

文章编号: 1000-0615(2018)02-0226-10

DOI: 10.11964/jfc.20161110603

南澳白沙湾海藻养殖区内外渔业资源声学评估

郭禹^{1,2}, 李纯厚¹, 陈国宝^{1*}

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业部南海渔业资源开发利用重点实验室,
农业部南海渔业资源环境科学观测试验站, 广东广州 510300;
2. 上海海洋大学海洋生态与环境学院, 上海 201306)

摘要: 为初步了解南澳岛白沙湾海藻养殖区鱼类资源状况, 利用便捷式分裂波束式Simrad EY60科学探鱼仪, 于2015年4月28日、12月2日与2016年4月19日对该海域进行3次声学调查, 结果显示, 3次调查中藻区内、外鱼类资源丰度密度分别为 $3.45/1.38 \times 10^5$ 、 $0.63/1.45 \times 10^5$ 、 $3.67/2.98 \times 10^5$ 尾/n mile²。藻区内春季鱼类资源量显著高于冬季, 资源丰度密度随季节变化显著; 藻区外资源丰度密度变化较小且均匀; 藻区内、外鱼类资源丰度密度最高值出现于2~6 m水层, 6~8 m次之, 表、底层最小, 资源丰度密度受深度影响显著。在海藻养殖期间, 藻区内鱼类资源丰度密度较藻区外大且年变化明显, 表明海藻生物量对鱼类资源量及其分布变化具有一定影响。本次调查通过声学评估技术对海藻养殖区鱼类资源进行初步评价, 为其具有改善水质环境、恢复渔业资源的作用提供理论依据。

关键词: 鱼类资源; 丰度密度; 空间分布; 声学评估; 南澳岛

中图分类号: S 931.1

文献标志码: A

南澳岛位于广东省东端、南海与台湾海峡交界海域, 是广东省唯一的海岛县, 共有岛屿37个, 属亚热带海洋性气候, 陆地面积130.9 km² (其中主岛面积128.35 km²)^[1-2]。由于受太平洋、南海黑潮支流及大陆径流影响, 南澳海域营养盐丰富, 饵料众多, 初级生产力高, 生物种类多^[3-4]。自20世纪80年代起, 南澳渔民大力发展浅海养殖业, 养殖业的快速发展导致养殖区污染物积累、海域富营养化、病害和赤潮等环境问题^[5-9]。为此南澳政府提出增加藻类养殖, 以减少海水养殖带来的不利影响。南澳岛周围水深小于10 m海域面积约89.64 n mile², 其中可供海水养殖的内湾面积约2.87 n mile²、滩涂1.44 n mile²、围垦和荒垦地0.33 n mile²。养殖区集中分布在后宅镇后江湾、云澳镇后湾仔和深澳镇白沙湾等地。目前, 南澳岛白沙湾已成为粤东地区重要养殖基地之一, 形成了以龙须菜(*Asparagus schoberoides*)、鱼类、贝类等为主的养殖格局。海藻养

殖的发展对渔业恢复是否有作用, 仍需要对其进行相关调查和效果评估。

近年来, 部分学者通过对南澳养殖海域微生物群落及环境因子分析以探测藻类养殖对海水的修复作用, 也有通过遥感方法对该藻区养殖布局的研究^[10], 但有关对藻区生物量的调查尚未见报道。对于生物量调查的方式有很多, 渔业资源水声学测量和评估是近40年逐渐发展完善的海洋生物资源调查与评估方法, 随着其在欧、美、日等渔业发达国家的广泛应用^[11-13], 于20世纪80年代引入我国并逐渐成为我国海洋渔业资源调查和研究的重要方法之一^[14-19]。本研究初次尝试利用声学方法在南澳海藻区水域进行鱼类资源调查, 评估藻区内、外鱼类资源丰度密度及空间分布规律, 并将内、外鱼类资源丰度密度进行比较, 旨在通过声学评估技术对海藻养殖效果进行初步评价, 为其具有改善水质环境、恢复渔业资源的作用提供理论依据。

收稿日期: 2016-11-06 修回日期: 2017-05-07

资助项目: 公益性行业(农业)科研专项(201403008); “十二五”国家科技支撑计划(2012BAD18B01); 国家自然科学基金—广东联合基金重点项目(U1301235)

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

1 材料与方 法

1.1 评估区域及站位设置

根据南澳岛白沙湾海域的地理位置和养殖区分布, 声学调查范围设计为23°28.2'~23°29.2'N, 117°5.0'~117°6.2'E, 调查海区总面积为2.3 n mile², 调查区域内水深范围为5.6~9.8 m, 调查时间分别为2015年4月28日、12月2日和2016年4月19日。

调查断面设计考虑海域内海藻养殖箱分布特点, 设置成平行断面形式, 2015年4月28日, 藻区内设置4个调查断面S1~S4, 20个站位, 藻区外1个断面S5', 5个站位; 同年12月2日及次年4月19日调查中, 藻区内新增1个断面, 断面组成为S1~S5, 藻区外断面为S6', 同时藻区内、外每个断面新增1个站位。

