



马鞍列岛海域渔业资源声学评估

郭禹, 章守宇*, 程晓鹏, 林军

(上海海洋大学海洋生态与环境学院, 上海 201306)

摘要: 为掌握马鞍列岛岛礁海域渔业资源时空分布特征及其与环境间的关系, 于2016年12月、2017年3月与5月, 使用BioSonics DT-X科学回声探测仪辅以拖网采样对该海域进行3次声学调查。调查结果显示, 2016年12月、2017年3月与5月分别评估鱼类46、32、43种, 3次声学调查评估鱼类平均丰度密度分别为 2.7×10^4 、 1.98×10^4 和 1.45×10^4 尾/ km^2 , 鱼类平均资源量密度分别为0.33、0.34和0.30 t/ km^2 , 海域内评估鱼类资源总量分别为132、141和126 t。结果显示, 3次调查鱼类丰度密度逐渐递减, 3月资源量密度和资源量最高, 其次为12月和5月。海区底层资源密度最高, 中层次之, 表层最少, 资源密度水平分布与水深之间无明显线性关系, 底层资源丰度密度与底质中粉砂质含量呈显著正相关性($R^2 > 0.75$)。近礁区资源丰度密度远高于远礁区, 近礁区各月资源丰度密度与温度、盐度无显著线性关系, 与溶解氧之间呈一定线性关系($R^2 = 0.72$); 远礁区各月资源丰度密度与温度呈显著线性关系($R^2 = 0.91$), 与溶解氧间线性相关性较弱($R^2 = 0.63$), 与盐度间无明显线性关系。研究证实声学方法在马鞍列岛岛礁海域渔业资源评估中具有良好的作用效果, 为后续进一步开展岛礁海域以及人工鱼礁区渔业资源增殖效果评估研究提供了科学依据与现实基础。

关键词: 渔业资源; 声学调查; 资源评估; 时空分布; 环境因子; 马鞍列岛

中图分类号: S 931

文献标志码: A

岛礁海域作为近岸典型栖息地, 以其独特的环境条件成为海洋中生物多样性及渔业资源较丰富的生态系统^[1], 该环境对海洋生物资源保护与养护至关重要, 其功能效应得到国内外生态与资源学者的广泛关注与认可。岛礁海域属基岩相底质, 海底地形复杂, 流场形式多样, 营养盐充足, 浮游植物、底栖藻类等初级生产力较高, 为底栖生物与游泳生物提供栖息场所^[2], 满足其生长、发育与繁殖阶段的避敌、摄食、产卵等需求, 造就多样化生物群落, 海域渔业资源颇为丰富, 其中对趋礁性、恋礁性及洄游性鱼类作用效果最为显著^[3-4]。岛礁海域内受礁堆分布与规模差异影响, 其内部生境条件复杂, 各

区段海域渔业资源分布不均, 受错综复杂的岛礁位置及地形限制影响, 对海域内渔业资源生物量与空间分布研究的成效甚微, 寻找高效、准确的调查方法是掌握岛礁海域资源状态的关键与前提。传统网具采样法(拖网和刺网)是调查渔业资源最常用的方法, 可以准确直观地提供渔获物种类组成、体长、体质量等生物学信息^[5], 但这种方法面临渔具捕捞效率低、取样面积小、取样数据不连续等问题, 特别是在岛礁海域应用中受周围岛礁及复杂岩礁生境构造的影响, 网具无法深入, 潜水法对人员身体素质及海况要求较高, 实现大面积调查可行性较低。近年来逐渐兴起的渔业资源声学调查方法以其

收稿日期: 2019-05-22 修回日期: 2019-12-17

资助项目: 国家重点研发计划(2019YFD0901303); 农业农村部公益性行业(农业)科研专项(201303047)

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

数据连续性高^[6]、不破坏生物资源、时空数据丰富等优势,被广泛应用于远洋、近岸、海洋牧场、养殖区以及内陆水体渔业资源调查^[7-10],结合传统网具采样,能较好地掌握渔业资源量及空间分布格局。

马鞍列岛是我国东海区重要的岛礁之一,海域受长江和钱塘江径流、黄海冷水团及台湾暖流的共同影响,地理条件独特而有优势,具有丰富的渔业资源^[11],全面系统地查明复杂生境条件下生物资源分布规律及其与环境的关系,对于认知岛礁特征、合理开发利用和制定岛礁资源保护措施具有重要意义。本研究采用声学调查方法,辅以拖网取样,对马鞍列岛岛礁海域渔业资源进行了3次本底调查,同步测量海域内温度、盐度、溶解氧、底质粒径等环境数据,分析了海域内鱼类组成、丰度密度、资源量及空间分布特征,探讨资源分布与各环境因子间的关系,旨在为岛礁生境渔业资源研究提供基础数据与新思路。

1 材料与方法

1.1 调查海域与站点分布

调查区域为浙江嵊泗马鞍列岛保护区(122°38'24"~123°2'36"E, 30°42'15"~30°54'20"N),位于舟山群岛东北部,为东海区重要的岛礁海域之一,内部包含人工鱼礁投放区,声学本底调查水域面积为420 km²,海域水深变化范围较大,为23~78 m。实验采用平行断面的方式进行走航调查,站点设置既需要有能够满足声学调查中站点覆盖整个海域内各种类型的生物分布区,同时又需要具备拖网取样的代表性及可行性特征,共设计12个站点,其中S1~S9(近礁区)位于岛礁海域,岛礁以外海域选取3个站点S10~S12(远礁区)作为对照。每个站点除拖网取样外,进行温度、盐度、溶解氧及底质调查,具体站位分布见图1,其中S2站点为岛礁区内人工鱼礁站点。

1.2 声学数据采集与分析

声学调查时间分别为2016年12月、2017年3月和5月,利用当地渔船装载BioSonics公司的DT-X型回声探测系统对声学数据与走航位置信息进行同步采集与存储。仪器工作频率为430 kHz,波束角为7.0°,采用垂直探测方式。

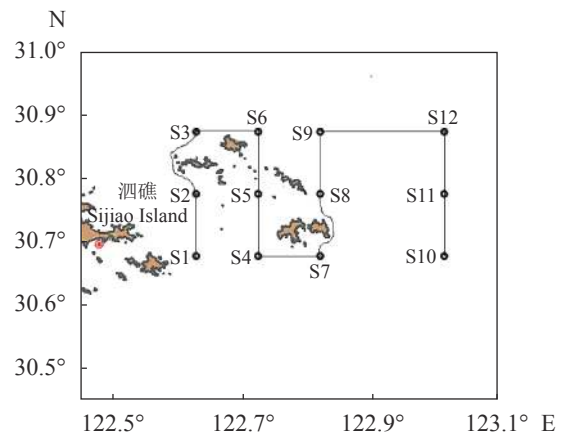


图1 拖网站点与声学调查航线示意图

Fig. 1 Trawling sites and acoustic survey sketch

换能器固定于船侧水下1 m,以减少船只走航过程中海水表层气泡噪声对数据采集产生的影响。发射脉冲宽度为0.4 ms,脉冲发射频率为15 Hz,后向体积散射强度数据采集阈值为-130 dB。采用直径为17 mm的钨钢合金标准球进行现场校准。利用BioSonics Acquisition 6.0软件采集水声学数据,使用Garmin Oregon 45型GPS仪对位置信息进行实时观测,并通过Garmin GPS 17x HVS软件对采集的数据同步保存,声学数据与GPS数据同步保存在连接收发装置的电脑上。走航船速为5~7 kn。

