

南海柘林湾—南澳岛海洋牧场渔业资源本底声学评估

张俊^{1,2,3}, 陈丕茂^{1,2,3}, 房立晨^{1,4}, 陈国宝^{1,2,3*}, 黎小国^{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南海水产研究所, 农业部南海渔业资源环境科学观测实验站, 广东 广州 5103003;

3. 中国水产科学研究院海洋牧场技术重点实验室, 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东 广州 5103003;

4. 大连海洋大学海洋科技与环境学院, 辽宁 大连 116023)

摘要: 为掌握南海柘林湾—南澳岛海洋牧场水域渔业资源本底情况, 于 2011 年 4 月到 2012 年 2 月, 使用 Simrad EY60 科学探鱼仪先后于不同月份对其进行了 4 次调查。调查显示 2011 年 4 月, 21 种评估鱼类总平均数量密度和平均资源量密度分别为 2.68×10^4 个/ km^2 和 $0.73 \text{ t}/\text{km}^2$; 2011 年 8 月, 38 种评估鱼类总平均资源数量密度和平均资源量密度分别为 6.49×10^4 个/ km^2 和 $0.71 \text{ t}/\text{km}^2$; 2011 年 11 月, 33 种评估鱼类总平均资源数量密度和平均资源量密度分别为 4.14×10^4 个/ km^2 和 $0.93 \text{ t}/\text{km}^2$; 2012 年 2 月, 15 种评估鱼类总平均资源数量密度和平均资源量密度分别为 1.45×10^4 个/ km^2 和 $0.36 \text{ t}/\text{km}^2$ 。结果表明, 4 个月资源量密度均不高; 11 月资源密度和资源量最高; 2 月资源密度和资源量最低, 声学评估种类明显减少。4 月积分值主要分布于 4~8 m 水层; 8 月积分值于 4~14 m 水层内分布比较均匀; 11 月积分值主要分布水层与 4 月相似, 但 10 m 以深水体所占百分比高于 4 月; 2 月积分值主要分布于 4~10 m 水层, 尤其是 6~8 m 水层。资源密度与水深之间无明显线性关系。各月份调查站点资源密度与 SST 无明显线性关系。各月份平均丰度密度与 SST 呈明显线性关系 ($R^2 = 0.9974$)。各月份平均资源量密度与 SST 呈一定线性关系 ($R^2 = 0.2872$)。研究证实声学方法在海洋牧场渔业资源评估过程中表现出良好的效果, 推动了声学技术在海洋牧场渔业资源研究领域的发展, 为今后我国深入开展海洋牧场渔业资源增殖效果评估研究提供了现实基础和科学依据。

关键词: 海洋牧场; 渔业资源; 声学评估; 海表温度; 柘林湾—南澳岛

中图分类号: S 931.1

文献标志码: A

海洋牧场是一种现代化渔业经济发展模式, 在海洋生物资源恢复、增殖、养护和海洋生态环境修复方面具有重要意义, 被世界渔业强国广泛利用^[1-3]。中国也正大力进行海洋牧场研究和建设, 以实现最终海洋生物资源的可持续利用^[4-6]。柘林湾位于广东省饶平县境内, 处闽粤交界海面, 地理位置优越, 东、西、北三面环陆, 是一个半封闭的海湾。湾内岸线蜿蜒, 风景优美, 海洋生物资源丰富。近年来, 由于过度捕捞、大规模海洋工程建设、环境污染和气候变化等影响, 柘林湾渔业资源

衰退严重。为改善和修复柘林湾水生生物栖息环境, 促进渔业资源的养护和增殖, 中国在柘林湾—南澳岛建设了海洋牧场示范区。

采用合理方法调查和评估海洋牧场渔业资源状况是掌握资源增殖养护效果的基本要求。光学法(水下摄像和记录)和直接捕捞法(拖网和钓具)是传统上调查海洋牧场渔业资源的常用方法, 为分析和评估海洋牧场渔业资源变动和增殖效果发挥了重要作用^[6-8]。由于光波在海水中传播距离短, 限制了光学法的广泛应用, 而直接捕捞

收稿日期:2015-01-28 修回日期:2015-04-05

资助项目:公益性行业(农业)科研专项(201003068); 国家科技支撑计划(2012BAD18B02); 国家财政专项“南海海洋捕捞信息动态采集网络”(2009-2015)

