

海南陵水湾口海域不同季节鱼类资源声学探查

李 斌^{1,2}, 陈国宝^{1,3,4,5*}, 于 杰^{1,3,4,5}, 王东旭^{1,2}, 郭 禹^{1,2}, 王志超^{1,2}

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东 广州 510300;

2. 大连海洋大学海洋科技与环境学院, 辽宁 大连 116023;

3. 农业部南海渔业资源环境科学观测实验站, 广东 广州 510300;

4. 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;

5. 广东省渔业生态环境重点实验室, 广东 广州 510300)

摘要: 在2014年11月至2016年1月间的不同季节, 利用便携式分裂波束科学探鱼仪对海南陵水湾口海域的鱼类资源进行了4次声学调查。通过回波积分方法并结合拖网采样对调查海域内渔业资源结构组成、数量密度、资源量密度及其空间分布进行了探查与评估。结果发现, 2014年11月共捕获游泳生物和底栖无脊椎动物86种, 其中55种声学评估种类平均资源数量密度和平均资源量密度分别为 9.34×10^5 尾/ km^2 和 $5.08 \text{ t}/\text{km}^2$ 。2015年8月共捕获游泳生物和底栖无脊椎动物114种, 其中63种声学评估种类平均资源数量密度和平均资源量密度分别为 1.12×10^5 尾/ km^2 和 $0.93 \text{ t}/\text{km}^2$ 。2016年1月共捕获游泳生物和底栖无脊椎动物105种, 55种声学评估种类平均资源数量密度和平均资源量密度分别为 0.16×10^5 尾/ km^2 和 $0.32 \text{ t}/\text{km}^2$ 。2015年5月共捕获游泳生物和底栖无脊椎动物56种, 其中声学评估种类34种。2014年11月和2015年8月鱼类回波均匀分布于30 m以浅水层, 2015年5月主要集中于10~20 m水层, 2016年1月则主要分布于20 m以浅水层, 20~30 m水层次之且略大于0~10、10~20 m水层的一半。调查海域内单体目标强度以小于-58 dB的小规格鱼类目标为主, 目标强度有随水深增加而增大的趋势, 且大于-50 dB的单体目标均分布于10 m以深水层。

关键词: 渔业资源; 声学评估; 时空分布; 陵水湾

中图分类号: S 931.1

文献标志码: A

陵水湾位于海南岛东南部, 为泻湖性港湾, 是海南省重点海洋开发区^[1]。近年来随着沿岸海水养殖业的发展, 养殖过程中产生的废水、残饵、排泄物等给近海沿岸水域生态环境带来一定程度的影响, 使渔业资源的群落结构及多样性发生变化^[2], 因此, 有效监测该海域渔业资源种类组成及数量变动, 把握生态规律, 进行水域生态环境保护和渔业的可持续发展成为亟待解决的重要问题。

鱼类资源评估是进行渔业资源合理开发的

基础和前提, 准确及时评估鱼类资源对渔业管理和生产均具有重要意义^[3-4]。传统的渔业资源调查评估多采用直接捕捞法进行, 受渔具选择性、捕捞效率及取样面积影响, 其评估效率往往较低。渔业声学方法因其快速高效、非接触不损害生物资源、取样率大及时空数据丰富等优点^[5-7]被广泛应用于海洋生物的资源评估^[8-10]、种类识别^[11-13]和行为监测与追踪^[14-16], 并逐渐成为我国海洋生物资源调查研究的重要手段之一^[17-19]。

该研究选择2014年11月至2016年1月对海南

收稿日期: 2016-09-08 修回日期: 2017-04-03

资助项目: 公益性行业(农业)科研专项(201403008); 农业财政项目——南海海洋捕捞信息动态采集网络(640); 国家科技支撑计划(2013BAD13B06); 农业部财政重大专项(NFZX2013)

通信作者: 陈国宝, E-mail: chenguobao@scsfri.ac.cn

陵水湾口海域的渔业资源进行了4次声学调查, 通过对声学回波映像判读及回波积分法的使用, 分析了调查海域内渔业资源结构特征、数量密度和资源量密度的时空分布及其季节变化, 同时分析了渔业资源随水深的变化关系及鱼类单体目标强度空间结构分布的季节变化, 以期南海近岸海域渔业资源增殖养护效果评价及渔场位置判别提供基础研究资料, 为制定增殖放流和捕捞计划提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 数据来源

研究区域选择海南陵水湾口海域(18°20'~18°28'N, 109°52'~110°2'E), 调查时间选择2014年11月27日(秋季)、2015年5月25日(春季)、2015年8月31日(夏季)和2016年1月6日(冬季)。传统的声学调查航线会结合调查区域具体的地理地貌情况设计为“之”字型或平行断面型两种^[6, 20-21], 而该研究因与其他调查项目同步进行, 故未进行单独的声学走航调查, 声学数据采集为随机采样, 航线不规则, 且2015年5月调查因GPS (Gamin GPSCSx, 美国)损坏无对应的经纬度位置信息, 历次调查具体航迹线如图1所示。

1.2 声学数据的采集与分析

声学走航调查使用便携式分裂波束科学鱼探仪(Simrad EY60, 挪威)进行, 其中2014年11月调查使用70、120 kHz两个频率换能器, 2015年5月调查使用200 kHz一个频率换能器, 2015年8月及2016年1月使用70、200 kHz两个频率换能器。2014年11月、2015年8月和2016年1月均使用70 kHz数据进行资源数量密度和资源量密度的计算统计, 另一频率数据辅助回波映像分析。声学数据的采集与收录使用Simrad EY60系统自带的专用软件ER60进行, 动态经纬度位置信息由GPS (Gamin GPSCSx, 美国)获得, 各次调查科学鱼探仪的主要技术参数见表1。由于Simrad EY-60声学系统硬件缺乏长期的稳定性, 故在走航调查前按照国际通用的标准球法对科学鱼探仪系统的收发增益系数进行现场校正^[22]。不同频率的换能器置于导流罩内, 导流罩通过螺杆固定于船体右舷外侧, 吃水1 m, 走航航速5~7 kn。