声学数据分析使用Echoview软件公司的Echoview渔业声学数据处理软件,采用回波积分法通过回放所采集的声学回波映像数据,在回波映像处理过程中剔除评估种类以外的背景噪声信号,其中包括海表噪声、浮游生物噪声、机器扰动噪声及海底多重回波噪声等。声学数据分析的对象为换能器表面2 m以下至海底之上0.3 m的水体,为屏蔽浮游生物等弱散射体的回波信号,将体积散射强度和目标强度回波映像中最小阈值分别设为-80与-75 dB,分析处理声学信号时,由于接收信号已经过散射损失和吸收损失修正,无需逐一分辨目标回波,可直接对全水层回波信号进行累加或积分处理,基本积分航程单元设为0.5 n mile。

1.3 生物学与环境数据采集与分析

在进行声学走航调查的同时,利用拖网采集鱼类样品以辅助声学映像分析,共采集12个设置站位的生物样品,各站位拖网时间为30 min,平均拖速约2.5 kts,选取底拖网网具全长30 m,

网口垂直高度 2 m, 水平宽度 5 m, 网口网目尺寸 2.5 cm。对采集的所有渔获物样品进行现场分类包装并冷冻保存, 之后将样品带回实验室进行分类处理与分析测量, 获得资源种类、数量、体长与体质量等生物学参数, 为渔业资源声学评估提供生物学数据基础。

1.4 渔业资源丰度密度与资源量评估

按照多种类海洋渔业资源声学评估方法的原理和程序, 对鱼类进行资源量评估, 声学处理积分分配以拖网渔获物数据为准。调查区域内每种鱼类资源丰度密度 (尾/km³) 为^[12-13]:

$$\rho_j = C_j \times \frac{NASC}{4\pi\sigma}$$

式中, C_j 为分析水域内给定鱼种 j 在总生物量中所占数量的百分比, $NASC$ (m²/n mile², nautical area scattering coefficient) 为站点断面处参与积分值分配生物种类的总积分值, σ 为分析水域内所有生物种类的平均声学截面 (m², backscattering cross-section)。其中:

$$\sigma = \sum_{j=1}^n \left(C_j \times 10^{\frac{TS_j}{10}} \right)$$

式中, n 为分析水域内所有鱼体种类, TS_j 为分析水域内给定鱼种 j 的目标强度 (dB), 目标强度可表示为:

$$TS_j = 20 \lg l_j + b_{20}$$

式中, l_j 为第 j 种鱼体的平均体长 (cm), b_{20} 为第 j 种鱼体的目标强度参数 (dB), 通过查阅已有相关文献获得^[10]。第 j 种鱼类资源量密度 (p_j , kg/n mile²) 可表示为:

$$p_j = C_j \times \frac{NASC}{4\pi\sigma} \times \frac{W_j}{1000}$$

式中, W_j 为分析水域内第 j 种鱼的平均体质量 (kg)。计算走航断面上资源丰度密度及其分布, 进而评估海域内渔业资源量。

1.5 资源丰度密度的空间分布特征

为了解鱼类资源丰度密度的空间分布特征, 以 2 m 深度为积分单元对声学数据进行分层, 将各分层积分单元数据以水面以下 2~10 m、水面以下 10 m~海底以上 10 m 和海底以上 10 m~海底分为表、中、底层, 计算并分析各水层内鱼类资源丰度密度, 通过 SPSS 软件进行线性回归, 分析垂直向资源丰度密度与水深间的相关性; 以各站点总深度作为积分整体, 计算其资源丰

度密度, 分析获得水平向资源丰度密度与站位深度间的相关性。

为了解岛礁生境条件对鱼类资源空间分布的影响, 分别分析温度、盐度、溶解氧及底质类型差异对鱼类资源丰度密度的影响效果, 其中温度、盐度、溶解氧使用仪器 CTD (SBE 19Plus V2) 对每个拖网站位的垂直剖面数据进行测量, 底质数据采用大型抓斗采泥器采集表层 20 cm 左右的底质样品, 测定样品粒径组成, 用于探明底质类型。

2 结果

2.1 拖网渔获物信息

2016 年 12 月拖网共捕获鱼类 52 种、虾类 18 种、蟹类 13 种、头足类 8 种、贝类 18 种; 2017 年 3 月拖网共捕获鱼类 35 种、虾类 13 种、蟹类 9 种、头足类 6 种、贝类 7 种; 2017 年 5 月拖网共捕获鱼类 46 种、虾类 15 种、蟹类 11 种、头足类 4 种、贝类 9 种。3 次调查中, 渔获物种类组成存在差异, 且各航次具有独特的优势种类, 本次声学评估种类为去除鲆鲽类、虾类、蟹类、头足类和贝类以外的所有鱼类, 因此 2016 年 12 月、2017 年 3 月和 5 月声学评估鱼类分别为 46、32 和 43 种。尽管各航次评估鱼类种类较多, 但种类分布集中度较高, 优势种明显, 各航次数量组成超过 1% 的鱼类生物学信息如表 1 所示。

各航次优势种均存在差异, 其中龙头鱼 (*Harpodon nehereus*) 和棘头梅童鱼 (*Collichthys licidus*) 属于 3 个航次中的相同优势种。2016 年 12 月龙头鱼为绝对优势种, 占评估鱼类数量的 72.37%; 2017 年 3 月绝对优势种为凤鲚 (*Coilia mystus*), 占评估鱼类数量的 44.03%, 龙头鱼比例显著减少, 但数量仍处于渔获物总量第二位, 约占 18.64%; 2017 年 5 月无明显绝对优势种鱼类出现, 数量组成比例最高的为黑鳃梅童鱼 (*C. niveatus*), 占 25.29%, 龙头鱼其次, 约占 19.08%, 3 个航次中棘头梅童鱼所占比例分别为 3.41%、14.56% 和 3.44%。

2.2 声学评估资源密度与资源量

3 次调查中, 2016 年 12 月鱼类资源丰度密度最高, 为 2.7×10^4 尾/km², 其次为 2017 年 3 月, 为 1.98×10^4 尾/km², 2017 年 5 月鱼类资源丰度密度最低, 为 1.45×10^4 尾/km²。近礁区鱼类资源丰