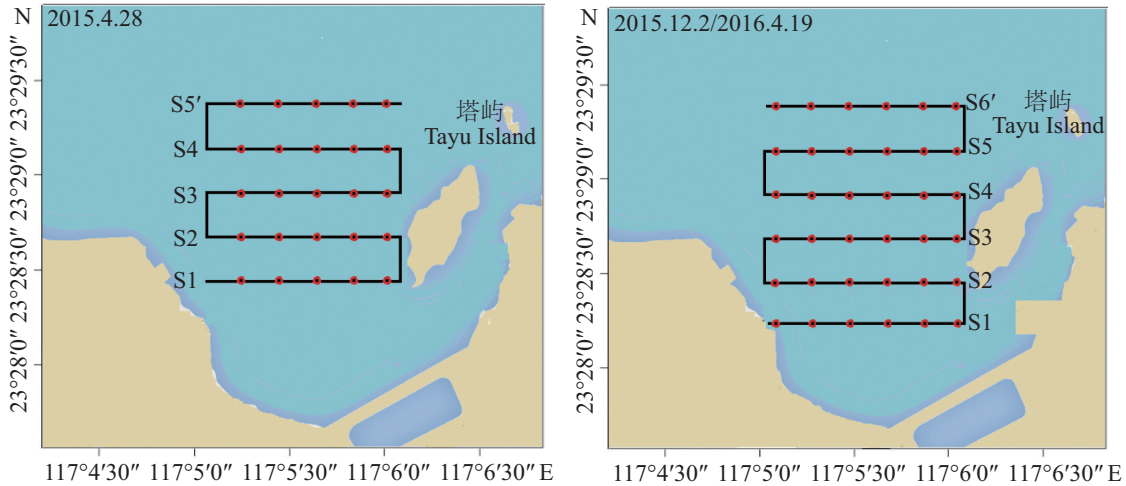


图 1 南澳岛白沙湾调查断面图

Fig. 1 Acoustic sections in Baishawan of Nan'ao

1.2 声学调查和生物学采样

采用便捷式分裂波束Simrad EY60科学探鱼仪进行渔业声学数据采集, 其工作频率为200 kHz, 工作参数如表1所示。换能器置于导流罩内, 导流罩通过螺杆固定于船只右舷中部且不与船体接触, 以减少船只振动对换能器正常工作的影响。为减少水流和气泡的干扰, 换能器置于水

下1 m, 也可防止渔船左右摇摆时换能器露出水面而测不到数据。由于调查海域多为龙须菜养殖区, 故声学调查使用当地渔船进行走航式探测, 渔船长约5 m, 宽约3 m。按照国际通用的标准目标方法对鱼探仪进行现场校正^[20]。走航调查中, 平均船速为4 kn, GPS与电脑相连, 同步采集经、纬度数据与声学数据并保存。另外, 由于调查区域较浅, 为避免海底回波信号的干扰, 在数据处理过程中将海底积分下限设为0.5 m。

表 1 Simrad EY60鱼探仪主要参数设置

Tab. 1 Simrad EY60 echosounder main parameters

技术参数 technical	参数设置 parameter setting	单位 unit
换能器型号 transducer type	ES200-7C	
增益 gain	27.00	dB
发射功率 transmitting power	500	W
脉冲宽度 pulse duration	256	ms
纵向波束宽度 alongship beam width	7.00	degree
横向波束宽度 athwartship beam width	7.00	degree
吸收系数 absorption coefficient	0.021	dB/m
等效波束立体角 equivalent beam angle	-21.00	dB

声学评估包括声学走航调查和生物学取样^[21]。生物学取样目的是辅助声学映像分析。2015年4月的调查中, 藻区外采用拖网取样, 藻区内为养殖区, 无法拖网则以刺网取样, 并在藻区外增加1次刺网取样, 目的是与藻区内进行对比。拖网调查船主机功率205.8 kW, 底拖网网具全长25 m, 上纲长40 m, 下纲长35 m, 网囊拉紧长2.5 m, 网口网目尺寸7.5 cm, 网口垂直高度2 m, 水平宽度4 m。拖网时间为30 min, 平均拖速约2.5 kn。使用声学调查船于预设站位进行刺网采样, 采样渔具为三重刺网, 由4片网衣组成, 网具缩结

高度4 m, 每片网衣缩结长度6 m, 网衣网目尺寸为50 mm×10 mm×30 mm。刺网早9:00投放, 翌日早7:00起网。由于条件限制, 仅第1次调查在藻区外使用拖网取样, 其他2个航次均未进行, 刺网取样3次调查均有采用。各站渔获物样品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 声学数据分析

声学数据后处理及资源评估使用Myriax公司的Echoview声学评估软件, 该软件可将声学数据回放, 采用回波积分法进行资源密度计算及空间分布特征分析^[22]。在回波映像处理过程中, 需将评估种类以外的背景噪声产生的映像去除, 本研究中需要剔除的噪声包括海表噪声、机器噪声、浮游生物噪声及海底多重回波噪声等, 设置表层积分上限和海底积分下限, 保留用于评估渔业资源量的鱼类回波映像。将体积散射强度和回波强度回波映像中的最小阈值设为-80与-75 dB, 用于屏蔽浮游生物等弱散射体的回波信号。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的修正, 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。