声学数据使用专用声学评估软件Echoview 6.1进行分析处理, 采用回波积分法对渔业资源数

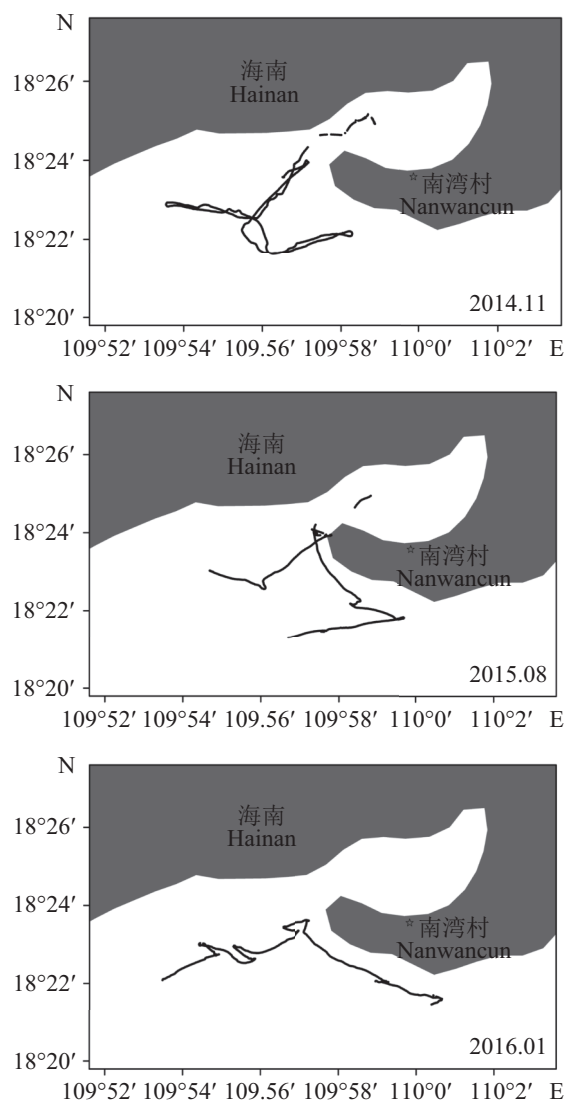


图1 海南陵水湾历次渔业声学调查航线图

Fig. 1 The fisheries acoustic survey tracks in Lingshui Bay, Hainan Province

量密度和资源量密度进行统计分析。首先对原始声学回波映像数据进行过滤, 剔除航行中船底气泡回波、浮游生物回波、干涉噪声、虚假海底等非生物回波, 设置回波积分的起始和终止水层, 积分起始水层设置为1.8 m以屏蔽换能器下航行气泡层的回波信号, 积分终止水层设置为海底之上0.5 m以将海底回波信号排除在积分终止水层以下。基本积分航程单元(elementary distance sampling unit, EDSU, n mile)设置为0.5 n mile, 用以统计渔业资源密度的空间结构分布特征。

1.3 生物样品的采集与分析

为了对应声学回波, 在预设站位和映像密

表 1 EY60科学鱼探仪主要技术参数设定

Tab. 1 Main technical parameters setting for scientific echosounder EY60

| 技术参数 technical parameters | 2014-11 | 2015-05 | 2015-08 | 2016-01 |
|--|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | 70 kHz换能器 70 kHz transducer | 200 kHz换能器 200 kHz transducer | 70 kHz换能器 70 kHz transducer | 70 kHz换能器 70 kHz transducer |
| 发射功率/W transmitting power | 200 | 300 | 300 | 500 |
| 脉冲宽度/ μs pulse duration | 512 | 256 | 512 | 512 |
| 等效波束角/dB equivalent beam angle | -21.00 | -20.70 | -21.00 | -21.00 |
| 换能器增益/dB transducer gain | 27.00 | 27.00 | 25.69 | 25.69 |
| 横向波束宽度/($^{\circ}$) athwartship beam width | 6.54 | 7.00 | 6.53 | 6.53 |
| 纵向波束宽度/($^{\circ}$) alongship beam width | 6.44 | 7.00 | 6.43 | 6.43 |
| 吸收系数/(dB/km) absorption coefficient | 19.00 | 76.10 | 15.90 | 20.30 |

集区进行生物学采样用以进行积分值分配并辅助声学回波映像判读。该研究的生物学采样采用底拖网捕捞采样,网口高4 m,宽5 m,网囊网目3 cm \times 3 cm。结合调查项目的其他同步调查内容,共设置5个拖网站位,站位位置根据声学回波映像结合项目其他调查内容的进行现场确定。拖网采样租用海南渔民渔船进行,该船主机功率280 kW,船长20 m,吨位40 t。各个站位约拖20 min,对所有渔获样品均进行现场分类并计数取样,数量少于50尾的生物全部取样,当单一物种数量大于50尾时,按照渔获物的多寡按比例进行随机取样。所有取样的渔获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或胴长(cm)和体质量(g)。

1.4 鱼类资源密度评估方法

按照多种类海洋渔业资源声学评估技术与方法^[23-24]中介绍的工作流程对鱼类资源的数量密度和资源量密度进行评估,以拖网采样的渔获物组成信息作为积分值分配的主要依据。与此同时,为了对比分析依目标强度现场测量和拖网数据进行积分值分配估算鱼类资源数量密度的差异,利用Echoview软件中的单体检测模块对调查海域内的鱼类进行现场目标强度测量,在对所获得的声学数据进行单体检测和单体目标轨迹追踪后,输出各个基本积分航程单元内的声学积分值(nautical area scattering coefficient, NASC, $\text{m}^2/\text{nmile}^2$)和平均目标强度(target strength, TS, dB)等参数,从而进行鱼类资源数量密度和资源量密度的估算。

在不考虑生物种类组成及其体长结构分布

的情况下,各基本积分航程单元内的渔业资源数量密度(number density, 尾/ km^2)为^[6, 25]

$$\bar{\rho} = \frac{NASC}{4\pi\bar{\sigma}_{bs} \cdot 1.852^2} \quad (1)$$

式中, σ_{bs} 为后向散射截面(backscattering cross-section, m^2),它与目标强度的关系为

$$TS = 10 \lg \sigma_{bs} \quad (2)$$

考虑不同鱼种组成,分析区域内第*i*种鱼类的数量密度和资源量密度(biomass density, t/km^2)分别为^[6, 25]

$$\rho_{i \sim a} = c_i \frac{NASC}{4\pi\bar{\sigma} \cdot 1.852^2} \quad (3)$$

$$\rho_{i \sim b} = \rho_{i \sim a} \bar{w}_i 10^{-6} \quad (4)$$

式中, c_i (%)为分析海域内第*i*种鱼类占渔获物的数量百分比, $\bar{\sigma}$ 为分析海域内所有声学评估种类的平均后向散射截面, \bar{w}_i 为第*i*种鱼类的平均体质量(body weight, g),且有

$$\bar{\sigma} = \sum_{i=1}^n c_i 10^{\frac{TS_i}{10}} \quad (5)$$

$$TS_i = 20 \lg L_i + b_{20,i} \quad (6)$$

式中, TS_i 为第*i*种鱼类的目标强度, n 为声学评估鱼类的种数, L_i 为第*i*种鱼类的体长(body length, cm)(头足类为胴长, mantle length, cm), $b_{20,i}$ 为第*i*种鱼类的参考目标强度,各声学评估种类的参考 b_{20} 值见表2^[7, 26-31]。

