域渔业资源声学评估结果如图 5 所示。2 月人工鱼礁区渔业资源密度(547745 ind/n mile²)明

显较高, 约为其周边海域(203990 ind/n mile²)的 2.68 倍; 4 月人工鱼礁区渔业资源密度(70110 ind/n mile²)相对较低, 仅为为其周边海域(145192 ind/n mile²)的 1/2; 9 月人工鱼礁区及其周边海域

表 6 各航次数量优势种类生物学信息
Tab. 6 Biological information of dominant species assessed on fishery quantity in each survey

时间 time	物种 species	数量百分比/% percentage	体长范围/mm body length range	体重范围/g body weight range
2017-02	二长棘鲷 <i>Parargyrops edita</i>	33.69	18-52	1.3-37.0
	多齿蛇鲻 <i>Saurida tumbil</i>	21.11	71-150	4.0-40.0
	花斑蛇鲻 <i>Saurida undosquamis</i>	10.52	65-120	4.0-22.0
	杜氏枪乌贼 <i>Loligo duvaucelii</i>	6.92	45-76	15.0-33.0
	剑尖枪乌贼 <i>Loligo edulis</i>	5.86	45-140	20.0-112.0
2017-04	细纹鲷 <i>Leiognathus berbis</i>	16.54	50-83	4.0-14.0
	二长棘鲷 <i>Parargyrops edita</i>	16.36	13-170	1.0-171.0
	黄斑鲷 <i>Leiognathus bindus</i>	11.21	60-91	5.0-22.0
	竹荚鱼 <i>Trachurus japonicus</i>	8.57	35-126	1.0-39.0
	短吻鲷 <i>Leiognathus brevis</i>	8.10	67-95	8.0-24.0
2017-09	黄带绯鲤 <i>Upeneus sulphureus</i>	24.53	39-86	2.0-17.0
	细纹鲷 <i>Leiognathus berbis</i>	14.94	41-120	4.0-15.0
	四线天竺鲷 <i>Apogon quadrifasciatus</i>	10.33	35-75	3.0-14.0
	乳香鱼 <i>Lactarius lactarius</i>	9.49	40-94	4.0-18.0
	短吻鲷 <i>Leiognathus brevis</i>	7.64	62-105	8.0-22.0
2017-11	静鲷 <i>Secutor insidiator</i>	28.09	50-62	3.0-7.2
	多齿蛇鲻 <i>Saurida tumbil</i>	15.36	68-125	2.0-28.4
	短吻鲷 <i>Leiognathus brevis</i>	13.28	60-100	7.0-29.0
	鹿斑鲷 <i>Leiognathus ruconius</i>	12.84	40-57	3.0-6.1
	杜氏枪乌贼 <i>Loligo edulis</i>	3.55	11-90	5.0-73.0