由于调查区域较小, 处理时以0.2 n mile为间隔对换能器表面1 m以下至海底0.3 m以上之内水体, 以2 m为深度间隔进行回波积分, 获得不同水层NASC (nautical area scattering coefficient, 单位平方海里水域内鱼类声学截面总数)值, 进而计算资源丰度密度。按照多种类海洋渔业资源声学评估方法的原理和程序, 对鱼类资源量

进行评估。调查中刺网取样量较少, 无法单独作为声学处理积分分配依据, 因此以刺网与拖网共同渔获数据作为参考, 3个航次渔获物均以第1航次为参考。

调查区内每种鱼类资源丰度密度:

$$\rho_j = C_j \times \frac{NASC}{4\pi\bar{\sigma}} \quad (1)$$

$$P_j = C_j \times \frac{NASC}{4\pi\bar{\sigma}} \times \frac{W_j}{1000} \quad (2)$$

$$\bar{\sigma} = \sum_{j=1}^n \left(C_j \times 10^{\frac{TS_j}{10}} \right) \quad (3)$$

$$TS_j = 20 \log l_j + b_{20} \quad (4)$$

式中, ρ_j 为分析水域内给定鱼种(海域内参与评估的各鱼体种类) j 的丰度密度(尾/n mile²); C_j 为分析水域内给定鱼种 j 在总生物量中所占数量百分比(%); $NASC$ 为分析水域内参与积分值分配生物种类的总积分值(m²/n mile²); $\bar{\sigma}$ 为分析水域内所有生物种类的平均声学截面(m²); W_j 为分析水域内第 j 种鱼的平均体质量(kg); TS_j 为分析水域内给定鱼种 j 的目标强度(dB); n 为分析水域内所有鱼体种类; 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), 主要由相关文献查阅归纳得出, 如表2所示^[23-26]。计算藻区内、外资源丰度密度, 同时以2 m水深为间隔, 从表层到底层分别统计藻区内、外不同水层的渔业资源丰度密度, 对比分析海藻养殖对渔业资源密度的影响及不同海域鱼类垂直空间分布特征。采用显著性分析计算资源丰度密度与深度间的显著性关系。

表2 南澳海域声学评估种类及 b_{20} 值

Tab. 2 Acoustic estimation species in Nan'ao Island and their b_{20} values

种名 species name	b_{20} /dB	种名 species name	b_{20} /dB
青石斑鱼 <i>Epinephelus awoara</i>	-72.5	多齿蛇鲻 <i>Saurida tumbil</i>	-72.5
刺鲳 <i>Psenopsis anomala</i>	-80	丽叶鲷 <i>Caranx kalla</i>	-72.5
短吻鲷 <i>Leiognathus brevirostris</i>	-72.5	皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belengerii</i>	-68
鹿斑鲷 <i>Leiognathus ruconius</i>	-72.5	长棘银鲈 <i>Gerres filamentosus</i>	-72.5
卵蛸 <i>Octopus ovulum</i>	-78	少鳞鲳 <i>Sillago japonica</i>	-72.5
杜氏枪乌贼 <i>Loligo duvaucelii</i>	-78	棕斑腹刺鲷 <i>Gastrophysus spadiceus</i>	-76
带鱼 <i>Trichiurus haumela</i>	-66.1	日本竹筴鱼 <i>Trachurus japonicus</i>	-72.5
杜氏棱鲷 <i>Thrissa dussumieri</i>	-72.5	二长棘鲷 <i>Parargyrops edita</i>	-68

2 结果

2.1 渔获物组成

2015年4月28日,刺网渔获物较少,其中以

日本竹筴鱼为主,其余为红星梭子蟹(*Portunus sanguinolentus*),而拖网渔获物中以小型鱼类鹿斑鲷数量最多,占总渔获物数量的82.8%,藻区内、外总渔获物比例及生物学信息见表3。

表3 渔获物生物学信息

Tab. 3 Biological composition information

种名 species	总重/g total weight	尾数 number	比重/% ratio	体长/mm length			体质量/g weight		
				最小体长 minimum	最大体长 maximum	均值 mean	最小体质量 minimum	最大体质量 maximum	均值 mean
刺鲷 <i>Psenopsis anomala</i>	581	29	0.46	65	110	88	8.5	45	20
杜氏枪乌贼 <i>Loligo duvaucelii</i>	1565	58	0.93	42	182	113	4.9	72	26.9
短吻鲷 <i>Leiognathus brevirostris</i>	824	68	1.09	58	94	72	4.2	24	12.1
二长棘鲷 <i>Parargyrops edita</i>	1219	351	5.62	35	62	48	1.7	58	3.4
鹿斑鲷 <i>Leiognathus ruconius</i>	15 413	5176	82.8	36	63	42	1.6	10	2.9
皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belengerii</i>	594	17	0.27	92	160	132	14	75	34.9
带鱼 <i>Trichiurus haumela</i>	416	27	0.43	66	150	113	3.6	45	15.4
日本竹筴鱼 <i>Trachurus japonicus</i>	933	191	3.06	60	90	76	2.4	11	4.8
其他 others	677	334	5.34	11	121		1.2	21	