2 结果

2.1 生物种类组成评估

2014年11月、2015年5月和8月以及2016年

表 2 声学评估种类参考 b_{20} 值Tab. 2 The value of b_{20} for acoustic estimation species

| 类 class | b_{20}/dB | 科 family | b_{20}/dB | 种 species | b_{20}/dB |
|----------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|-------------------------------------|--------------------|
| 大眼鲷类 Priacanthidae | -68.0 | 石鲈科 Pomadasyidae | -68.0 | 带鱼 <i>Trichiurus lepturus</i> | -66.1 |
| 白姑鱼类 Argysomus | -68.0 | 裸颊鲷科 Scavengers | -68.0 | 二长棘鲷 <i>Paerargyrops edita</i> | -68.0 |
| 天竺鱼类 Apogonichthys | -68.0 | 石首鱼科 Sciaenidae | -68.0 | 日本红娘鱼 <i>Lepidotrigla japonica</i> | -68.0 |
| 鳄齿鱼类 Champsodon | -68.0 | 金线鱼科 Nemipteridae | -68.0 | 竹筴鱼 <i>Trachurus japonicus</i> | -72.5 |
| 发光鲷类 Acropomatidae | -68.0 | 方头鱼科 Branchiostegidae | -68.0 | 黄鳍马面鲀 <i>Navodon xanthopterus</i> | -72.5 |
| 蓝子鱼类 Siganidae | -68.0 | 革鲀科 Aluteridae | -72.5 | 鳞烟管鱼 <i>Fistularia petimba</i> | -76.0 |
| 鲷类 Leiognathidae | -72.5 | 鲹科 Carangidae | -72.5 | 龙头鱼 <i>Harpadon nehereus</i> | -78.0 |
| 鲈类 Percidae | -72.5 | 鱈科 Sillaginidae | -72.5 | 印度无齿鲷 <i>Ariomma indica</i> | -80.0 |
| 沙丁鱼类 Sardinella | -72.5 | 鲷科 Theraponidae | -72.5 | 刺鲷 <i>Psenopsis anomala</i> | -80.0 |
| 鲉类 Callioymidae | -72.5 | 鲉科 Scorpaenidae | -72.5 | 蓝点马鲛 <i>Scomberomorus niphonius</i> | -80.0 |
| 绯鲤类 Percoidea | -72.5 | 狗母鱼科 Synodontidae | -72.5 | 曼氏无针乌贼 <i>Sepiella maindroni</i> | -80.0 |
| 石斑鱼类 Epinephelus | -72.5 | 天竺鲷科 Apogonidae | -72.5 | | |
| 梭鲈类 Anchovy | -72.5 | 鲷科 Tetraodontidae | -76.0 | | |
| 小公鱼类 Stolephorus | -72.5 | 鲭科 Scombrida | -76.0 | | |
| 刺鲀类 Diodontidae | -76.0 | 马鲛科 Polynemidae | -80.0 | | |
| 鳗类 Anguillidae | -76.0 | | | | |
| 枪乌贼类 Loliginidae | -78.0 | | | | |
| 鲳类 Pomfret | -80.0 | | | | |
| 其他乌贼类 other Sepiidae | -76.0 | | | | |

1月4次调查分别捕获游泳生物和底栖无脊椎动物共86、56、114和105种, 其种类组成及渔获量统计如表3所示。

为排除海底回波信号干扰, 历次调查海底之上0.5 m范围内均被视为声学探测的盲区, 故底栖的鲆鲽类、鰕虎鱼类、蛸类、虾蟹类等非常贴底的生物均不参与声学评估。2014年11月至2016年1月4次调查中, 声学评估的生物种类组成

存在较大差异, 各次调查的优势种虽有不同, 但以鲷类(Leiognathidae)和天竺鲷类(Apogonidae)占据主要部分。2014年11月、2015年5月和8月及2016年1月声学评估种类依次为55、34、63和55种。根据拖网生物学采样结果, 获得各次调查渔获数量百分比前5位评估种类组成及其生物学信息(表4)。

2.2 渔业资源密度的时空分布

2014年11月、2015年8月及2016年1月3次调查该海域内鱼类资源平均数量密度依次为 9.34×10^5 、 1.12×10^5 和 0.16×10^5 尾/ km^2 , 平均资源量密度依次为5.08、0.93和0.32 t/ km^2 。3次鱼类资源数量密度和资源量密度的空间分布调查结果表明, 鱼类资源数量密度和资源量密度空间分布特征的季节变化较大, 但二者并不完全一致(图2, 图3)。3次调查湾口海域的资源数量密度和资源量密度均较低, 且随离岸距离的增加资源数量密度和

表 3 各次调查渔获物种类组成

Tab. 3 Species composition of catch for various surveys

| 调查时间 survey time | 种类组成/种 species composition | | | | 总渔获量/kg total catch |
|---------------------|-------------------------------|--------------------|---------------|-------------|------------------------|
| | 鱼类 fish | 头足类 cephalopods | 虾类 decapod | 蟹类 crabs | |
| | 2014-11 | 65 | 4 | 9 | |
| 2015-05 | 41 | 3 | 5 | 7 | 42.4 |
| 2015-08 | 81 | 7 | 8 | 18 | 39.0 |
| 2016-01 | 80 | 5 | 8 | 12 | 61.2 |

表4 各次调查渔获数量百分比前5位评估种类组成及生物学信息

Tab. 4 Assessment species composition and biological information of the highest catch percentage 5 species for various surveys