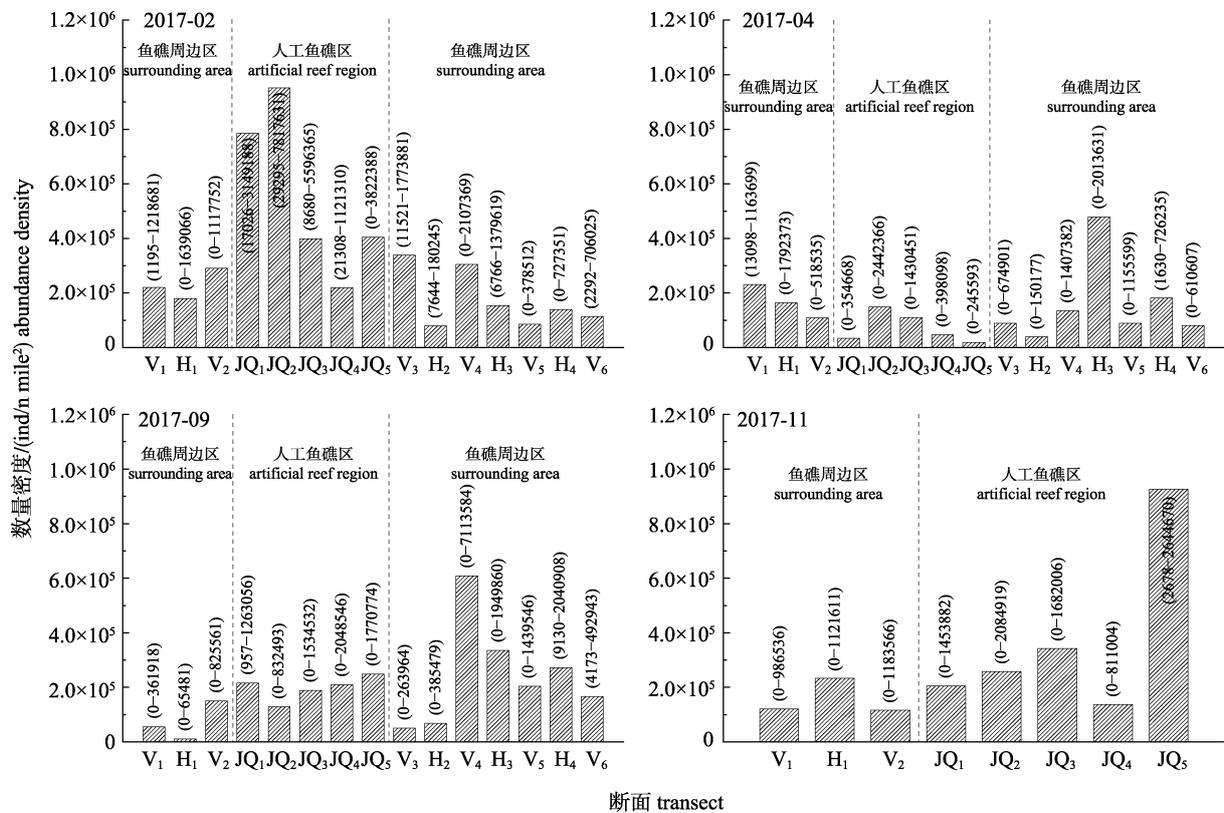


图 5 防城港调查海域不同断面渔业资源密度水平分布

Fig. 5 Horizontal distribution of fishery densities in different transects of Fangchenggang Gulf

表 7 防城港调查海域渔业资源时空差异双因素方差分析
 Tab. 7 The temporal and spatial variation of fishery resources in the study area based on two-way ANOVA

	数量密度 abundance density		生物量密度 biomass density	
	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
月份 month	$F_{3, 1432} = 14.44$	$P < 0.001$	$F_{3, 1432} = 15.74$	$P < 0.001$
区域 region	$F_{1, 1432} = 15.56$	$P < 0.001$	$F_{1, 1432} = 16.63$	$P < 0.001$
月份×区域 month×region	$F_{4, 1432} = 9.99$	$P < 0.001$	$F_{4, 1432} = 10.67$	$P < 0.001$

渔业资源密度分别为 198057 ind/n mile² 和 189250 ind/n mile², 其分布较均匀。11 月受海况条件的影响, 声学探测覆盖率较低, 不足以代表渔业资源区域分布特征。双因素方差分析结果表明(表 7), 渔业资源密度在时空层面上均存在显著性差异(P

<0.001), 且交互作用显著($P < 0.001$)。

2.3 回波单体大小组成与垂直分布

人工鱼礁区及其周边海域渔业资源单回波检测与目标追踪结果如图 6 所示。第 1 航次人工鱼礁区平均 TS 为 -55.6 dB, 变化区间为 -60.0~-39.4 dB;