2.2 渔业资源丰度密度水平空间分布

将调查海域进行分区处理,根据公式(1)、(3)并结合渔获物生物学信息,分别计算3次调查中渔业资源丰度密度并绘制其水平空间分布图(图2)。从3次调查趋势分析,藻区内春季鱼类资源丰度密度较大值分布于藻区中部,呈现以23°28.8'为中心线向两侧逐渐减少的趋势,近岸23°28.2'断面各站点其资源丰度密度均较小,23°28.6'这一断面资源丰度密度水平变化较大,且无规律可循,在首次调查中出现本研究中最大资源丰度密度值 1.13×10^5 尾/n mile²,冬季各站点资源丰度密度整体低于春季,春、冬季节变化显著;藻区外资源丰度密度分布均匀,随春、冬季变化波动较小,但也存在春多冬少的趋势,春季资源丰度密度低于藻区内部,冬季则高于藻区内部。

2.3 以断面为基准的渔业资源变化

第1次调查中,藻区内设有4个断面,藻区外设有1个断面,剩余2次藻区内、外断面数分别为5个和1个,计算每个断面总体丰度密度,结果如图3所示,S表示藻区内断面,S'表示藻区外断面。藻区内丰度密度较大值为23°28.8'与23°29'

2个断面,此2个断面接近藻区边缘且深度较大,靠近岸边的断面丰度密度较小;2015年4月与2016年4月各断面资源丰度密度较2015年12月大,且其值整体随离岸距离增大而增加;藻区外断面资源丰度密度变化均匀。

以每个调查断面为基准,以2 m水深为间隔,对不同水层内鱼类回波进行积分,分别获得3个航次中每个断面内以及总体渔业资源丰度密度垂直分布情况(图4),其中S1~S6分别表示各调查断面,总航线表示藻区内总体资源丰度密度随深度变化。2015年4月28日调查中,无论藻区内、外,每个断面渔业资源主要分布在中间水层4~6 m,1~2 m水层较少,其丰度密度随水深呈现先增加后减少的趋势,但藻区外丰度密度随水深的变化较平缓;2015年12月2日调查中,藻区内1~2 m水层渔业资源有所变化,断面表层丰度密度随离岸距离增加而有所增加,其中第2断面呈现突增状态,渔业资源主要分布于2~4 m水层,以此水层逐渐减少,丰度密度总体仍呈现先增后减的状态,藻区外变化趋势与内部相同,但各个深度资源丰度密度均高于藻区内部;2016年4月19日调查中,无论藻区内、外,资源丰度密度仍呈现先增后减的趋势,渔业资源主要分布区