表 1 各航次渔获物数量百分比大于 1% 的鱼类生物学组成信息

Tab. 1 Biological composition information of fish number percentage greater than 1% for each voyage

| 时间 time | 种类 species | 数量/尾 fish number | 百分比/% percentage | 体长/mm body length | | 体质量/g body weight | |
|-----------------------------------|--|---------------------|---------------------|----------------------|--------------|----------------------|------------|
| | | | | 范围 range | 均值 mean | 范围 range | 均值 mean |
| 2016年12月 December, 2016 | 龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i> | 7 967 | 72.37 | 72~226 | 149 | 0.85~54.10 | 17.27 |
| | 凤鲚 <i>Coilia mystus</i> | 1 496 | 13.59 | 114~187 | 147 | 3.90~17.70 | 9.14 |
| | 棘头梅童鱼 <i>Collichthys licidus</i> | 375 | 3.41 | 80~157 | 128 | 4.50~31.10 | 19.78 |
| | 狼牙虾虎鱼 <i>Odontamblyopus rubicundus</i> | 310 | 2.82 | 112~190 | 118 | 3.40~10.70 | 3.90 |
| | 黄鲫 <i>Setipinna tenuifilis</i> | 282 | 2.56 | 95~173 | 134 | 4.80~40.20 | 15.93 |
| | 黑颧梅童鱼 <i>Collichthys niveatus</i> | 191 | 1.73 | 52~100 | 78 | 0.80~8.20 | 5.43 |
| 2017年3月 March, 2017 | 凤鲚 <i>Coilia mystus</i> | 907 | 44.03 | 81~170 | 124 | 1.32~11.81 | 4.66 |
| | 龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i> | 384 | 18.64 | 81~220 | 152 | 1.61~51.60 | 12.36 |
| | 棘头梅童鱼 <i>Collichthys licidus</i> | 300 | 14.56 | 127~174 | 136 | 17.31~50.52 | 21.74 |
| | 黄鲫 <i>Setipinna tenuifilis</i> | 186 | 9.03 | 90~166 | 128 | 3.14~31.3 | 13.99 |
| | 虹鲆 <i>Erisiphex pottii</i> | 67 | 3.25 | 32~57 | 47 | 0.50~6.10 | 1.84 |
| | 矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i> | 44 | 2.13 | 46~178 | 110 | 0.40~17.10 | 6.76 |
| | 红娘鱼 <i>Lepidotrigla microptera</i> | 38 | 1.84 | 166~353 | 201 | 42.50~500.50 | 85.40 |
| 星康吉鳗 <i>Conge myriaster</i> | 22 | 1.07 | 239~544 | 383 | 14.50~239.60 | 112.20 | |
| 2017年5月 May, 2017 | 黑颧梅童鱼 <i>Collichthys niveatus</i> | 456 | 25.29 | 37~59 | 48 | 0.72~1.81 | 1.20 |
| | 龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i> | 344 | 19.08 | 123~229 | 188 | 7.71~74.65 | 40.91 |
| | 刺鲳 <i>Psenopsis anomala</i> | 258 | 14.31 | 60~92 | 72 | 4.24~13.54 | 7.65 |
| | 银鲳 <i>Pampus argenteus</i> | 130 | 7.21 | 28~298 | 82 | 0.91~275.02 | 22.93 |
| | 黄鲛鳔 <i>Lophius litulon</i> | 89 | 4.94 | 75~106 | 95 | 4.40~17.42 | 13.79 |
| | 狼牙虾虎鱼 <i>Odontamblyopus rubicundus</i> | 74 | 4.10 | 106~196 | 112 | 3.14~10.10 | 4.50 |
| | 皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belangerii</i> | 66 | 3.66 | 93~156 | 123 | 8.14~42.10 | 25.25 |
| | 棘头梅童鱼 <i>Collichthys licidus</i> | 62 | 3.44 | 41~176 | 128 | 0.55~53.30 | 32.29 |
| 小黄鱼 <i>Larimichthys polyactis</i> | 52 | 2.88 | 150~197 | 159 | 33.82~68.11 | 43.99 | |

度密度与总体鱼类资源丰度密度时间变化趋势相同, 2016年12月、2017年3月和5月评估鱼类资源丰度密度分别为 3.30×10^4 、 2.07×10^4 和 1.65×10^4 尾/ km^2 , 而远礁区鱼类资源丰度密度分别为 0.88×10^4 、 0.49×10^4 和 0.83×10^4 尾/ km^2 , 近礁区鱼类资源丰度密度明显高于远礁区。基于这种丰度密度分布形式, 资源量密度与丰度密度分布形式存在差异, 3次调查中, 海域内鱼类资源量密度相差较小且无较大波动, 其中2017年3月资源量密度最高, 为 $0.34 \text{ t}/\text{km}^2$, 2016年12月与2017年5月资源量密度分别为 0.33 与 $0.30 \text{ t}/\text{km}^2$, 近礁区与远礁区鱼类资源量密度分布均

匀。以声学方式评估鱼类资源, 3次调查海域内评估鱼类资源总量分别为 132、141 和 126 t。声学评估结果显示, 2016年12月、2017年3月和5月数量组成超过 1% 的鱼类资源信息见表 2, 其资源量占各月调查资源量总和的比例分别为 91.58%、51.14% 和 77.36%。

2.3 资源分布空间差异

3次调查中, 不同时间相同站位鱼类资源丰度密度差异较大, 各航次海域内 12 个站位鱼类资源丰度密度水平分布不均 (图 2)。2016年12月鱼类资源丰度密度明显高于其他 2 个航次, 3 个航次中远礁区鱼类丰度密度总体低于近礁区,

表 2 各航次渔获物数量百分比超过 1% 的鱼类资源丰度和资源量信息

Tab. 2 Abundance and biomass information of fish number percentage greater than 1% for each voyage

| 时间 time | 种类 species | 丰度密度/ ($\times 10^4$ 尾/ km^2) abundance density | 资源量密度/ (t/km^2) biomass density | 丰度/($\times 10^4$ 尾) abundance | 资源量/t biomass |
|-----------------------------------|--|--|---|------------------------------------|------------------|
| 2016年12月 December, 2016 | 龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i> | 1.556 | 0.207 | 653.779 | 87.122 |
| | 凤鲚 <i>Coilia mystus</i> | 0.398 | 0.029 | 167.311 | 12.323 |
| | 棘头梅童鱼 <i>Collichthys licidus</i> | 0.176 | 0.036 | 74.222 | 15.127 |
| | 狼牙虾虎鱼 <i>Odontamblyopus rubicundus</i> | 0.102 | 0.005 | 43.146 | 2.436 |
| | 黄鲫 <i>Setipinna tenuifilis</i> | 0.057 | 0.008 | 24.208 | 3.529 |
| 2017年3月 March, 2017 | 黑鳃梅童鱼 <i>Collichthys niveatus</i> | 0.050 | 0.003 | 23.174 | 1.159 |
| | 凤鲚 <i>Coilia mystus</i> | 0.829 | 0.032 | 348.572 | 13.600 |
| | 龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i> | 0.269 | 0.027 | 113.141 | 11.636 |
| | 棘头梅童鱼 <i>Collichthys licidus</i> | 0.261 | 0.059 | 109.831 | 25.099 |
| | 黄鲫 <i>Setipinna tenuifilis</i> | 0.228 | 0.020 | 95.895 | 8.485 |
| | 蛇鲻 <i>Erisphex pottii</i> | 0.021 | 0.000 4 | 9.081 | 0.154 |
| | 矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i> | 0.015 | 0.001 | 6.529 | 0.473 |
| | 红娘鱼 <i>Lepidotrigla microptera</i> | 0.023 | 0.023 | 9.689 | 9.782 |
| 2017年5月 May, 2017 | 星康吉鳗 <i>Conge myriaster</i> | 0.016 | 0.007 | 6.934 | 3.011 |
| | 黑鳃梅童鱼 <i>Collichthys niveatus</i> | 0.355 | 0.004 | 149.346 | 1.753 |
| | 龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i> | 0.356 | 0.134 | 149.805 | 56.425 |
| | 刺鲳 <i>Psenopsis anomala</i> | 0.163 | 0.012 | 68.784 | 5.082 |
| | 银鲳 <i>Pampus argenteus</i> | 0.066 | 0.009 | 28.004 | 4.070 |
| | 黄鲛鳕 <i>Lophius litulon</i> | 0.082 | 0.012 | 34.659 | 5.172 |
| | 狼牙虾虎鱼 <i>Odontamblyopus rubicundus</i> | 0.053 | 0.004 | 22.286 | 1.695 |
| | 皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belangerii</i> | 0.115 | 0.022 | 48.365 | 9.557 |
| | 棘头梅童鱼 <i>Collichthys licidus</i> | 0.059 | 0.007 | 24.811 | 3.268 |
| 小黄鱼 <i>Larimichthys polyactis</i> | 0.053 | 0.024 | 22.499 | 10.113 | |