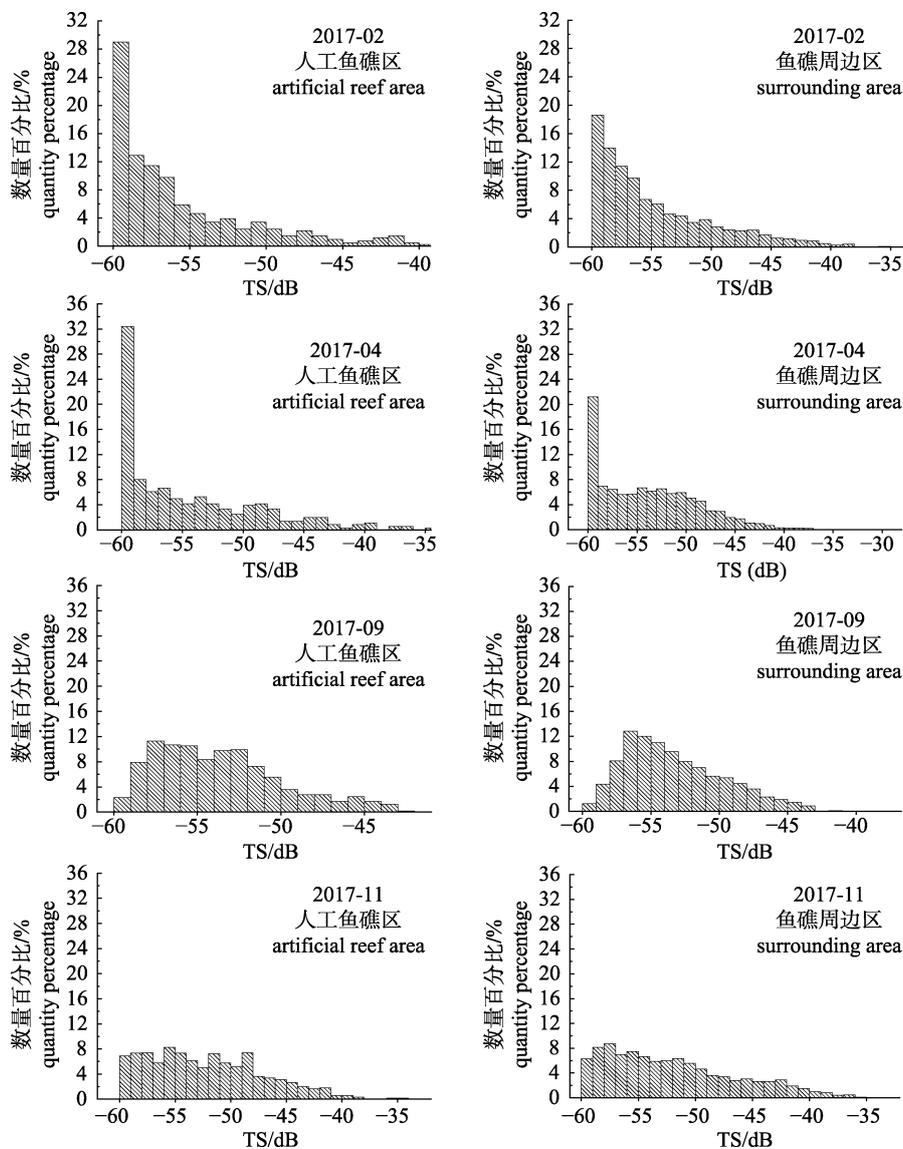


图 6 防城港海域回波单体大小组成与频率分布

Fig. 6 Size composition and frequency of single echo detection in Fangchenggang Gulf

鱼礁周边区平均 TS 明显高于鱼礁区为 -54.8 dB, 变动区间为 $-60.0\sim-35.6$ dB。第2航次人工鱼礁区平均 TS 为 -54.5 dB, 变化区间为 $-60.0\sim-34.7$ dB; 鱼礁周边区平均 TS 为 -53.9 dB, 变化区间为 $-60.0\sim-29.2$ dB。第3航次人工鱼礁区及其周边海域平均 TS 基本一致, 分别为 -53.6 dB 和 -53.2 dB, 变化区间分别为 $-60.0\sim-42.0$ dB 和 $-60.0\sim-36.9$ dB。第4航次人工鱼礁区及其周边海域平均 TS 分别为 -52.2 dB 和 -52.0 dB, 变化区间分别为 $-60.0\sim-33.9$ dB 和 $-60.0\sim-32.3$ dB。综上可知, 调查海域各航次平均 TS 稳步增大, TS 频率大致呈逐级下降的变化趋势。各航次人工鱼礁区平均 TS 小于周边水域, 其中第1和第2航次最为显著。

回波单体在垂直方向上的分布如图7所示。第1航次回波单体主要分布于 $10\sim 22$ m 水层之间, 该区域平均水深为 18.5 m, 其分布相对分散; 而人工鱼礁区平均水深为 16.2 m, 且90%以上回波单体主要分布于 $12\sim 16$ m 水层之间, 其分布较为集中。第2航次鱼礁周边区平均水深为 17.94 m, 回波单体分散分布于 $10\sim 22$ m 水层之间; 而人工鱼礁区回波单体主要分布于 $9\sim 16$ m 水层, 占回波单体总数的90.7%, 其分布相对集中。第3航次鱼礁周边区(平均水深 17.99 m)回波单体主要分布在 $6\sim 20$ m 水深范围内, 人工鱼礁区(平均水深 16.21 m)回波单体主要分布在 $6\sim 16$ m 水层, 其分布较为分散。第4航次鱼礁周边区(平均水深 18.41 m)回波单体主要分布于 $3\sim 23$ m 水层, 人工鱼礁区(平均水深 18.09 m)回波单体主要分布于 $6\sim 18$ m 水层, 其垂直分布亦较分散。调查海域各航次回波单体主要分布于中下水层, 其集中程度在时间和空间尺度上均存在较大差异, 人工鱼礁区回波单体集中程度相对较高, 有向底层聚集的现象, 且主要体现在第1和第2航次。