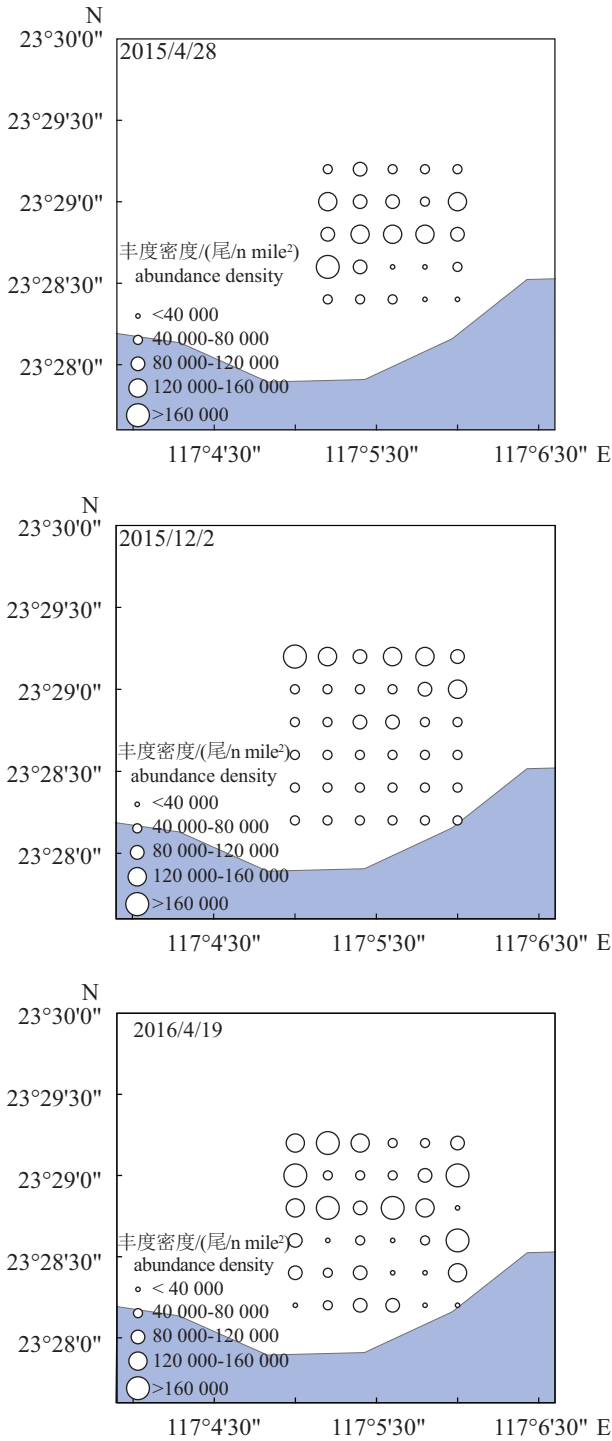


图2 资源丰度密度水平空间分布

Fig. 2 Horizontal spatial distribution of resource abundance density

在各深度间存在差异, 除第4断面外主要分布于2~4 m水层, 藻区外各断面资源丰度密度总体低于藻区内断面相应水深值。

从3次调查中得出, 藻区内各断面渔业资源主要分布于中间水层, 春季其丰度密度随水深

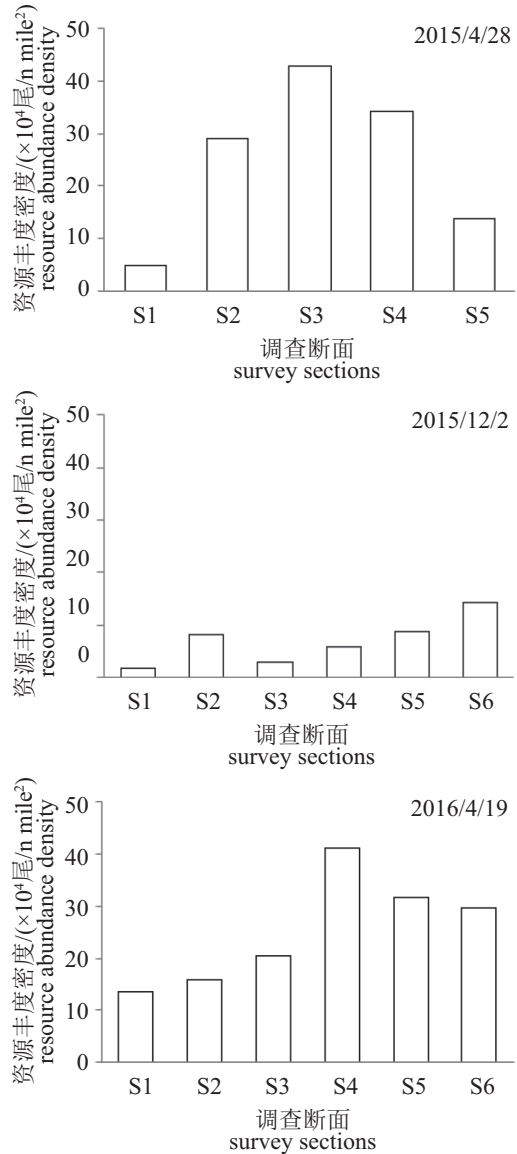


图3 各断面资源丰度密度分布

Fig. 3 The distribution of resource abundance density in sections

变化显著, 冬季各水层资源丰度密度整体减小且变化不明显。藻区外断面渔业资源分布情况和分布变化与藻区内相同, 不同的是无论春夏秋冬, 资源丰度密度基本恒定。

藻区内、外总体生物资源丰度密度受深度影响显著($P<0.05$), 即资源丰度密度随深度变化出现显著升高与降低的趋势。

3 讨论

3.1 藻区内声学评估渔业资源春、冬差异

研究表明, 春季鱼类资源丰度密度与冬季相比较多, 2015年与2016年春季鱼类资源丰度密

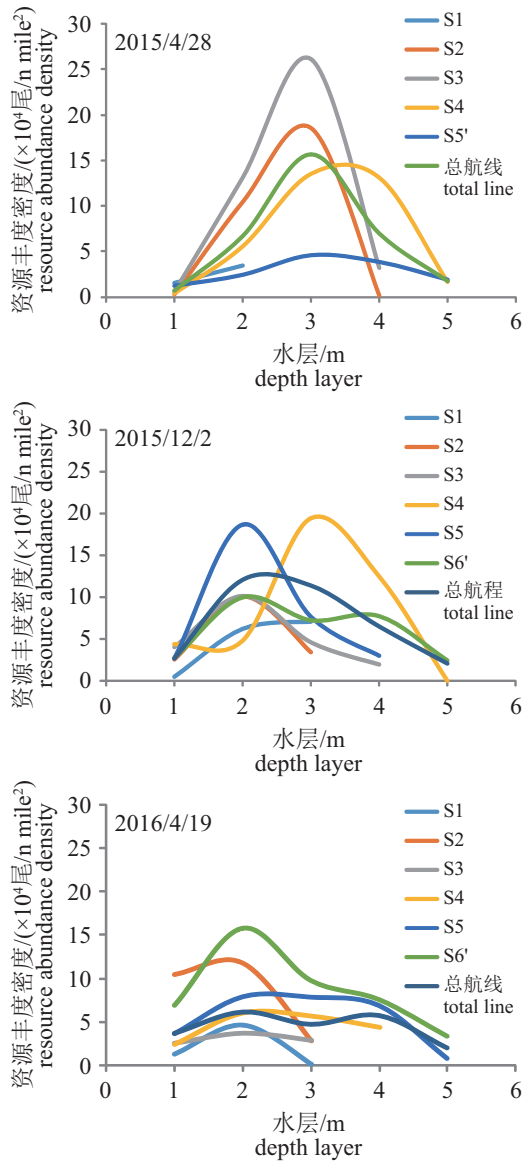


图 4 各断面资源丰度密度随深度分布

Fig. 4 Vertical spatial distribution of abundance density in sections

度分别为 3.452×10^5 与 $3.67/2.98 \times 10^5$ 尾/n mile², 而冬季仅为 0.63×10^5 尾/n mile²。白沙湾海藻养殖区主要养殖藻类为龙须菜, 每年4月份为海藻生长旺盛期, 生物量大, 12月海藻量少, 龙须菜在春季处于生长旺季, 可增加海水中营养盐分, 保持海域水温的稳定性, 为鱼类提供良好的生长环境及饵料条件, 从而使春季鱼类资源量高于龙须菜较少的冬季, 即渔业资源受浮游植物初级生产力影响^[27]。春季藻区内每个断面鱼类资源丰度密度整体较冬季大, 在 $23^\circ 28.8'$ 处断面资源丰度密度出现最大值, 即养殖区中部海域资源丰度密度最大, 冬季各断面鱼类资源丰度密度