近礁区海域资源丰度密度水平分布差异性较大, 其中 2017 年 3 月近礁区资源丰度密度水平分布均匀度高于 2016 年 12 月与 2017 年 5 月, 而远礁区海域资源丰度密度水平分布均匀度均较低。

对不同水层的鱼类回波进行积分, 获得调查海域内表、中、底层渔业资源丰度密度(表 3)。3 次调查中近礁区与远礁区鱼类资源丰度密度最大值处于底层水域, 其次为中层水域, 表层水域丰度密度最低, 各航次对应水层下仍存在近礁区丰度密度大于远礁区的特点。近礁区表、中、底层鱼类资源丰度密度相差较大, 而远礁区变化差异较小; 近礁区相同水层鱼类资源丰度密度 2016 年 12 月最大, 2017 年 3 月与 5 月逐

渐递减, 远礁区则无此现象。

对 3 次调查海域内各站位渔业资源丰度密度、资源量密度与水深进行线性回归后发现, 资源量密度较丰度密度随深度变化显著, 尤其 2016 年 12 月的资源量密度随深度增加而逐渐递增的趋势较显著(图 3), 其决定系数 R^2 为 0.71; 2017 年 3 月与 5 月, 资源量密度随水深线性回归系数仅分别为 0.68 和 0.49。3 次调查中, 鱼类资源丰度密度与水深的线性回归系数分别为 0.59、0.41 和 0.36, 因此, 鱼类丰度密度和资源量密度与水深间均无显著线性关系。

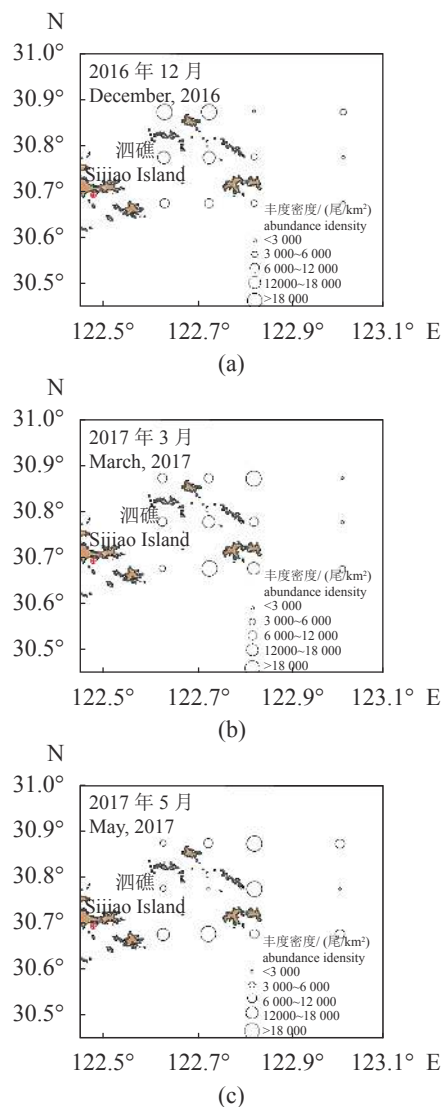


图2 鱼类资源丰度密度水平空间分布

Fig. 2 Horizontal spatial distribution of fish resource abundance density

2.4 资源密度与环境关系

图4, 图5和图6分别为2016年12月、2017年3月和5月调查海域内表、中、底层温度、盐度及溶解氧对鱼类资源丰度密度的影响情况, 结果表明该海域不同月份与水层鱼类资源丰度密度水平分布均不受温度、盐度与溶解氧影响。

以上结果表明, 底层鱼类资源量最大, 对底层鱼类资源丰度密度与底质类型分布关联性的研究表明, 远礁区鱼类资源分布受底质类型差异的影响较小, 近礁区鱼类资源分布受底质类型差异的影响较为显著。图7为近礁区底层鱼类资源丰度密度与底质类型分布关系图, 其中黏土质、粉砂质和砂质划分的底质粒径范围分

别为 $0.01\sim 4\ \mu\text{m}$ 、 $4\sim 63\ \mu\text{m}$ 和 $63\sim 2\ 000\ \mu\text{m}$ 。如图所示, 近礁区鱼类丰度密度分布与粉砂质底质含量呈显著正相关, 2016年12月、2017年3月和5月3个航次相关系数 R^2 分别为0.76、0.76和0.75, 丰度密度与黏土质和砂质底质分布无相关性。

在调查海域内接近礁区与远礁区的差异, 分析2016年12月、2017年3月和5月鱼类平均丰度密度与温度、盐度和溶解氧之间的关系。近礁区平均丰度密度随溶解氧含量升高而降低, 回归结果显示二者存在一定线性关系($R^2=0.72$) (表4), 表达式: 丰度密度 $=8.52-7.47 D$, D 为溶解氧含量(mg/L); 近礁区鱼类平均丰度密度与温度和盐度之间无显著线性关系。

远礁区资源丰度密度季节分布与近礁区不同, 该海域各月丰度密度受温度影响显著, 丰度密度随温度升高而升高, 回归分析结果显示二者存在显著线性关系($R^2=0.91$), 表达式: 丰度密度 $=0.05 T-0.12$, T 为温度($^{\circ}\text{C}$); 平均资源丰度密度随溶解氧含量升高而降低, 但相对于近礁区显著性较弱($R^2=0.63$), 表达式: 丰度密度 $=2.11-1.81 D$, 平均丰度密度与盐度间不存在相关性, 与近礁区相同。

3 讨论

3.1 季节差异对渔业资源的影响

三次调查中, 2016年12月鱼类资源平均丰度密度最高, 2017年3月次之, 2017年5月最低, 12月平均丰度密度显著高于其他月份, 并出现绝对优势种龙头鱼。2017年3月平均资源量密度最高, 其次为2016年12月, 2017年5月最低, 丰度密度与资源量密度月份分布规律并不同步, 这主要由于各鱼体在不同时间的生长状态不同及不同鱼种在不同时间内自身体质量存在差异所致。以龙头鱼为例, 12月龙头鱼数量占绝对优势, 3月和5月数量迅速降低, 而拖网调查结果显示, 12月龙头鱼平均体质量为17.27 g, 3月和5月平均体质量分别为22.36和40.91 g, 说明12月小个体龙头鱼较多, 进而影响整体平均资源量密度分布。东海区除单层刺网和钓业外, 其他作业形式从6月1日—9月12日进入休渔期, 休渔结束后对大个体的捕捞和部分产卵个体引起的幼鱼增加, 可能是导致8月平均体质量与平均资源量密度较低的重要原因。