| 调查时间 survey time | 物种 species | 数量/尾 number | 数量百分比/% percentage | 数量百分比总和/% total percentage | 体长/mm body length | | 体质量/g body weight | |
|--------------------------|---|----------------|-----------------------|-------------------------------|---------------------------|------------------------------------|----------------------|---------------------|
| | | | | | 范围 range | 均值 average value | 范围 range | 均值 average value |
| | | | | | 2014-11 November, 2014 | 鹿斑鲷 <i>Leiognathus ruconius</i> | 403 | 21.55 |
| | 发光鲷 <i>Acropoma japonicum</i> | 293 | 15.67 | | 38~83 | 51 | 1.4~14.0 | 4.1 |
| | 六指马鲛 <i>Polynemus sextarius</i> | 253 | 13.53 | | 48~97 | 61 | 2.4~25.0 | 5.8 |
| | 乳香鱼 <i>Lactarius lactarius</i> | 183 | 9.79 | | 47~135 | 70 | 2.8~61.0 | 9.3 |
| | 中线天竺鲷 <i>Apogon kiensis</i> | 132 | 7.06 | | 32~84 | 58 | 0.8~19.0 | 7.9 |
| 2015-05 May, 2015 | 条鲷 <i>Leiognathus rivulatus</i> | 767 | 32.62 | 83.37 | 30~96 | 64 | 1.0~24.0 | 10.2 |
| | 四线天竺鲷 <i>Apogon quadrifasciatus</i> | 379 | 16.12 | | 31~147 | 66 | 1.0~20.0 | 10.0 |
| | 杜氏枪乌贼 <i>Loligo duvaucelii</i> | 373 | 15.87 | | 30~179* | 90* | 3.0~118.0 | 42.7 |
| | 多齿蛇鲻 <i>Saurida tumbil</i> | 281 | 11.95 | | 125~215 | 170 | 14.0~150.0 | 53.9 |
| | 弓背鳄齿鱼 <i>Champsodon atridorsalis</i> | 160 | 6.81 | | 52~78 | 63 | 2.0~5.0 | 3.2 |
| 2015-08 August, 2015 | 中线天竺鲷 <i>Apogon kiensis</i> | 344 | 22.38 | 59.53 | 43~89 | 61 | 2.0~18.0 | 7.3 |
| | 黄斑鲷 <i>Leiognathus bindus</i> | 218 | 14.18 | | 30~54 | 42 | 0.5~3.0 | 1.8 |
| | 细纹鲷 <i>Leiognathus berbis</i> | 152 | 9.89 | | 45~92 | 62 | 2.0~21.0 | 5.9 |
| | 黄鳍马面鲀 <i>Navodon xanthopterus</i> | 108 | 7.03 | | 41~65 | 49 | 2.0~9.0 | 3.7 |
| | 安达曼钩腕乌贼 <i>Abralia andamanica</i> | 93 | 6.05 | | 26~198* | 65* | 3.0~251.0 | 48.3 |
| 2016-01 January, 2016 | 条鲷 <i>Leiognathus rivulatus</i> | 601 | 30.59 | 65.45 | 75~93 | 77 | 11.0~22.0 | 13.2 |
| | 中线天竺鲷 <i>Apogon kiensis</i> | 318 | 16.18 | | 20~98 | 62 | 1.0~24.0 | 9.7 |
| | 细条天竺鱼 <i>Apogonichthys lineatus</i> | 194 | 9.87 | | 47~52 | 49 | 3.0~7.0 | 4.0 |
| | 条尾绯鲤 <i>Upeneus bensasi</i> | 108 | 5.50 | | 63~123 | 93 | 5.0~44.0 | 21.0 |
| | 白姑鱼 <i>Argyrosomus argentatus</i> | 65 | 3.31 | | 45~70 | 57 | 2.0~10.0 | 5.3 |

注: *. 胴长

Notes: *. mantle length

资源量密度均有增大的趋势。

2014年11月资源数量密度和资源量密度的空间分布基本一致, 在离岸较远位置处形成密度高值密集区, 且均显著高于其余2次调查的结果。相比而言, 2015年8月资源数量密度和资源量密度均有较大下降, 且高值区向东南方向移动。2016年1月资源数量密度和资源量密度则均为最低, 二者的空间分布存在一定差异, 且较前2次而言无明显的高值区形成。

2.3 鱼类单体目标强度分布

利用Echoview软件对采集的声学数据进行

单体目标检测和单体目标轨迹追踪后, 输出不同TS阶层的单体目标数量, 获得历次调查该海域内单体鱼类现场TS测量的频度分布(图4)。

2014年11月至2016年1月4次调查该海域内单体鱼类目标强度分布的差异较大, 但均以单体目标强度小于-58 dB的小个体鱼类分布为主(图4)。2014年11月调查单体目标强度分布于-64~-37 dB, 其中以-64~-58 dB单体数量占据主要部分, 约占全部单体的89.0%。2015年5月单体目标强度则分布于-70~-31 dB, 其中以-70~-64 dB的单体数量占据主要部分, 约占全

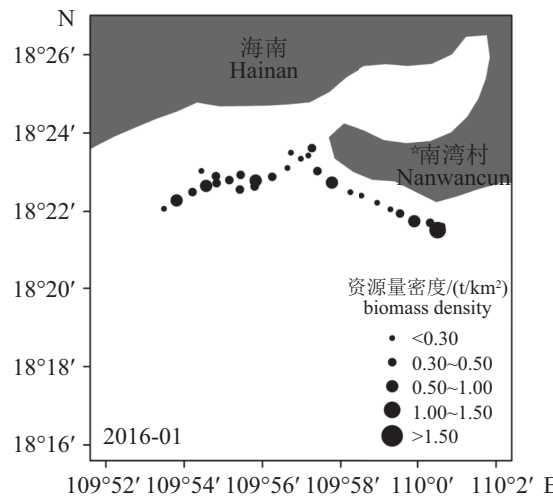
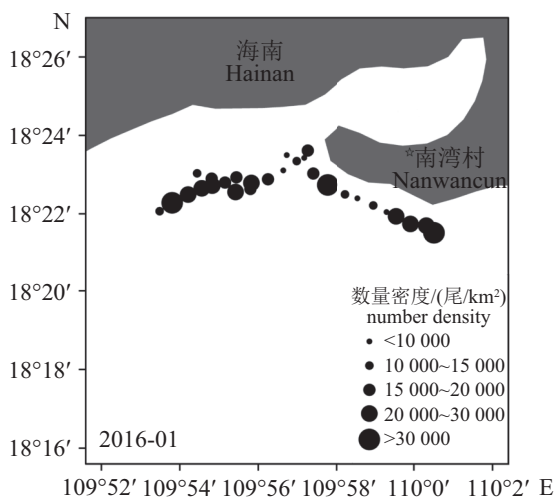
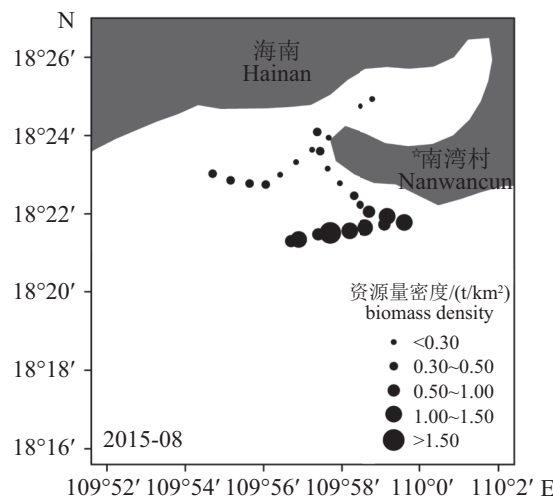
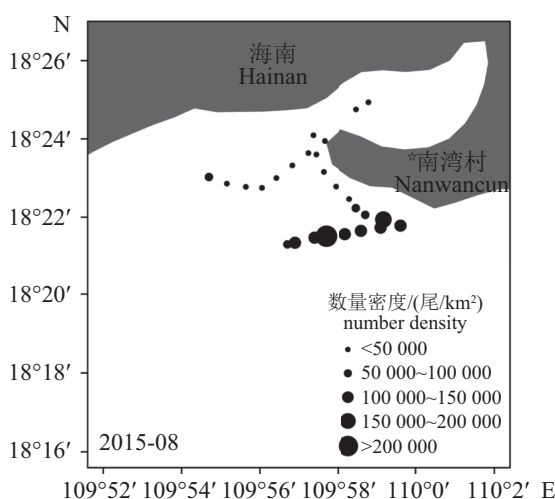
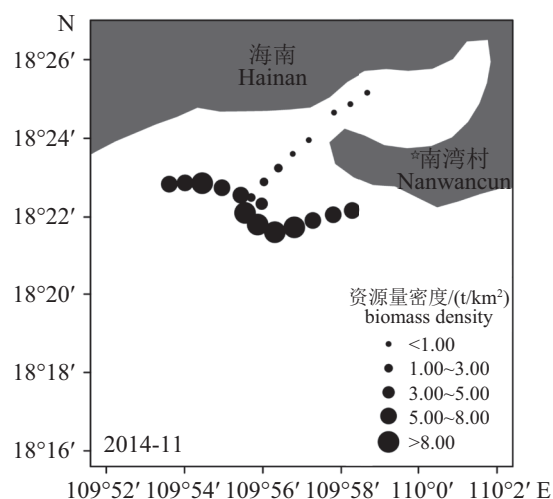
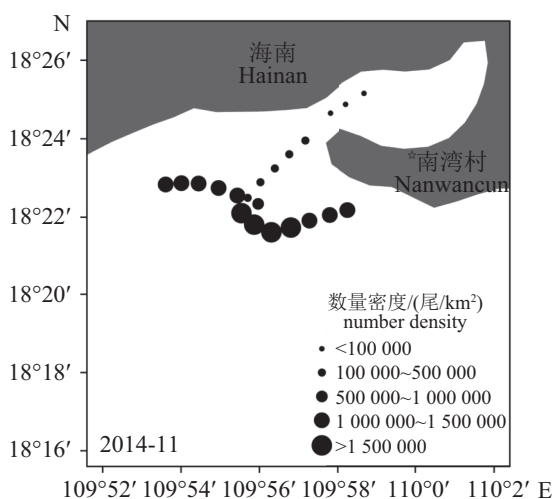