通信作者:陈国宝, E-mail:chengb98@163.com

法则面临渔具捕捞效率低、取样面积小和海洋牧场特殊生境构造限制等问题。渔业资源声学评估方法能沿着调查航线对表层盲区和底层死区外的全水层鱼类分布及其资源量进行三维定量研究,全面反映鱼类的时空分布及变动,具有高效、不破坏生物资源、时空数据丰富等优点,是目前海洋渔业资源调查主流方法之一,已成为海洋牧场渔业资源评估新的有效方法^[9-13]。声学法与直接捕捞法或光学法的有机结合可能是未来评估海洋牧场渔业资源最好的选择之一。

本研究利用声学方法并辅助拖网取样对南海柘林湾-南澳岛海洋牧场渔业资源进行了4次本底调查,评估了该海域鱼类种类组成、资源密度和

资源量及其时空变化,同时分析了资源分布与水深和海表温度之间的关系,旨在为海洋牧场渔业资源声学评价提供参考。

1 材料与方法

1.1 调查海域、时间与航线设计

柘林湾-南澳岛海洋牧场区位于粤东柘林湾和南澳岛周边海域(116°54.72'~117°11.52'E, 23°25.92'~23°38.82'N),2010年12月正式开始建设。本底声学调查水域面积330 km²,水深5~20 m,平均水深10 m,调查时间分别为2011年4、8、11月和2012年2月。采用分区等间距平行断面方式进行走航调查(图1)。

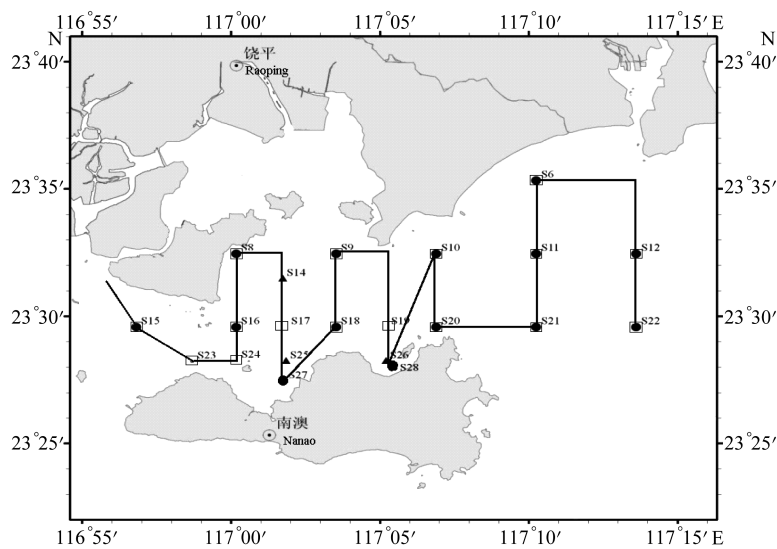


图1 柘林湾-南澳岛海洋牧场地理位置、声学调查航线及生物学取样站位

●:拖网和刺网调查站位,□:环境调查站位,▲:贝类区调查站

Fig.1 Location of marine ranching, acoustic survey route, biological sampling stations in marine ranch area in Zhelin Bay-Nanao Island

●:trawl and gill net station,□:environment station,▲:Shellfish bed zone station

1.2 声学数据采集与分析

采用挪威 Simrad EY60 分裂波束科学探鱼仪进行渔业声学数据采集,工作频率分别为 70 kHz 和 120 kHz。两台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体振动干扰换能器正常工作。为防止水流和气泡的干扰,换能器置于水下 1 m。按照国际通用的标准目标方法对探鱼仪进行现场校正^[14](表1)。走航调查中,平均船速为 6.0 kts,GPS 数据与声学数据同步采集并存储。

主要借助 Echoview 软件对声学数据进行分

析,所有声学数据均被仔细检查,非走航时段的数据不用于资源量计算。声学数据分析水体为换能器表面 2 m 以下至海底之上 0.5 m,基本积分航程单元设为 0.5 n mile,参考船的航行状态、天气状况、做站时间、水深等信息,剔除明显噪声,积分阈值设为 -70 dB 以屏蔽浮游生物等弱散射体的回波信号^[15-17]。