表 3 各航次海域内表、中、底层鱼类资源丰度密度信息

Tab. 3 Fish abundance density information for surface, middle and bottom layers for each voyage

| 时间 time | 水层 layer | 丰度密度(近礁区)/(10 ⁴ 尾/km ²) abundance density (near reefs) | 丰度密度(远礁区)/(10 ⁴ 尾/km ²) abundance density (far reefs) |
|----------------------------|---------------------|--|---|
| 2016年12月 December, 2016 | 表层 surface layer | 0.359 | 0.176 |
| | 中层 middle layer | 1.074 | 0.312 |
| | 底层 bottom layer | 1.871 | 0.394 |
| 2017年3月 March, 2017 | 表层 surface layer | 0.166 | 0.022 |
| | 中层 middle layer | 0.790 | 0.045 |
| | 底层 bottom layer | 1.121 | 0.427 |
| 2017年5月 May, 2017 | 表层 surface layer | 0.147 | 0.096 |
| | 中层 middle layer | 0.590 | 0.256 |
| | 底层 bottom layer | 0.919 | 0.478 |

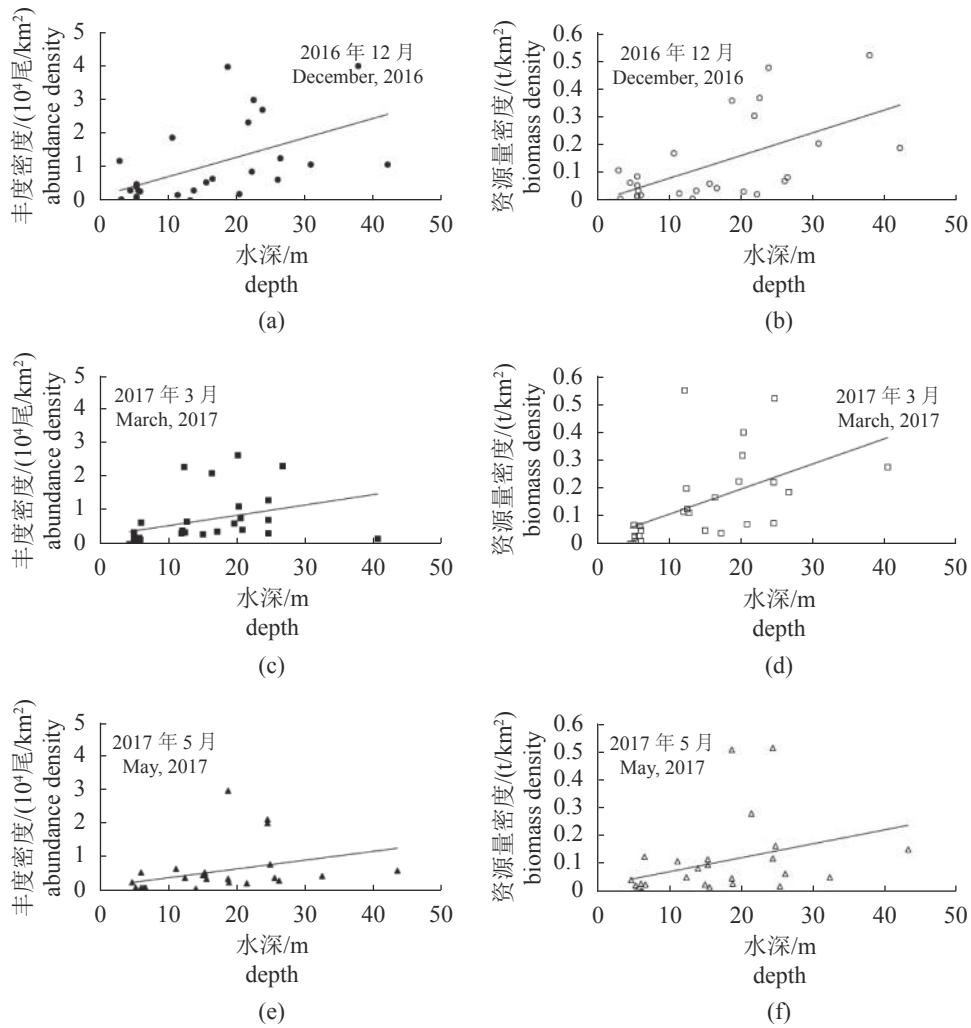


图 3 各航次鱼类资源丰度密度与资源量密度随深度变化趋势

Fig. 3 Correlation between fish abundance and biomass density variation with depth for each voyage