图 2 海南陵水湾口不同季节渔业资源数量密度空间分布

Fig. 2 The spatial distribution of number density of fishery resources for different seasons in Lingshui Bay, Hainan Province

图 3 海南陵水湾口不同季节渔业资源量密度空间分布

Fig. 3 The spatial distribution of biomass density of fishery resources for different seasons in Lingshui Bay, Hainan Province

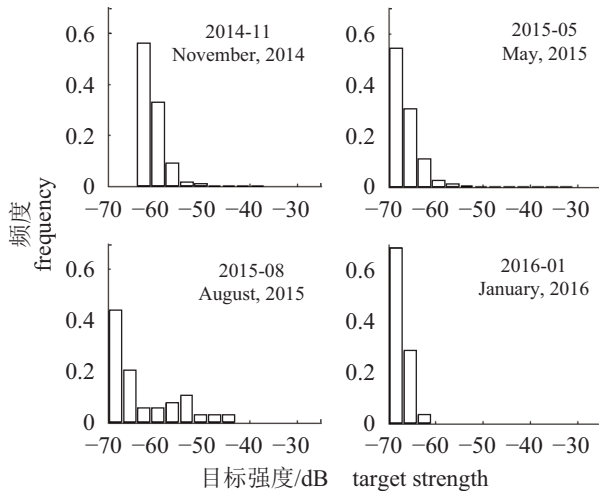


图4 海南陵水湾口历次调查目标强度频度分布图

Fig. 4 The frequency distribution of target strength for previous surveys in Lingshui Bay, Hainan Province

部单体数量的85.0%。2015年8月单体目标强度分布于-70~-43 dB, 其中以-70~-64 dB的单体数量占据主要部分, 约占全部单体的64.1%。2016年1月调查单体目标强度则分布于-70~-61 dB, 其中以-70~-64 dB的单体占据主要部分, 约占全部单体数量的96.9%。

鱼类单体目标强度的空间和时间分布特性对研究鱼类行为和鱼种的声学识别具有很好的支持作用^[32], 故结合4次调查鱼类的回波特征分布, 对单体鱼类目标强度在深度方向上的空间分布进行统计分析(图5)。

2014年11月检测出的单体鱼类集中分布于3~36 m水深, 随着水深的增加, 单体鱼类目标强度有增大的趋势, 且目标强度大于-50 dB的单体均分布于15 m以深水层。2015年5月检测出的单体鱼类则主要分布于4~36 m水深, 且目标强度大于-50 dB的单体均分布于10 m以深水层(图5)。2015年8月检测出的单体鱼类分布于14~34 m水深, 检测出的单体数量较少, 且14 m以浅水层未检测出有效的单体信号。2016年1月检测出的单体鱼类分布于15~30 m水深, 检测出的单体数量极少, 且均为目标强度小于-65 dB的小个体鱼类。

2.4 依目标强度现场测量结果和拖网采样数据估算资源数量密度的比较

为对比分析依照目标强度现场测量结果和拖网采样数据进行声学积分值分配估算鱼类资源数量密度之间的差异, 对二者的估算结果进

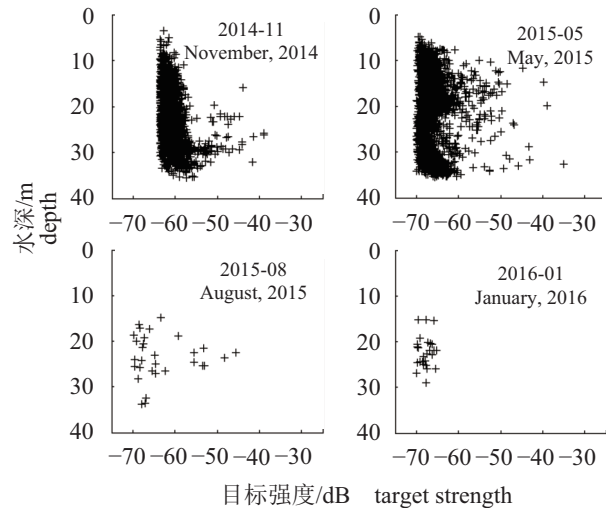


图5 海南陵水湾口历次调查单体目标强度垂直空间分布图

Fig. 5 The vertical spatial distribution of single target strength for previous surveys in Lingshui Bay, Hainan Province

行比较。由于2015年5月调查GPS损坏无走航对应的经纬度位置信息, 且2016年1月调查较少有鱼类回波出现, 检测出的有效单体数量极少, 无法统计上述2次调查依目标强度现场测量估算的鱼类资源数量密度, 故仅对其余2次调查依目标强度现场测量结果和拖网采样数据估算资源数量密度间的差异进行对比分析。2014年11月和2015年8月依目标强度现场测量结果进行声学积分值分配估算鱼类资源数量密度依次为 9.03×10^5 和 1.11×10^5 尾/ km^2 , 而依拖网采样数据进行声学积分值分配估算鱼类资源数量密度分别为 9.34×10^5 和 1.12×10^5 尾/ km^2 , 相对误差则依次为3.23%和0.36%。