3 讨论

3.1 人工鱼礁生态效应分析

研究发现, 调查海域各航次渔业资源组成及季节优势种类存在明显差异, 二长棘鲷在第1航次(2月)渔获物中所占比重明显高于其他种类, 鲷类(细纹鲷、黄斑鲷、短吻鲷等)在第2、3、4航次

渔获物中优势度突出。该结果可能与调查海域游泳生物的繁殖和索饵行为相关^[17-18]。调查水域为北部湾二长棘鲷国家级种质资源保护区, 且二长棘鲷为暖温性底层鱼类, 具有很强的季节性, 每年的3—4月为繁殖盛期^[19], 因此二长棘鲷在第1和第2航次渔获中均占较高比重。根据调查海域渔业资源时空分布特征分析发现, 人工鱼礁区与其周边海域渔业资源存在显著性差异, 各航次人工鱼礁区渔业资源密度约为鱼礁周边海域的 $0.5\sim 2.68$ 倍。其中, 第1航次(2月)人工鱼礁区渔业资源密度显著高于鱼礁周边海域, 说明人工鱼礁构建对鲷科鱼类诱集效果明显^[20-21]。此外, 王志超等^[11]通过生物遥测方法研究发现, 紫红笛鲷(*Lutjanus argentimaculatus*)、黑鲷(*Acanthopagrus schlegelii*)和约氏笛鲷(*Lutjanus johni*)等具有明显的趋礁行为。在垂直空间上, 各航次人工鱼礁区渔业资源分布较鱼礁周边海域更加集中, 表现出向底层水域诱集的效果。基于回波单体 TS 大小组成分析发现, 人工鱼礁区小型个体所占比重较高, 说明其对小型个体诱集效果更加明显^[22]。进一步研究结果显示, 各航次人工鱼礁区平均 TS 稳步增大, 说明鱼礁的构建能为该水域有机体的生长、繁殖、栖息提供优越的条件, 亦可能为某些特定岩礁性鱼类完成整个生活史过程提供独特的生境^[23]。综上分析可知, 在防城港渔业生态保护修复水域, 人工鱼礁的建设在一定程度上能起到渔业资源增殖和诱集的生态效应。然而, 其增殖和诱集调控机制尚需结合生态系统中其他生物和非生物要素进行更深层次分析研究。

3.2 人工鱼礁区渔业资源评估方法探究

本研究在进行声学调查的同时, 辅以水下摄影、潜水取样、拖网、刺网等多种调查手段进行综合观测, 并结合各项数据对礁区进行精准定位及生物学组成分析, 以提高渔业资源评估结果的可信度和准确度。为尽可能规避声学近场效应, 减少海底噪声信号的干扰, 本研究中声学回波积分起始水深设置为 1.6 m 以下, 积分终止水深设置为海底 $0.2\sim 0.5$ m 之上^[16]。因此, 靠近海表面和贴近海底鱼类声学回波能量不在积分范围之内^[24]。此外, 根据 Sv 回波映像判读结果, 该海域各航次