本次 3 个月的调查中, 平均资源量密度差异较小, 其中 3 月平均资源量密度最高, 而以往对整个东

海区渔业资源调查的结果显示, 冬季渔业资源为四季中最低^[14], 这与本结果存在出入, 可能由

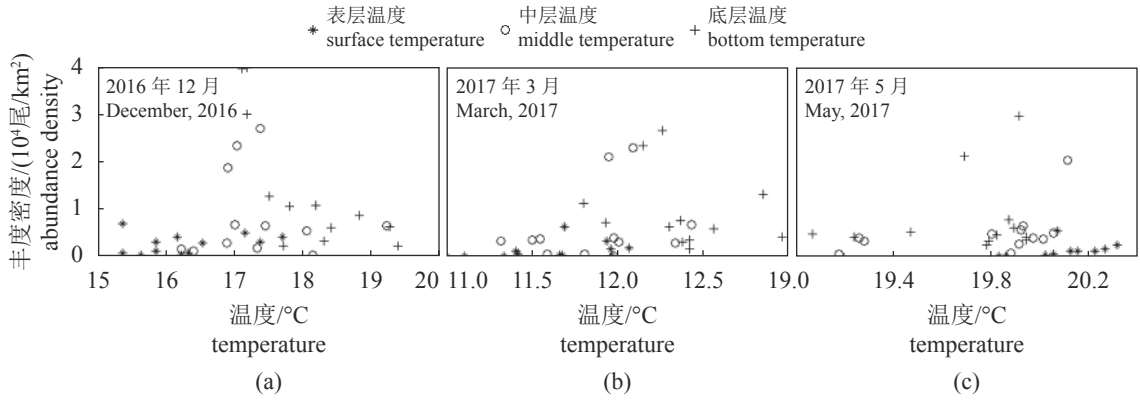


图 4 各月资源丰度密度与温度的关系

Fig. 4 Correlation between fish abundance density and temperature for each month

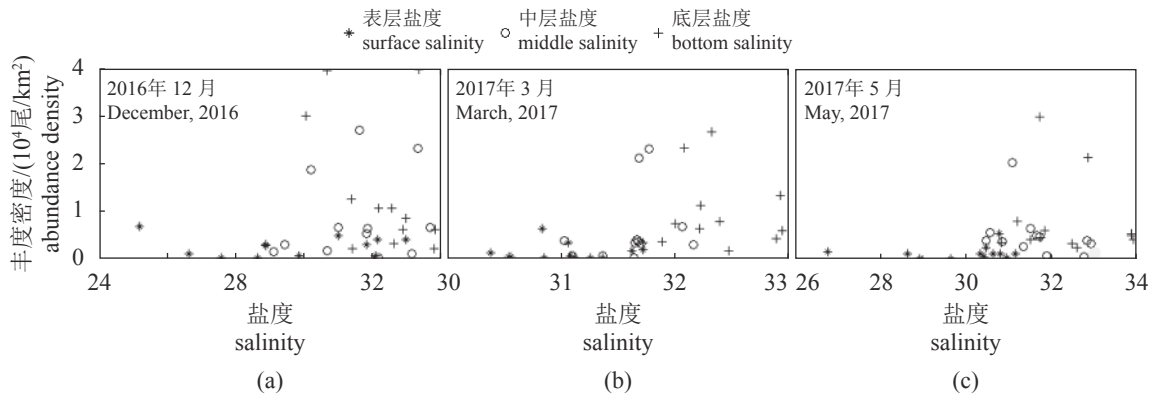


图 5 各月资源丰度密度与盐度的关系

Fig. 5 Correlation between fish abundance density and salinity for each month

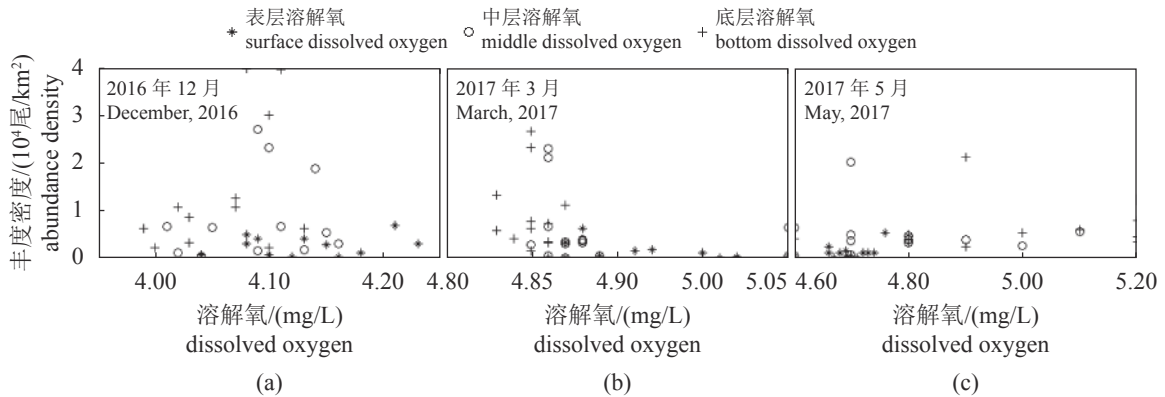


图 6 各月资源丰度密度与溶解氧的关系

Fig. 6 Correlation between fish abundance density and dissolved oxygen for each month

于本次调查海域正位于岛礁区，地形复杂，岛礁海域具有其独特的生物种类特点，无外海区的越冬等行为，因此流动性较少；此外该岛礁区生长大量海藻作为鱼类等生物的饵料，海藻于5月份开始脱落，7月份孢子脱落长成新藻体，故而12月和3月相对5月而言饵料较为丰富，

这也可能是导致平均资源量密度季节分布差异的原因^[15-16]。

3.2 环境条件对渔业资源空间分布的作用

环境条件是影响海洋渔业资源空间分布的重要原因，除海域自身的功能特性外，深度也

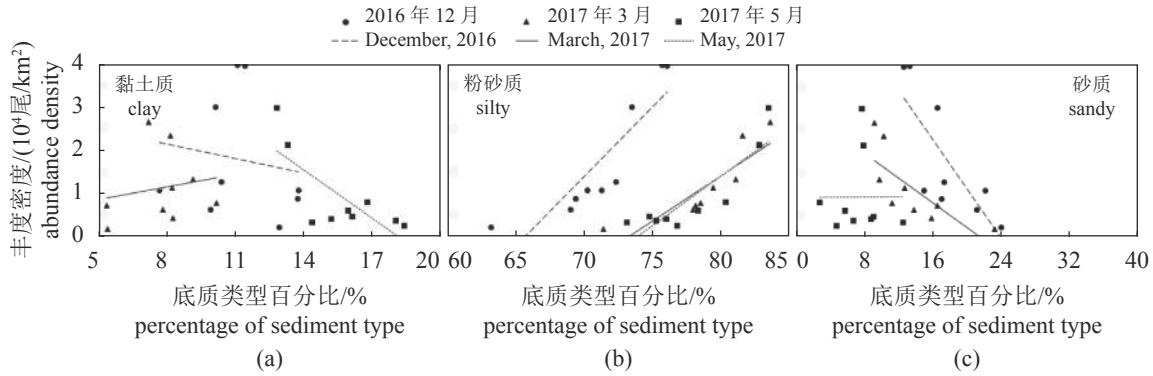


图7 底层鱼类资源丰度密度与底质类型的关系

Fig. 7 Correlation between fish abundance density of bottom layer and sediment types

表4 各航次鱼类平均丰度密度与环境因子的关系

Tab. 4 Correlation between fish mean abundance density and environmental factors for each voyage

| 时间 time | 温度/°C temperature | | 盐度 salinity | | 溶解氧/(mg/L) dissolved oxygen | | 丰度密度/(10 ⁴ 尾/km ²) abundance density | |
|----------------------------|----------------------|------------------|-------------------|------------------|--------------------------------|------------------|--|------------------|
| | 近礁区 near reefs | 远礁区 far reefs | 近礁区 near reefs | 远礁区 far reefs | 近礁区 near reefs | 远礁区 far reefs | 近礁区 near reefs | 远礁区 far reefs |
| | 近礁区 near reefs | 远礁区 far reefs | 近礁区 near reefs | 远礁区 far reefs | 近礁区 near reefs | 远礁区 far reefs | 近礁区 near reefs | 远礁区 far reefs |
| 2016年12月 December, 2016 | 16.63 | 18.14 | 29.64 | 32.23 | 4.12 | 4.26 | 3.3 | 0.88 |
| 2017年3月 March, 2017 | 11.58 | 12.23 | 31.02 | 32.20 | 4.91 | 4.84 | 2.07 | 0.49 |
| 2017年5月 May, 2017 | 20.07 | 19.71 | 30.00 | 32.35 | 4.85 | 4.79 | 1.65 | 0.83 |

是影响海区渔业资源的固有因素, 还包括温度、盐度、溶解氧、底质条件等外在环境因子^[17]。温度是影响海洋鱼类分布的重要因素之一^[18], 盐度与溶解氧含量也会对鱼类分布产生影响^[19-20], 本研究表明, 3次调查中相同月份各站点鱼类资源丰度密度与温度、盐度、溶解氧之间并无明显线性关系, 而董静瑞等^[21]对温州南部海域的研究结果表明, 鱼类群落特征与温度、盐度及溶解氧均存在正相关, 造成此结果的原因, 一方面由于二者所选择的鱼类资源特征不同, 本研究针对资源数量, 而后者是关于资源种类的研究, 说明温度、盐度与溶解氧影响资源种类多样性, 但对资源数量影响较小; 另一方面可能由于本次调查海域位置的特殊性, 整个调查区域面积较小, 环境因子在宏观上差异不明显, 同时调查区域被岛礁分隔, 每个站位间相互影响较小, 均具有其相对独立的环境条件, 因此温度、盐度、溶解氧对资源丰度密度影响不显著。以距岛礁的距离将调查站位分为近礁区与远礁区, 回归分析显示各月份近礁区与远礁区平均丰度密度都与溶解氧含量呈一定相关性, 说明溶解氧是影响鱼类资源丰度密度随时间变化的原因之一。远礁区各月份鱼类资源平均丰