2.5 资源分布与水深的关系

声学积分值是衡量渔业资源多寡的重要指标, 为考察鱼类资源垂直空间分布特征, 以深度方向10 m为间隔, 分别统计分析各水层内的声学积分值及其所占百分比(图6)。

历次调查声学积分值均集中分布于30 m以浅水层, 30 m以深水体所占百分比较小, 这应该与调查海域大部分水深小于30 m相关(图6)。2014年11月声学积分值均匀分布于30 m以浅水层, 且各水层之间差别不大。2014年5月声学积分值主要分布10~20 m水层, 约占总体的63.7%, 0~10 m、20~30 m水层次之, 且二者差别不大。

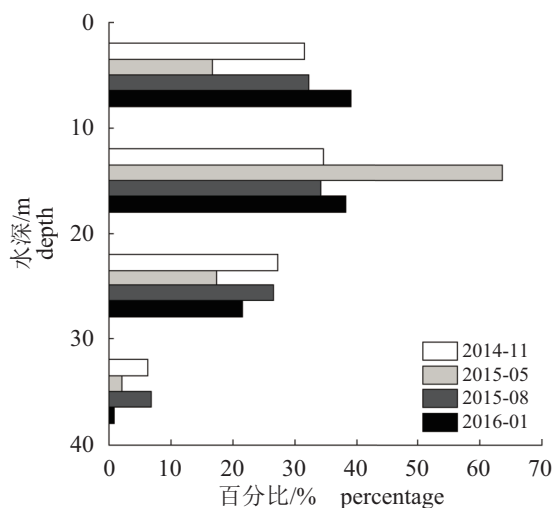


图 6 历次调查声学积分值垂直分布

Fig. 6 Vertical distribution of the nautical area scattering coefficient(NASC)for various surveys

2015年8月声学积分值分布情况与2014年11月类似,各水层分布仅略有差异。2016年1月声学积分值主要分布于20 m以浅水层,且二者差别不大,而20~30 m水层声学积分值则略大于0~10、10~20 m水层的一半。

3 讨论

3.1 生物学采样对声学积分值分配的影响

在多种类海洋渔业资源声学评估中,声学回波映像判读和积分值分配是两个关键环节。在积分值分配方面,一般较大范围海洋渔业资源声学调查是在假定所用网具对所有捕捞对象具有相同捕获效率的前提下,根据站位就近原则参考邻近采样站位的渔获物种类组成及体长结构分布信息反映前后若干基本积分航程单元内的物种组成并依此进行声学积分值分配。而由于一般的调查网具均具有一定的选择性^[33-34],与此同时考虑到鱼类可能存在的回避行为^[35-36],且该研究调查海域范围较小,湾内海域由于养殖渔排密布及定置网箱的存在无法进行拖网取样,故对所有拖网站位的渔获组成信息进行综合统计分析,以整个调查海域内的渔获组成信息反映各个基本积分航程单元内的物种组成对声学积分值进行分配,以降低网具选择性和鱼类回避行为对积分值分配的影响。此外,在对各拖网站位渔获物进行取样时,若单一物种数量大于50尾,按照渔获物的多寡按比例进行随机

取样,测量所取样品体长或胴长及体质量并依此统计估算相应的资源数量密度和资源量密度,而以随机取样品来反映整个网次该物种的渔获信息存在一定偏差,故相应数量密度和资源量密度的准确度亦存在一定偏差。在今后的工作中应尽可能保证取样的随机性,以减少因取样不均匀产生的影响。

3.2 季节变动对渔业资源的影响

该研究利用回波积分方法结合拖网采样数据对陵水湾口海域进行不同季节的渔业资源评估,根据不同基本积分航程单元和不同水层内声学积分值的变化反映出各季节调查海域内渔业资源的变化状况。由于2015年5月调查GPS损坏缺少对应的经纬度位置信息,无法对该航次调查渔业资源的空间分布进行统计,故该研究尚无法完全地反映季节变化对调查海域内渔业资源的影响,需在后续的研究中进行补充调查。对于其余3次调查,资源数量密度和资源量密度的空间分布并不完全一致,这应与不同季节不同鱼种平均体质量的变化趋势不同相关^[37]。2016年1月资源数量密度和资源量密度均为最低,这可能与冬季近岸海表温度较低,饵料生物生长变缓,鱼类向深水区索饵所致。温度、溶解氧等海洋环境因子及其变化是影响鱼类分布、洄游迁徙及种群产量的重要因素^[38-39],故在今后的研究工作中应对环境因子的季节变化规律进行研究,分析其与鱼类资源变化特征的相关性,以便更为真实地了解二者的相关关系。对于鱼类的垂直分布,以各水层声学积分值所占整体的百分比进行衡量。2014年11月和2015年8月声学积分值的分布具有一定的相似性,主要分布于30 m以浅水深且各水层几近均匀分布,2015年5月10~20 m水层积分值分布占据主要部分,而2016年积分值则主要分布于20 m以浅水深,且二者差别不大,20~30 m水层次之且略大于0~10、10~20 m水层的一半。除2016年1月外,其余3次调查声学积分值均呈随水深增加先增加后减少的趋势,呈现出较为明显的梯度变化特征,这也应与海洋环境因子及饵料生物的垂直空间分布相关。

3.3 声学评估方法的适用性分析

传统的声学调查结合调查区域具体的地理地貌情况将调查航线设计为“之”字型或平行断面型两种^[6, 20-21],该研究因与其他调查项目同步进

行,同时考虑经费及其他限制因素,未进行单独的声学走航调查,航迹线不规则,增加了产生误差的可能性,故在后期的数据处理过程中并未对调查海域内渔业资源的资源量进行估算,而采用分区域计算资源数量密度和资源量密度的方法对渔业资源的时空分布进行统计分析,以降低航线偏差产生的空间采样密度不均匀的影响。与此同时,在历次调查过程中科学鱼探仪均安装在船体右舷外侧,同时为排除海表航行噪声干扰,积分起始水层设置为换能器以下1.8 m,而且为排除海底反射信号干扰,积分终止水层设置为海底之上0.5 m水深,故积分水层之外水深视为声学探测的盲区,盲区之内的鱼类信号视为噪声被屏蔽,故临近表层和贴底鱼类回波不在积分范围之内。因此,资源评估结果与资源现状存在一定的偏差。在2014年11月和2015年8月2次调查中,依目标强度现场测量和拖网采样数据进行积分值分配估算鱼类资源数量密度相对误差分别为3.23%和0.36%,2种方法估算的资源数量密度结果差别不大,故在诸如河流、湖泊及水库等内陆淡水水域无法对应声学回波进行生物学采样的情况下,使用声学方法对鱼类资源数量密度的空间分布进行统计分析不失为一种有效的技术手段。综上所述,尽管声学方法应用于渔业资源评估仍存在许多问题,但其仍不失为一种进行渔业资源和海洋生态变动监测的有效手段,可克服传统渔业资源评估方法的诸多局限性。在今后的研究工作中,在进行声学调查的同时应辅以多种调查手段同时进行综合观测,以提高资源评估结果的可信度和准确度。