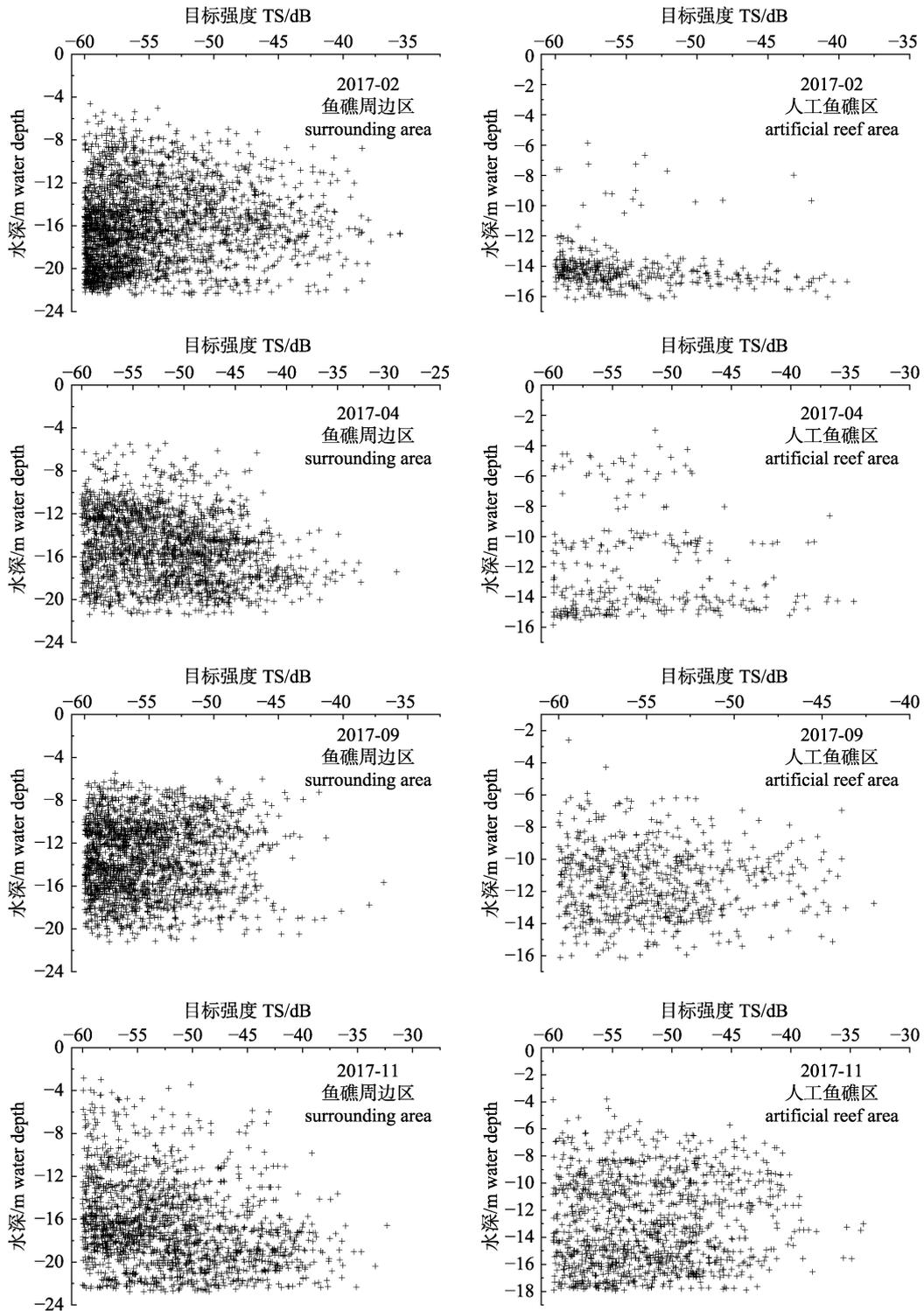


图 7 防城港海域回波单体垂直分布

Fig. 7 Vertical distribution of single echo detection in Fangchenggang Gulf

均存在鱼类集群现象,当鱼类集群密度达到一定水平时会产生遮蔽效应,致使渔业资源声学评估结果产生偏差^[25]。回波映像的识别与回波积分分配是多种类海洋渔业资源声学评估的两个关键环

节。渔业资源生物学组成信息,是回波映像积分阈值设定和回波积分分配的重要依据。然而传统渔业捕捞方法普遍存在捕捞效率低下、物种选择性强、地域限制性大等缺点^[26],从而影响渔业资

源声学回波积分的分配。Draštík 等^[27]研究指出, 鱼类对环境扰动的回避效应, 往往使渔业资源声学评估结果偏低。本研究中, 人工鱼礁投放海域无法进行拖网取样, 故综合采用刺网和 underwater 摄影等方法进行生物学取样, 其结果与拖网站位存在较大差异。因此, 本研究综合调查水域所有站位生物学组成信息, 作为声学回波积分阈值设定与积分分配的依据, 以降低网具选择性和鱼类回避行为对积分分配的影响。