度密度受温度影响显著, 而近礁区则与温度无相关性, 主要由于远礁区受岛礁影响较小, 水深较深, 水温仅受季节差异的影响, 与地理位置无关; 而近礁区受岛礁影响, 水深差异较大, 各位置水温除受季节影响外, 还与位置、风速、流场作用有关, 因此鱼类资源密度与温度无任何相关性。整个海域各月盐度无明显差异, 而盐度回归结果也表明, 各月鱼类资源平均丰度密度与盐度无任何相关性, 证明盐度并不是马鞍列岛岛礁海域鱼类资源丰度变化的影响因素^[22]。

3次调查结果均显示鱼类资源平均丰度密度在底层出现最大值, 中层次之, 表层最少, 说明底层具有更加适宜鱼类生存的环境, 其中底质类型差异严重影响岛礁周围底层鱼类资源丰度密度分布情况, 结果显示, 鱼类更倾向于在粉砂质底质海域生活, 相对于岛礁附近资源分布状态, 底质差异对远离岛礁的外海区资源分布无明显影响。根据调查区域底质类型分布, 远礁区粉砂质比例均低于相应航次的近礁区, 而砂质含量高于近礁区, 主要由于岛礁的存在, 对海流产生了阻隔作用, 使泥沙出现冲、淤现象, 改变了底质类型, 进而对鱼类资源分布产生影响。

3.3 声学评估马鞍列岛近岸渔业资源的准确性

本次调查区域属于典型岛礁海域, 海域等深线图显示海区平面水深差异较大, 马鞍列岛岛礁区海底地形多变, 由于传统采样方式的限制, 对海区资源量评估存在较大困难, 而声学评估可方便地解决取样困难与调查范围受限导致的不便。本次声学走航面部分临近岛礁, 达到对岛礁海域整体资源分布的掌控和准确评估渔业资源的目的。在海洋多种类渔业资源声学评估中, 生物学取样资料是声学映像分析和积分值分配的主要依据^[23-24], 是评估渔业资源总量的重要基础, 因此准确且具代表性的取样至关重要。《渔业资源声学调查与评估》^[25]中要求声学评估需使用选择性较低的专用网具对应声学回波进行生物采样, 用于确定资源评估种类及其体长结构分布。在海洋生物样本采集方面, 由生物本身复杂的生态类型决定了任何网具采样均具有一定限制^[26-27], 本次调查使用选择性较小的拖网进行采样, 拖网站位选择由调查需要与实际地形共同决定, 满足拖网采样的全面性与可行性^[28]。本次调查海域面积 420 km², 面积内设置 12 个拖网站位, 拖网站点布设密集, 取样渔获种类丰富, 渔获样品具有较高代表性, 进一步保证了声学评估渔业资源的准确性。汪振华^[14]采用多网目组合三重刺网对本研究中的调查海域进行渔业资源调查, 结果显示, 2009 年 3 月、5 月和 12 月渔业资源总量约为 322 t, 本次调查相应月份资源总量约为 399 t, 说明声学评估结果略高于刺网调查, 这主要由于刺网调查受限于网目尺寸, 刺网渔获忽略了小于网目尺寸的鱼类。尤其本次调查中 2017 年 3 月, 鱼类数量大于 5% 的资源总重量仅占总渔获量的 51%, 这一结果说明, 3 月小个体鱼类数量较多, 刺网调查必将影响资源评估结果。同时刺网调查只限于岛礁近岸, 而声学调查不限海域位置, 调查结果基本涵盖所有鱼类个体, 因此评估结果具有一定的可靠性。尽管如此, 本次声学评估鱼类资源量准确性仍存在一定偏差, 主要由于声学数据积分时的起始水层设置为 2 m, 以上设为声学探测盲区, 盲区内鱼类视为海表噪声并被排除在积分范围之内所致, 后续调查中可增加侧扫声呐配合使用, 以确保声学数据覆盖整个调查海域, 达到对渔业资源的精确、高效评估。同时需增加岛礁海域其他环境特征调查,

<https://www.china-fishery.cn>

进一步证明其独特的生境特征及对资源分布的影响。

参考文献 (References):

- [1] 汪振华, 赵静, 王凯, 等. 马鞍列岛岩礁生境鱼类群落结构时空格局[J]. *生态学报*, 2013, 33(19): 6218-6226. Wang Z H, Zhao J, Wang K, *et al.* Fish community ecology in rocky reef habitat of Ma'an Archipelago II. Spatiotemporal patterns of community structure[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(19): 6218-6226(in Chinese).
- [2] Guidetti P. Differences among fish assemblages associated with nearshore *Posidonia oceanica* seagrass beds, rocky-algal reefs and unvegetated sand habitats in the Adriatic Sea[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2000, 50(4): 515-529.
- [3] 汪振华, 章守宇, 陈清满, 等. 马鞍列岛岩礁生境鱼类群落生态学. I. 种类组成和多样性[J]. *生物多样性*, 2012, 20(1): 41-50. Wang Z H, Zhang S Y, Chen Q M, *et al.* Fish community ecology in rocky reef habitat of Ma'an Archipelago. I. Species composition and diversity[J]. *Biodiversity Science*, 2012, 20(1): 41-50(in Chinese).
- [4] Barros F. Evaluating the importance of predation on subtidal benthic assemblages in sandy habitats around rocky reefs[J]. *Acta Oecologica*, 2005, 27(3): 211-223.
- [5] Yule D L, Stockwell J D, Cholwek G A, *et al.* Evaluation of methods to estimate lake herring spawner abundance in lake superior[J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 2006, 135(3): 680-694.
- [6] Makarov M M, Degtev A I, Kucher K M, *et al.* Estimation of the abundance and biomass of the Baikalian omul by means of trawl-acoustic survey[J]. *Doklady Biological Sciences*, 2012, 447(1): 363-366.
- [7] Koslow J A. The role of acoustics in ecosystem-based fishery management[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2009, 66(6): 966-973.
- [8] Zhang J, Chen Z Z, Chen G B, *et al.* Hydroacoustic studies on the commercially important squid *Sthenoteuthis oualaniensis* in the South China Sea[J]. *Fisheries Research*, 2015, 169: 45-51.
- [9] 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. Li N N, Chen G B, Yu J, *et al.* Assessment of biomass in artificial reef area of Yangmeikeng in Daya Bay using 中国水产学会主办 sponsored by China Society of Fisheries