3.4 单体鱼类目标强度对资源声学评估结果的影响

渔业资源声学评估实质上是以声学积分值的大小来反映调查区域内资源量的多寡,而目标强度是将声学积分值转换为资源量的关键参数^[40-41],因此对于多种类海洋生物资源评估而言,声学评估资源现状的准确度和可信度在很大程度上取决于所采用各鱼种参考目标强度的准确性。该研究4次调查共对123种声学评估种类的资源现状进行统计分析,所采用的参考目标强度 b_{20} 值均为查阅相关文献确定,仅有11种声学评估种类的参考目标强度值确定到种,剩余种类的参考目标强度仅确定到科或类,使资源

现状评估结果的准确度产生一定偏差。此外,我国在水生生物的目标强度测量工作起步较晚且从事基础研究的人员较少,获得不同鱼类及其他海洋生物的目标强度信息相对发达渔业国家较少,给渔业资源声学评估带来较大困难。因此,现阶段应针对我国不同海区、水域的主要渔获种类,利用包括原位测量^[42]、网箱法^[43]、绳系法^[44]和模型法^[45]等多种技术手段逐步开展相关的目标强度测量研究工作,形成有效的数据库,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。

参考文献:

- [1] 黄凯旋,张云,欧林坚,等.海南岛南北近岸海湾浮游生物对尿素的生物可利用性比较研究[J].海洋科学,2014,38(10):76-82.
Huang K X, Zhang Y, Ou L J, *et al.* Comparative study on urea bioavailability by plankton in the southern and northern coastal waters of Hainan Island[J]. Marine Sciences, 2014, 38(10): 76-82(in Chinese).
- [2] 潘英姿,宋福,高吉喜,等.海南省近岸海域水生生态污染研究[J].环境科学研究,2007,20(1):58-63.
Pan Y Z, Song F, Gao J X, *et al.* Study on aquatic ecological pollution in inshore areas in Hainan Province[J]. Research of Environment Sciences, 2007, 20(1): 58-63(in Chinese).
- [3] 陶江平,艾为明,龚昱田,等.采用渔业声学方法和GIS模型对楠溪江鱼类资源量及空间分布的评估[J].生态学报,2010,30(11):2992-3000.
Tao J P, Ai W M, Gong Y T, *et al.* Assessment of fish abundance and distribution using fisheries acoustics and GIS modeling in the Nanxi River of Wenzhou City[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(11): 2992-3000(in Chinese).
- [4] 詹秉义.渔业资源评估学[M].北京:中国农业出版社,1995:236-253.
Zhan B Y. Fishery resources assessment[M]. Beijing: China Agricultural Press, 1995: 236-253 (in Chinese).
- [5] Koslow J A. The role of acoustics in ecosystem-based fishery management[J]. ICES Journal of Marine Science, 2009, 66(6): 966-973.
- [6] Simmonds J, MacLennan D. Fisheries acoustics: Theory and practice[M]. 2nd ed. Oxford: Blackwell Science, 2005: 1-379.

- [7] 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.
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(in Chinese).
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] Davison P C, Koslow J A, Kloser R J. Acoustic biomass estimation of mesopelagic fish: backscattering from individuals, populations, and communities[J]. ICES Journal of Marine Science, 2015, 72(5): 1413-1424.
- [11] Deshpande K, Kelkar N. Acoustic identification of *Otomops wroughtoni* and other free-tailed bat species (Chiroptera: Molossidae) from India[J]. Acta Chiropterologica, 2015, 17(2): 419-428.
- [12] Kloser R J, Ryan T, Sakov P, *et al.* Species identification in deep water using multiple acoustic frequencies[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2002, 59(6): 1065-1077.
- [13] Korneliussen R J. The acoustic identification of Atlantic mackerel[J]. ICES Journal of Marine Science, 2010, 67(2): 1749-1758.
- [14] Tang Y, Lin D, Zhang G, *et al.* Testing the tracking of behaviour of a caged *Takifugu rubripes* (Temminck & Schlegel, 1850) using acoustic telemetry[J]. Journal of Applied Ichthyology, 2013, 29(6): 1456-1458.
- [15] 郭禹, 汤勇, 赵文武, 等. 基于小型声学标记的花尾胡椒鲷行为研究[J]. 上海海洋大学学报, 2016, 25(2): 282-290.
Guo Y, Tang Y, Zhao W W, *et al.* Studies of behaviours of *Plectorhinchus cinctus* (Temminck et Schlegel) using acoustic tags[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2016, 25(2): 282-290(in Chinese).
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] Iversen S A, Zhu D, Johannessen A, *et al.* Stock size, distribution and biology of anchovy in the Yellow Sea and East China Sea[J]. Fisheries Research, 1993, 16(2): 147-163.
- [19] Chen G B, Zhang J, Yu J, *et al.* Hydroacoustic scattering characteristics and biomass assessment of the purple-back flying squid [*Sthenoteuthis oualaniensis*, (Lesson, 1830)] from the deepwater area of the South China Sea[J]. Journal of Applied Ichthyology, 2013, 29(6): 1447-1452.
- [20] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 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: 90-97.
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: 90-97 (in Chinese).
- [21] 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 acoustic method[J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 35(11): 1640-1649(in Chinese).
- [22] Simrad. Simrad ER60 scientific echo sounder software reference manual[M]. Norway: Simrad Maritime AS Kongsberg, 2008.
- [23] 赵宪勇, 陈毓桢, 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专项学术交流会议论文集. 北京: 海洋出版社, 2002: 341-353.
Zhao X Y, Chen Y Z, Li X S, *et al.* Acoustic estimation of multi-species marine fishery resources[C]//China Exclusive Economic Zone and Continental Shelf Survey Research Papers. Beijing: China Ocean Press, 2002: 341-353 (in Chinese).