3.3 目标强度对渔业资源评估结果的影响

单体计数和回波积分是渔业资源声学评估的两大类方法^[16-17]。对于多种类渔业资源声学评估, 多采用回波积分法。声学反射系数是将声学回波积分值转换为资源量的关键参数^[28-29], 而目标强度是声学反射系数的另一种表现形式。因此, 对于多种类渔业资源声学评估, 其结果的准确度和可信度很大程度上取决于调查水域优势种类目标强度^[30]。然而, 中国在鱼类目标强度基础理论研究方面, 较发达国家相对滞后, 给渔业资源声学评估带来了较大困难。本研究中, 声学评估种类目标强度主要参照系统分类同一科或同一属物种目标强度的国内外研究结果, 仅个别精确到种, 从而使研究海域渔业资源声学评估结果存在一定偏差。因此, 现阶段应针对中国不同海区主要经济种类, 利用原位测量^[31]和理论模型^[32]等方法加快推进有关方面的科研工作, 构建渔业资源声学目标强度数据库, 为提高渔业资源声学评估的准确度和可信度提供科学依据和基础研究资料。

声学评估方法相较传统渔业调查手段除具有科学、高效、环保等众多优点外, 对于人工鱼礁等特殊生境的渔业资源评估表现出更强的适应性。一方面, 通过移动垂直探测不仅可以提供实时的渔业动态信息和时空分布格局, 分析渔业资源变动迁移规律, 从而指导渔业生产和管理; 另一方面, 通过定点原位观测技术, 对游泳生物(如区域种质保护鱼类二长棘鲷、岩礁鱼类约氏笛鲷^[11]等)的行为特征与生理生活习性进行研究, 为游泳生物的保护提供科学依据, 因而在现代生态渔业研究领域备受推崇。

参考文献:

- [1] Xu S S, Chen Z Z, Yu J, et al. Evaluation of ecosystem services value of aquatic germplasm resources conservation zone: A case study in Beibu Gulf of South China sea[J]. Chinese Journal of Ecology, 2012, 31(11): 2900-2906. [徐姗姗, 陈作志, 于杰, 等. 水产种质资源保护区的生态系统服务价值评估——以北部湾为例[J]. 生态学杂志, 2012, 31(11): 2900-2906.]
- [2] Li N N, Chen G B, Yu J, et al. Assessment of biomass in artificial reef area of Yangmeikeng in Daya Bay using acoustic method[J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 35(11): 1640-1649. [李娜娜, 陈国宝, 于杰, 等. 大亚湾杨梅坑人工鱼礁水域生物资源量声学评估[J]. 水产学报, 2011, 35(11): 1640-1649.]
- [3] Tang W Y, Tang Y L, Sheng H X, et al. Ecosystem health assesment of artificial reef area in Xigang, Weihai[J]. Periodical of Ocean University of China, 2018, 48(3): 55-64. [唐伟尧, 唐衍力, 盛化香, 等. 威海西港人工鱼礁区生态系统健康评价[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2018, 48(3): 55-64.]
- [4] Ajemian M J, Wetz J J, Shipley L B, et al. Rapid assessment of fish communities on submerged oil and gas platform reefs using remotely operated vehicles[J]. Fisheries Research, 2015, 167: 143-155.
- [5] Edgar G J, Barrett N S, Morton A J. Biases associated with the use of underwater visual census techniques to quantify the density and size-structure of fish populations[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2004, 308(2): 269-290.
- [6] Chen G B, Li Y Z, Zhao X Y, et al. Acoustic assessment of commercial fish resources in the northern waters of South China Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2005, 12(4): 445-451. [陈国宝, 李永振, 赵宪勇, 等. 南海北部海域重要经济鱼类资源声学评估[J]. 中国水产科学, 2005, 12(4): 445-451.]
- [7] Tan X C, Shi J Q, Zhang H, et al. Hydroacoustic assessment of fish resources in the Lake Qinghai with EY60 echosounder[J]. Journal of Lake Sciences, 2009, 21(6): 865-872. [谭细畅, 史建全, 张宏, 等. EY60 回声探测仪在青海湖鱼类资源量评估中的应用[J]. 湖泊科学, 2009, 21(6): 865-872.]
- [8] Zhou L, Zeng L, Fu D H, et al. Fish density increases from the upper to lower parts of the Pearl River Delta, China, and is influenced by tide, chlorophyll-a, water transparency, and water depth[J]. Aquatic Ecology, 2016, 50(1): 59-74.
- [9] Zhang J, Jiang Y E, Chen Z Z, et al. Preliminary study on the nautical area scattering coefficient and distribution of