- acoustic method[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2011, 35(11): 1640-1649(in Chinese).
- [10] 张俊, 陈国宝, 陈作志, 等. 南沙南部陆架海域渔业资源声学评估[J]. *南方水产科学*, 2015, 11(5): 1-10.
Zhang J, Chen G B, Chen Z Z, *et al.* Acoustic estimation of fishery resources in southern continental shelf of Nansha area[J]. *South China Fisheries Science*, 2015, 11(5): 1-10(in Chinese).
- [11] 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 and Freshwater Research*, 2015, 66(5): 429-437.
- [12] Higginbottom I, Wood S, Schneider P. Hydroacoustic data processing for standard stock assessment using echoview: technical manual[M]. Hobart: Myriax Software Pty Ltd Publication, 2008: 1-108.
- [13] Simmonds J, MacLennan D. Fisheries acoustics: theory and practice[M]. Oxford: Blackwell Science, 2005: 1-379.
- [14] 汪振华. 多元生境中的鱼类群落格局: 以马鞍列岛为例 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2011.
Wang Z H. Fish community patterns in meta-habitat: a case study from Ma'an Archipelago[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2011 (in Chinese).
- [15] 王蕾, 章守宇, 汪振华, 等. 枸杞岛近岸3种生境鱼类群落组成及岩礁区底栖海藻对鱼类群落结构的影响[J]. *水产学报*, 2011, 35(7): 1037-1049.
Wang L, Zhang S Y, Wang Z H, *et al.* Constitution of fish assemblages in three nearshore habitats and the effect of benthic macroalgae on fish assemblages in Gouqi Island[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2011, 35(7): 1037-1049(in Chinese).
- [16] 郭禹, 李纯厚, 陈国宝. 南澳白沙湾海藻养殖区内外渔业资源声学评估[J]. *水产学报*, 2018, 42(2): 226-235.
Guo Y, Li C H, Chen G B. Acoustic estimation of fishery resources inside and outside the algae breeding zone of Baishawan in Nan 'ao[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2018, 42(2): 226-235(in Chinese).
- [17] 胡奎伟, 许柳雄, 陈新军, 等. 海洋遥感在渔场分析中的研究进展[J]. *中国水产科学*, 2012, 19(6): 1079-1087.
Hu K W, Xu L X, Chen X J, *et al.* Application of ocean remote sensing on fishing ground analysis: a review[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2012, 19(6): 1079-1087(in Chinese).
- [18] 沈国英, 施并章. 海洋生态学 [M]. 第2版. 北京: 科学出版社, 2008.
- Shen G Y, Shi B Z. *Marine ecology*[M]. 2nd ed. Beijing: Science Press, 2008 (in Chinese).
- [19] 李敏, 徐宾铎, 麻秋云, 等. 时空及环境因子对黄河口及邻近水域斑鲷资源丰度的影响[J]. *中国水产科学*, 2017, 24(5): 963-969.
Li M, Xu B D, Ma Q Y, *et al.* Generalized additive model reveals effects of spatiotemporal and environmental factors on the relative abundance distribution of *Konosirus punctatus* in the Yellow River estuary and its adjacent waters[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2017, 24(5): 963-969(in Chinese).
- [20] 王小荟. 海州湾主要鱼种的空间分布及其与环境因子的关系 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.
Wang X H. Spatial distribution of dominant fish species in Haizhou Bay and their relationships with environmental factors[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013 (in Chinese).
- [21] 董静瑞, 胡成业, 水玉跃, 等. 温州南部沿岸海域鱼类群落特征及其与环境因子的关系[J]. *中国水产科学*, 2017, 24(2): 209-219.
Dong J R, Hu C Y, Shui Y Y, *et al.* Fish community structure and its relationships with environmental factors in the southern inshore waters of Wenzhou[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2017, 24(2): 209-219(in Chinese).
- [22] 王凯, 章守宇, 汪振华, 等. 马鞍列岛海域皮氏叫姑鱼渔业生物学初步研究[J]. *水产学报*, 2012, 36(2): 228-237.
Wang K, Zhang S Y, Wang Z H, *et al.* A preliminary study on fishery biology of *Johnius belangerii* off Ma'an Archipelago[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2012, 36(2): 228-237(in Chinese).
- [23] Davison P, Lara-Lopez A, Koslow J A. Mesopelagic fish biomass in the southern California current ecosystem[J]. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2015, 112: 129-142.
- [24] 李斌, 陈国宝, 郭禹, 等. 南海中部海域渔业资源时空分布和资源量的水声学评估[J]. *南方水产科学*, 2016, 12(4): 28-37.
Li B, Chen G B, Guo Y, *et al.* Hydroacoustic assessment of spatial-temporal distribution and biomass of fishery resources in the central South China Sea[J]. *South China Fisheries Science*, 2016, 12(4): 28-37(in Chinese).
- [25] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 12763.6-2007 海洋调查规

- 范第6部分:海洋生物调查[S].北京:中国标准出版社,2008:89-97.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB/T 12763.6-2007 Specifications for Oceanographic survey—Part 6: Marine biological survey[S]. Beijing: China Standard Press, 2008: 89-97 (in Chinese).
- [26] Erzini K, Gonçalves J M S, Bentes L, *et al.* Size selectivity of trammel nets in southern European small-scale fisheries[J]. *Fisheries Research*, 2006, 79(1-2): 183-201.
- [27] 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: 56-60.
- [28] 刘勇,程家骅.东海中、北部及黄海南部海域底层渔业生物多样性时空分布特征[J].水产学报,2017,41(8):1223-1236.
- Liu Y, Cheng J H. Temporal and spatial distribution of bottom fishery biodiversity in the middle and north of the East China Sea and the south of the Yellow Sea[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2017, 41(8): 1223-1236(in Chinese).

Acoustic estimation of fisheries resources off Ma'an Archipelago

GUO Yu, ZHANG Shouyu*, CHENG Xiaopeng, LIN Jun

(College of Marine Ecology and Environment, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: In order to know the spatial and temporal distribution of fishery resources and their relations with the environment in island and reef area of Ma'an Archipelago, BioSonics DT-X echosounder was used to conduct three acoustic surveys with trawl sampling in December 2016, March and May 2017. The results showed there were 46, 32 and 43 species estimated respectively in December 2016, March and May 2017, and the average abundance density were 2.7×10^4 , 1.98×10^4 and 1.45×10^4 ind/km², and the average biomass density were 0.33, 0.34 and 0.30 t/km². The biomass were 132, 141 and 126 t in the three fishery resources. The fish abundance density decreased gradually over 3 times, the biomass density and biomass were the highest in March, followed by December and May. There was no significant linear relationship between depth and resource density, which were the highest at the bottom layer, followed by middle layer and the least value at surface layer. There was a significant positive correlation between the abundance density of the bottom layer and the silty content of the sediment ($R^2 > 0.75$). There was no significant linear relationship with fishery abundance density and temperature and salinity of each month, and there was a certain linear relationship with dissolved oxygen ($R^2 = 0.72$) in the near reef area, where the fishery abundance density was much higher than that in the far reefs. There was a significant linear relationship between fishery abundance density and temperature ($R^2 = 0.91$), and the linear correlation with the dissolved oxygen was weak ($R^2 = 0.63$), and there was no significant linear relationship with the salinity. The research confirmed that the acoustic method showed good effects in island and reef area of Ma'an Archipelago of fishery resources assessment, providing the scientific basis and realistic foundation for further study on the effect assessment of island and reef and artificial reef area.

Key words: fishery resources; acoustic survey; resource estimation; spatial-temporal distribution; environmental factors; Ma'an Archipelago

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

Funding projects: National Key Research and Development Program of China (2019YFD0901303); Special Fund for Agro-scientific Research in the Public Interest (201303047)