- [24] 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.
Li Y Z, Chen G B, Sun D R, *et al.* Work programme of acoustic assessment of multi-species fish stock in the South China Sea[J]. Journal of Zhanjiang Ocean University, 2003, 23(1): 35-40(in Chinese).
- [25] 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.
- [26] 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).
- [27] 贾晓平, 李永振, 李纯厚, 等. 南海专属经济区和大陆架渔业生态环境与渔业资源[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 9-20.
Jia X P, Li Y Z, Li C H, *et al.* South china sea exclusive economic zone and continental shelf of fishery ecological environment and fishery resources[M]. Beijing: China Science Press, 2004: 9-20 (in Chinese).
- [28] 贾晓平, 李纯厚, 邱永松. 广东海洋渔业资源调查评估与可持续利用对策[M]. 北京: 海洋出版社, 2005: 12-20.
Jia X P, Li C H, Qiu Y S. Guangdong marine fishery resources assessment and sustainable utilization countermeasures[M]. Beijing: China Ocean Press, 2005: 12-20 (in Chinese).
- [29] 贾晓平, 陈丕茂, 唐振朝, 等. 人工鱼礁关键技术研究 与示范[M]. 北京: 海洋出版社, 2011: 160-181.
Jia X P, Chen P M, Tang Z C, *et al.* Key Technology research and demonstration of artificial reef[M]. Beijing: China Ocean Press, 2011: 160-181 (in Chinese).
- [30] 唐启升. 中国专属经济区海洋生物资源与栖息环境[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 15-25.
Tang Q S. China exclusive economic zone of marine biological resources and habitats[M]. Beijing: China Science Press, 2006: 15-25 (in Chinese).
- [31] Foote K G. Fish target strengths for use in echo integrator surveys[J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 1987, 82(3): 981-987.
- [32] 李斌, 李佩杰, 汤勇, 等. 黄河小浪底水库主河道水域渔业资源声学评估[J]. 水产学报, 2015, 39(8): 1134-1143.
Li B, Li P J, Tang Y, *et al.* Acoustic survey of the fisheries resources in the main channel of Xiaolangdi Reservoir in the Yellow River[J]. Journal of Fisheries of China, 2015, 39(8): 1134-1143(in Chinese).
- [33] 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.
- [34] 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.
- [35] Jůza T, Rakowitz G, Drašík V, *et al.* Avoidance reactions of fish in the trawl mouth opening in a shallow and turbid lake at night[J]. Fisheries Research, 2013, 147: 154-160.
- [36] Wheeland L J, Rose G A. Quantifying fish avoidance of small acoustic survey vessels in boreal lakes and reservoirs[J]. Ecology of Freshwater Fish, 2015, 24(1): 67-76.
- [37] 陈勇, 杨军, 田涛, 等. 獐子岛海洋牧场人工鱼礁区鱼类资源养护效果的初步研究[J]. 大连海洋大学学报, 2014, 29(2): 183-187.
Chen Y, Yang J, Tian T, *et al.* The enhancement effect of fishery resources on artificial reefs in marine ranching area in Zhangzi Island[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2014, 29(2): 183-187(in Chinese).
- [38] 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).
- [39] 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): 1079-1088.
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): 1079-1088(in Chinese).
- [40] 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.
- [41] Fässler S M M, O'Donnell C, Jech J M. Boarfish (*Capros aper*) target strength modelled from magnetic resonance imaging (MRI) scans of its swimbladder[J]. ICES Journal of Marine Science, 2013, 70(7): 1451-1459.
- [42] Robertis A D, Taylor K. *In situ* target strength measurements of the scyphomedusa *Chrysaora melanaster*[J]. Fisheries Research, 2014, 153: 18-23.
- [43] Rodríguez-Sánchez V, Encina-Encina L, Rodríguez-Ruiz A, *et al.* Horizontal target strength of *Luciobarbus* sp. in *ex situ* experiments: testing differences by aspect angle, pulse length and beam position[J]. Fisheries Research, 2015, 164: 214-222.
- [44] Chen G B, Li Y Z, Chen P M, *et al.* Measurement of single-fish target strength in the South China Sea[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2012, 30(4): 554-562.
- [45] Kang D, Sadayasu K, Mukai T, *et al.* Target strength estimation of black porgy *Acanthopagrus schlegeli* using acoustic measurements and a scattering model[J]. Fisheries Science, 2004, 70(5): 819-828.

The acoustic survey of fisheries resources for various seasons in the mouth of Lingshui Bay of Hainan Island

LI Bin^{1,2}, CHEN Guobao^{1,3,4,5*}, YU Jie^{1,3,4,5}, WANG Dongxu^{1,2}, GUO Yu^{1,2}, WANG Zhichao^{1,2}

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

2. College of Marine Sci-Tech and Environment, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China;

3. Scientific Observing and Experimental Station of South China Sea Fishery Resources & Environments, Ministry of Agriculture, Guangzhou 510300, China;

4. Key Laboratory of Marine Ranch Technology, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China;

5. Guangdong Provincial Key Laboratory of Fishery Ecology and Environment, Guangzhou 510300, China)

Abstract: Lingshui Bay is a lagoon harbor located in the southeast of Hainan Island, and it is the focus of the marine development zone in Hainan Province, China. In recent years, with the development of coastal marine aquaculture, offshore coastal waters ecological environment has been influenced to a certain extent so that the community structure and diversity of fisheries resources have changed. How to effectively monitor the fisheries resources in species composition and quantity change has become an important problem to be solved. In order to know the background conditions of fishery resources in Lingshui Bay, Hainan Province, four acoustic investigations were conducted with portable split beam scientific echosounder (Simrad EY60, Norway) from November 2014 to January 2016 for various seasons. The structure composition of fisheries resources, number density, biomass density and spatial distribution in the survey sea area were investigated and estimated according to the use of echo integration method and trawl sampling. As a result, a total of captured nectons and benthic invertebrates were 86 species, of which the average number density and biomass density of 55 kinds of acoustic assessment species were 9.34×10^5 ind/km² and 5.08 t/km² respectively in November 2014. The sum of captured nectons and benthic invertebrates were 114 kinds, of which the average number density and biomass density of 63 kinds of acoustic assessment species were 1.12×10^5 ind/km² and 0.93 t/km² respectively in August 2015. A total of captured nectons and benthic invertebrates were 105 species, and the average number density and biomass density of 55 kinds of acoustic estimation species were 0.16×10^5 ind/km² and 0.32 t/km² respectively in January 2016. In May 2015, the sum of captured nectons and benthic invertebrates were 56 species, including 34 kinds of acoustic assessment species. Fish echo was dominantly distributed in 30 m shallow depth layer in November 2014 and August 2015, and mainly focused on 10 m to 20 m layer in May 2015. In January 2016, fish echo was mainly distributed in 20 m shallow depth layer and the echo in 20 m to 30 m water layer is slightly greater than half of 0 m to 10 m layer or 10 m to 20 m layer. Single target strength in the survey area was mainly less than -58 dB of small individual fish. Single target strength tended to increase with the increasing water depth, and the individuals whose target strength were greater than -50 dB were entirely distributed under 10 m depth layer.

Key words: fisheries resources; acoustic estimation; spatial-temporal distribution; Lingshui Bay

Corresponding author: CHEN Guobao. E-mail: chenguobao@scsfri.ac.cn

Funding projects: Special Fund for Agro-scientific Research in the Public Interest (201403008); China National Finance Special Project "Dynamic Acquisition about Information of Oceanic Fish Catch in South China Sea (640)"; China Ministry of Science and Technology under Grant (2013BAD13B06); Financial Fund of the Ministry of Agriculture (NFZX2013)