- mesopelagic fish species in the central-southern part of the South China Sea[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2017, 24(1): 120-135. [张俊, 江艳娥, 陈作志, 等. 南海中南部中层鱼资源声学积分值及时空分布初探[J]. *中国水产科学*, 2017, 24(1): 120-135.]
- [10] Acolas M L, Anras M L B, Véron V, et al. An assessment of the upstream migration and reproductive behaviour of allis shad (*Alosa alosa* L.) using acoustic tracking[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2004, 61(8): 1291-1304.
- [11] Wang Z C, Chen G B, Zeng L. Study of fish behavior using acoustic fish tags and wireless tracker[J]. *South China Fisheries Science*, 2018, 14(2): 51-59. [王志超, 陈国宝, 曾雷. 基于声学标志和无线跟踪方法的鱼类行为研究[J]. *南方水产科学*, 2018, 14(2): 51-59.]
- [12] Simrad. Simrad ER60 scientific echo sounder software reference manual[Z]. Norway: Simrad Maritime as Kongsberg, 2008: 19-31.
- [13] Aglen A. Random errors of acoustic fish abundance estimates in relation to the survey grid density applied[R]. Rome: FAO Fisheries Report, 1983: 293-298.
- [14] Parker-Stetter S L, Rudstam L G, Sullivan P J, et al. Standard operating procedures for fisheries acoustic surveys in the Great Lakes[J]. Great Lakes Fishery Commission, Special Publication, 2009: 103-146.
- [15] Higginbottom I, Wood S, Schneider P. Hydroacoustic Data Processing for Standard Stock Assessment Using Echoview: Technical Manual[M]. Australia: Myriax Software Pty Ltd Publication, 2008: 1-108.
- [16] Li B, Chen G B, Yu J, et al. The acoustic survey of fisheries resources for various seasons in the mouth of Lingshui Bay of Hainan Island[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2018, 42(4): 544-556. [李斌, 陈国宝, 于杰, 等. 海南陵水湾口海域不同季节鱼类资源声学探查[J]. *水产学报*, 2018, 42(4): 544-556.]
- [17] Chen Z Z, Qiu Y S. Stock variation of *Parargyrops edita* Tanaka in Beibu Gulf[J]. *South China Fisheries Science*, 2005, 1(3): 26-31. [陈作志, 邱永松. 北部湾二长棘鲷的资源变动[J]. *南方水产*, 2005, 1(3): 26-31.]
- [18] Zhang J, Chen P M, Fang L C, et al. Background acoustic estimation of fisheries resources in marine ranching area of Zhelin Bay-Nan'ao Island in the South China Sea[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2015, 39(8): 1187-1198. [张俊, 陈丕茂, 房立晨, 等. 南海柘林湾—南澳岛海洋牧场渔业资源本底声学评估[J]. *水产学报*, 2015, 39(8): 1187-1198.]
- [19] Wang X H, Qiu Y S, Du F Y, et al. Spatio-temporal variability of fish diversity and dominant species in the Beibu Gulf[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2011, 18(2): 427-436. [王雪辉, 邱永松, 杜飞雁, 等. 北部湾鱼类多样性及优势种的时空变化[J]. *中国水产科学*, 2011, 18(2): 427-436.]
- [20] Currey L M, Heupel M R, Simpfendorfer C A, et al. Sedentary or mobile? Variability in space and depth use of an exploited coral reef fish[J]. *Marine Biology*, 2014, 161(9): 2155-2166.
- [21] Williams-Grove L J, Szedlmayer S T. Depth preferences and three-dimensional movements of red snapper, *Lutjanus campechanus*, on an artificial reef in the northern Gulf of Mexico[J]. *Fisheries Research*, 2017, 190: 61-70.
- [22] Chen P M. A survey on catch in artificial reef area of Zhongshan City[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2005, 24(3): 73-80. [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.]
- [23] Gallaway B J, Szedlmayer S T, Gazey W J. A life history review for red snapper in the Gulf of Mexico with an evaluation of the importance of offshore petroleum platforms and other artificial reefs[J]. *Reviews in Fisheries Science*, 2009, 17(1): 48-67.
- [24] Scalabrin C, Marfia C, Boucher J. How much fish is hidden in the surface and bottom acoustic blind zones?[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2009, 66(6): 1355-1363.
- [25] Toresen R. Absorption of acoustic energy in dense herring schools studied by the attenuation in the bottom echo signal[J]. *Fisheries Research*, 1991, 10(3-4): 317-327.
- [26] Říha M, Jůza T, Prchalová M, et al. The size selectivity of the main body of a sampling pelagic pair trawl in freshwater reservoirs during the night[J]. *Fisheries Research*, 2012, 127-128(9): 56-60.
- [27] Draščík V, Kubečka J. Fish avoidance of acoustic survey boat in shallow waters[J]. *Fisheries Research*, 2005, 72(2): 219-228.
- [28] Zhao X Y, Wang Y, Dai F Q. Depth-dependent target strength of anchovy (*Engraulis japonicus*) measured *in situ*[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2008, 65(6): 882-888.
- [29] Gastauer S, Fässler S M M, Couperus B, et al. Target strength and vertical distribution of smelt (*Osmerus eperlanus*) in the Ijsselmeer based on stationary 200 kHz echosounder recordings[J]. *Fisheries Research*, 2013, 148: 100-105.
- [30] Zeng L, Chen G B, Yu J. Acoustic assessment of fishery resources and spatial distribution in Nan'ao Island area[J]. *South China Fisheries Science*, 2018, 14(2): 26-35. [曾雷, 陈国宝, 于杰. 南澳岛海域渔业资源声学评估与空间分布[J]. *南方水产科学*, 2018, 14(2): 26-35.]
- [31] De Robertis A, Taylor K. *In situ* target strength measurements of the scyphomedusa *Chrysaora melanaster*[J]. *Fish-*