整体较小, 春季藻区内各断面资源丰度密度较冬季相应断面显著增大, 主要由于春季沿岸海域水体较浅, 昼夜温差大, 中部海域相对沿岸水体较深, 昼夜温差小, 因此更适合鱼类生存。藻区外鱼类资源丰度密度春、冬季差异不明显, 由于藻区外缺少具有保护作用的龙须菜养殖区, 饵料条件发生变化, 鱼类分布主要影响因素为温度与海流作用^[28], 近岸浅水海域温度季节差异较大, 海流主要受风力影响, 故其春、冬季差异不是很明显^[29-30]。藻区内春、冬季丰度密度均随深度呈先增后减的趋势, 春季在4~6 m深度出现较大丰度密度, 冬季较大值则出现于2~4 m海域。已有研究表明, 季节变化会引起海水温度、各项营养盐及水环境中饵料变化, 进而影响渔业资源季节分布及资源总量^[31-33]。

3.2 藻区内、外渔业资源差异

本次研究结果显示, 春季藻区内部鱼类资源丰度密度较藻区外部明显偏高。2015年4月28日刺网渔获物组成结果表明, 藻区内部渔获物以日本竹筴鱼为主, 日本竹筴鱼属中上层鱼类, 而通过声学方法对鱼类资源深度方向分布研究表明, 藻区内鱼类资源主要分布于中层水域, 此结果从某种程度上证明出现资源最多水层主要以日本竹筴鱼为主。藻区外鱼类资源种类更为丰富, 渔获物大多为底层鱼类, 其中鹿斑鲷尾数最多, 占总体的82.8%, 二长棘鲷第二, 尾数仅占5.62%, 日本竹筴鱼占总尾数3.06%。声学评估以拖网数据为依据, 评估结果显示藻区外鱼类资源丰度密度深度方向无显著变化, 且远低于藻区内部, 主要由于拖网中近底层小鱼较多, 对影像处理与资源评估产生一定负面影响。藻区内外渔业资源组成存在差异, 藻区内以中上层鱼类日本竹筴鱼为主, 由于龙须菜养殖于上层水域, 因此可为其提供饵料与庇护所等有利生存条件, 其生物资源丰富。对枸杞岛海藻场生态系统总初级生产力进行分析表明, 藻场内初级生产力为每年11 604.00 t/km², 生态系统总能量转换效率为12.7%^[34], 说明藻场内供鱼类生存所需的饵料基础与初级生产力丰富, 与本研究所的藻区内鱼类资源较藻区外高相一致, 间接说明调查海域龙须菜养殖对增加鱼类资源的有利作用。

3.3 声学评估对藻区调查的适用性

3次调查均采用近岸小渔船进行走航测量,

因而未记录船体名称。受海藻养殖场区域划分影响,其可供渔船走航断面较窄,声学仪器发挥其便捷优势,高效完成测量任务。调查中,受风浪影响,换能器置于水下1 m处,文中表层鱼类资源为去除海表1 m水体中鱼类资源数据。声学评估资源量要求针对多种类海洋生物资源,在假定所用网具对所有生物具有相同的捕获效率前提下,各生物积分值分配主要依据网具采样所得渔获物组成比例,而在实际取样中,每种网具都具有一定选择性,即使是相同大小网具对不同体长的渔获物也具有选择性^[35]。本研究中以渔业资源评估时采用2015年4月28日拖网与刺网共同渔获物作为生物学采样数据,考虑调查区为湾内,面积及渔业资源种类变化较小,藻区内外鱼类流通性较大,从一定程度上忽略了网具选择性与鱼类季节性变化的影响,对其进行资源量评估。由于藻区内只能进行刺网取样,因此将来应连续性在养殖区内设置刺网进行生物学采样,以获得藻区内鱼类资源生物学信息,使资源评估结果更加准确。在讨论“藻区内、外渔业资源差异”中,取样方式不同会从某种程度上影响藻区内外资源丰度密度分布情况。本研究初次对该海域鱼类资源讨论分析,旨在为后续分析渔业资源种类与分布特征、准确评估鱼类资源提供基础参考,为进一步证实藻场具有改善水质环境、恢复渔业资源的功能提供理论依据。

参考文献:

- [1] 陈实, 乔永民, 侯磊, 等. 汕头南澳海域表层沉积物氮、磷的形态分布及污染评价[J]. 安全与环境学报, 2011, 11(3): 128-133.
Chen S, Qiao Y M, Hou L, *et al.* Distribution and pollution assessment of nitrogen and phosphorus in surface sediments of Nan'ao Coast, Shantou[J]. Journal of Safety and Environment, 2011, 11(3): 128-133(in Chinese).
- [2] 毛洁, 杨宇峰, 谷阳光, 等. 汕头南澳养殖区表层沉积物中生源要素的分布及其污染评价[J]. 生态科学, 2012, 31(3): 252-258.
Mao J, Yang Y F, Gu Y G, *et al.* Distribution and potential contamination assessment of biogenic elements in surface sediments from Nan'ao mariculture areas, Shantou[J]. Ecological Science, 2012, 31(3): 252-258(in Chinese).
- [3] 邓松, 刘胜文, 蔡兵. 广东省南澳县渔业资源开发与保护[J]. 海洋开发与管理, 2011, 28(5): 56-57.
Deng S, Liu S W, Cai B. Development and protection fishery resources in Nan'ao of Guangdong Province[J]. Ocean Development and Management, 2011, 28(5): 56-57(in Chinese).
- [4] 池缔萍, 郭翔宇, 钟仕花. 近5a来深圳大鹏湾南澳赤潮监控区营养盐变化及其结构特征[J]. 海洋环境科学, 2010, 29(4): 564-569.
Chi D P, Guo X Y, Zhong S H. Change and structure of nutrient status in red tide- monitoring area of Nan'ao in last five years[J]. Marine Environmental Science, 2010, 29(4): 564-569(in Chinese).
- [5] 王善, 沈卓, 王庆, 等. 汕头南澳海域不同养殖区浮游纤毛虫群落结构的比较[J]. 生态学杂志, 2015, 34(8): 2215-2221.
Wang S, Shen Z, Wang Q, *et al.* A comparative study on community structure of planktonic ciliates in different mariculture areas of Nan'ao Island in Shantou city[J]. Chinese Journal of Ecology, 2015, 34(8): 2215-2221(in Chinese).
- [6] 蒋江峦, 张俊逸, 龚映雪, 等. 汕头南澳养殖海域微表层的环境特征及其水质评价[J]. 暨南大学学报(自然科学版), 2011, 32(1): 74-79.
Jiang J L, Zhang J Y, Gong Y X, *et al.* Environmental characteristics of the sea surface microlayer and water quality assessment in mariculture areas of Nan'ao Island in Shantou city[J]. Journal of Jinan University (Natural Science Edition), 2011, 32(1): 74-79(in Chinese).
- [7] 杜虹, 黄显兵, 郑兵, 等. 粤东深澳湾养殖区域异养细菌和弧菌的动态分布[J]. 热带海洋学报, 2010, 29(6): 110-117.
Du H, Huang X B, Zheng B, *et al.* Dynamics of heterotrophic bacteria and vibrios in mariculture area of Shen'ao Bay, east Guangdong Province[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2010, 29(6): 110-117(in Chinese).
- [8] 谢玲, 李海燕, 徐华兵, 等. 深澳湾海水养殖生态系统健康评价[J]. 生态学杂志, 2014, 33(5): 1233-1242.
Xie L, Li H Y, Xu H B, *et al.* Health assessment of mariculture ecosystem in Shen'ao Bay[J]. Chinese Journal of Ecology, 2014, 33(5): 1233-1242(in Chinese).
- [9] Paul N A, De Nys R. Promise and pitfalls of locally abundant seaweeds as bio filters for integrated aquacul-