eries Research, 2014, 153: 18-23.

[32] Li B, Chen G B, Zeng L, et al. Modeling study on the target strength of *Sillago sihama*[J]. Journal of Fishery Sciences of

China, 2018, 25(2): 403-412. [李斌, 陈国宝, 曾雷, 等. 多鳞鱧目标强度的模型法研究[J]. 中国水产科学, 2018, 25(2): 403-412.]

Study on the trapping effect of artificial reefs on small reef fishes in Fangchenggang Gulf

ZENG Lei^{1,2,3}, TANG Zhenzhao^{1,2,3}, JIA Xiaoping^{1,2,3}, YU Jie^{1,2,3}, CHEN Guobao^{1,2,3}

1. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China;
2. Key Laboratory of Marine Ranch Technology, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China;
3. Scientific Observing and Experimental Station of South China Sea Fishery Resources and Environment, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangzhou 510300, China

Abstract: Fishery resources density, spatial distribution, and size composition were studied in February, April, September, and November 2017, primarily based on an acoustic method to explore the fish gathering effect of artificial reefs in Fangchenggang Gulf. A total of 201 nekton and benthic invertebrate species (including 126 fish species, 32 crab species, 20 decapod species, 11 squilloidea species, and 12 cephalopoda species) were collected in artificial reefs (and areas adjacent to the reefs) in the Fangchenggang Gulf. The results of a two-way ANOVA showed that the spatial and temporal differences in fishery resource density in the investigated area are significant ($P < 0.001$). The interaction between seasons and regions is also significant ($P < 0.001$). The fishery resource density of the artificial reefs area (547745 ind/n mile²) was nearly 2.7-times greater than that of the surrounding area (203990 ind/n mile²), showing an obvious fish gathering effect of artificial reefs in February. The types of fish were mainly benthic and rockfishes such as *Parargyrops edita*, *Saurida tumbil*, and *S. undosquamis*. Small size individuals accounted for a large percentage in the artificial reef area and their average target strengths (TS) were -55.6 dB (in February), -54.5 dB (in April), -53.6 dB (in September), and -52.2 dB (in December), respectively, which displayed a gradually increasing trend of TS values with the individual growth. In the vertical direction, more than 90% of single echo detections were distributed in the middle and deeper layers (9~16 m) of the artificial reef area in the February and April investigations. In conclusion, the construction of artificial reefs in Fangchenggang Gulf revealed an obvious downward gathering effect on the small size rockfishes, which supports the need for systematic evaluation of the ecological effect of marine ranching.

Key words: artificial reefs; fishery resources; size composition; spatial distribution; Fangchenggang Gulf

Corresponding author: CHEN Guobao. E-mail: chengb98@163.com