- ture[J]. *Aquaculture*, 2008, 281(1-4): 49-55.
- [10] 高亮明, 李炎, 钟硕良, 等. 东山湾海水养殖布局变化的遥感研究[J]. *海洋学研究*, 2014, 32(4): 35-42.
Gao M L, Li Y, Zhong S L, *et al.* Remote sensing detected mariculture changes in Dongshan Bay[J]. *Journal of Marine Sciences*, 2014, 32(4): 35-42(in Chinese).
- [11] 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(2): 411-420.
- [12] 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.
- [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]. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2004, 37(3): 249-254.
- [14] 李永振, 陈丕茂. 南沙群岛重要珊瑚礁水域鱼类资源数量分布[J]. *水产学报*, 2004, 28(6): 651-656.
Li Y Z, Chen P M. Quantitative distribution of fish resources in main coral reef waters of Nansha Islands[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2004, 28(6): 651-656(in Chinese).
- [15] 陈国宝, 李娜娜, 陈丕茂, 等. 南海黄斑篮子鱼的目标强度测量研究[J]. *中国水产科学*, 2010, 17(6): 1293-1299.
Chen G B, Li N N, Chen P M, *et al.* Target strength measurements of pearl-spotted spinefoot (*Siganus oramin*) in the South China Sea[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2010, 17(6): 1293-1299(in Chinese).
- [16] 孙明波, 谷孝鸿, 曾庆飞, 等. 基于水声学方法的太湖鱼类空间分布和资源量评估[J]. *湖泊科学*, 2013, 25(1): 99-107.
Sun M B, Gu X H, Zeng Q F, *et al.* Assessment of fish spatial distribution and biomass in Lake Taihu using hydroacoustic method[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2013, 25(1): 99-107(in Chinese).
- [17] 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).
- [18] 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).
- [19] 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).
- [20] SIMRAD. Simrad ER60 Scientific Echo Sounder Software Reference Manual[M]. Oslo, Norway: Simrad Maritime AS Kongsberg, 2008.
- [21] 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 fisheries resources in southern continental shelf of Nansha area[J]. *South China Fisheries Science*, 2015, 11(5): 1-10(in Chinese).
- [22] Simmonds J, MacLennan D. *Fisheries Acoustics-Theory and Practice*[M]. 2nd ed. Oxford, England: Blackwell Science, 2005: 85-142.
- [23] 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.
Li Y Z, Chen G B, Zhao X Y, *et al.* Acoustic assessment of non-commercial small-size fish resources in the northern waters of south China sea[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2005, 35(2): 206-212(in Chinese).
- [24] 刘世刚, 汤勇, 陈国宝, 等. 南海深海声学散射层垂直分布和昼夜变化初步研究[J]. *海洋科学进展*, 2015, 33(2): 173-181.
Liu S G, Tang Y, Chen G B, *et al.* Vertical distribution and diurnal movement of the deep scattering layer in South China Sea[J]. *Advances in Marine Science*, 2015, 33(2): 173-181(in Chinese).
- [25] 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.
- [26] Zhang J, Chen P M, Chen G B, *et al.* Acoustic target strength measurement of banded grouper [*Epinephelus awoara* (Temming & Schlegel, 1842)] and threadial filefish [*Stephanolepis cirrhifer* (Temming & Schlegel, 1850)] in the South China Sea[J]. Journal of Applied Ichthyology, 2013, 29(6): 1453-1455.
- [27] Polovina J J, Howell E, Kobayashi D R, *et al.* The transition zone chlorophyll front, a dynamic global feature defining migration and forage habitat for marine resources[J]. Progress in Oceanography, 2001, 49(1-4): 469-483.
- [28] 张甲坤, 苏奋振, 杜云艳. 东海区中上层鱼类资源与海表温关系[J]. 资源科学, 2004, 26(5): 147-152.
- Zhang J S, Su F Z, Du Y Y. Relationship between pelagic fishery resources and sea surface temperature in East China Sea[J]. Resources Science, 2004, 26(5): 147-152(in Chinese).
- [29] Gordoa A, Masó M, Voges L. Monthly variability in the catchability of Namibian hake and its relationship with environmental seasonality[J]. Fisheries Research, 2000, 48(2): 185-195.
- [30] Zheng X, Pierce G J, Reid D G. Spatial patterns of whiting abundance in Scottish waters and relationships with environmental variables[J]. Fisheries Research, 2001, 50(3): 259-270.
- [31] 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, 20(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, 20(6): 1079-1088(in Chinese).
- [32] 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).
- [33] 陈文河, 刘学东, 卢伙胜. 南沙群岛海域鱼类群落结构的季节性变化研究[J]. 热带海洋学报, 2010, 29(4): 118-124.
- Chen W H, Liu X D, Lu H S. Research on seasonal changes of the fish structure community in Nansha Islands waters[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2010, 29(4): 118-124(in Chinese).
- [34] 赵静, 章守宇, 许敏. 枸杞海藻场生态系统能量流动模型初探[J]. 上海海洋大学学报, 2010, 19(1): 98-104.
- Zhao J, Zhang S Y, Xu M. The primary research of the energy flow in Gouqi kelp bed ecosystem[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2010, 19(1): 98-104(in Chinese).
- [35] O'Driscoll R L. Determining species composition in mixed-species marks: an example from the New Zealand hoki (*Macruronus novaezelandiae*) fishery[J]. ICES Journal of Marine Science, 2003, 60(3): 609-616.

Acoustic estimation of fishery resources inside and outside the algae breeding zone of Baishawan in Nan'ao

GUO Yu^{1,2}, LI Chunhou¹, CHEN Guobao^{1*}

(1. Key Laboratory of South China Sea Fishery Resources Exploitation & Utilization, Scientific Observing and Experimental Station of South China Sea Fishery Resource and Environment, Ministry of Agriculture, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China ;
2. College of Marine Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: In order to know the fish resource distribution and the variation of the biomass density, three acoustic surveys were conducted with a split-beam echo sounder (EY60 model, 200 kHz, Simrad) inside and outside the algae breeding zone of Baishawan in Nan'ao on Apr. 28, Dec. 2, 2015, and Apr. 19, 2016. The acoustic assessment results showed that the resource abundance density of three times inside and outside the algae breeding zone were $3.45/1.38 \times 10^5$, $0.63/1.45 \times 10^5$ and $3.67/2.98 \times 10^5$ inds/n mile². Obviously, the biomass was higher in spring than in winter inside the algae breeding zone and the resource abundance density changed evidently as the seasons than outside the algae breeding zone. The highest resource abundance density was mainly in 2–6 m depth layer, 6–8 m depth layer took second place, and the upper and the bottom had the least. The biomass was affected by the depth of significant resources abundance density. Our research confirmed that during the period of algae breeding, the resource abundance density was higher inside than outside the algae breeding zone and changed evidently. It was important for the algal biology to change the biomass and distribution inside the algae breeding zone.

Key words: fish resources; abundance density; spatial distribution; acoustic surveys; Nan'ao Island

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

Funding projects: Special Fund for Agro-scientific Research in the Public Interest(201403008); National "Twelfth Five-Year" Plan for Science & Technology Support(2012BAD18B01); Key Project of National Natural Science Foundation of China-Guangdong Joint Funds(U1301235)