1.3 鱼类样品采集与分析

利用拖网和刺网采集鱼类样品以辅助声学映像分析,其中以拖网取样为主,部分海域无法拖网取样时以刺网取样。拖网采样均使用“粤饶平

22032”拖网渔船进行。调查船主机功率 88.2 kW,船长 17 m,船宽 3.9 m,吨位 29 t。底拖网网长 25 m,上纲 36 m,下纲 30 m,网囊长 2.5 m,网目 7.5 cm。刺网采样渔具为三重刺网,网高 8 m,网目 25 cm × 3.5 cm × 25 cm。对所有渔获物进行现场分类和计数,测量并记录渔获物的体长(胴长或叉长,cm)和体质量(g)。调查中共设计拖网站位 12 个,分别是 S6、S8~S9、S10~S12、S15~S16、S18、S20~S22,刺网站位 2 个,分别是 S27 和 S28(图 1)。鉴于刺网位置均位于 S10~S20 断面以西湾内浅水区,故将刺网所获鱼类样品与湾内拖网所获样品综合作为参考。

表 1 Simrad EY60 探鱼仪主要技术参数设置

Tab.1 Simrad EY60 echosounder main technical parameter

技术参数 technical parameter	参数设置 parameter setting	
	70 kHz 换能器 70 kHz transducer	120 kHz 换能器 120 kHz transducer
换能器型号 transducer type	ES70-7C	ES120-7C
发射功率/W transmitting power	200	200
脉冲宽度/ μm pulse duration	0.128	0.128
增益/dB gain	25.50	26.80
波束等效立体角/ dB equivalent beam angle	-21.00	-21.00
纵向波束宽度/ $^\circ$ alongship beam width	7.00	7.00
横向波束宽度/ $^\circ$ athwartship beam width	7.00	7.00

1.4 鱼类资源量评估

以 120 kHz 声学数据分析结果进行资源量计算,70 kHz 声学数据辅助进行映像分析。按照多种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,以拖网和刺网渔获物数据作为积分值分配的主要依据。调查区域内第 i 种鱼类的数量密度 ρ_{i-a} (个/ km^2) 和资源量密度 ρ_{i-b} (t/km^2) 分别为^[9,15-17]:

$$\rho_{i-a} = c_i \frac{\text{NASC}}{4\pi\sigma} 1.852^{-2};$$

$$\rho_{i-b} = \rho_{i-a} \bar{w}_i 10^{-6};$$

$$\bar{\sigma} = \sum_{j=1}^n c_j 10^{TS_j/10}; TS_j = 20 \lg L_j + b_{20,j}$$

式中, c_i (%)是分析水域内第 i 种鱼类占渔获物的数量百分比;NASC (m^2/nmi^2) 是分析水域内参与积分值分配生物种类的总积分值 (nautical area scattering coefficient); $\bar{\sigma}$ (m^2) 是分析水域内所有评估鱼种的平均后向声学截面 (mean backscattering cross-section); \bar{w} (g) 是第 i 种鱼类的平均个体质量; c_j (%) 和 TS_j (dB) 分别是分析断面内鱼种 j 的数量百分比和目标强度; n (种) 是分析断面中所有评估鱼类的种数; L_j (cm) 是第 j 种鱼体平均体长; $b_{20,j}$ (dB) 是第 j 种鱼的目标强度参数。通过查阅相关文献,归纳主要评估种类的目标强度参数(表 2)^[15,18-22]。计算走航线上柘林湾内和湾外的资源量密度及其分布,通过非参数 K-SZ 检验和 t 检验比较湾内和湾外资源密度分布差异。

1.5 资源分布与水深关系

积分值是衡量资源量的重要指数之一,通常用海里面积散射系数 (NASC) 表示。为了解鱼类资源量垂直分布特征,以 2 m 为单元对各航次声学数据进行分层,统计各水层 NASC 值及百分比。

统计各航次基本积分航程单元的平均资源密度和平均水深,通过 SPSS 软件对平均资源密度与平均水深这两组数据进行线性回归,分析相关性是否显著。

1.6 资源密度与环境关系

统计调查航线上 S6、S8~12、S14、S16~22、S24~26 等 17 站点的平均资源密度(图 1)。参照海洋监测规范第 4 部分:海水分析 (GB17378.4-2007)^[23],每个站位同步采集表层 (0.5 m) 水样,用 Hydrolab 多功能水质仪 (YSI professional plus, 美国) 现场测定其温度,其中 2011 年 4 月航次仅 S8~12 和 S14 等 6 个调查站点采集到有效的温度数据。分析声学评估的鱼类资源密度与各航次海表温度 (sea surface temperature/ $^\circ\text{C}$, SST) 的关系。

2 结果

2.1 评估鱼类种类组成

2011 年 4 月拖网和刺网共捕获鱼类 39 种,头足类 2 种,虾类 23 种,蟹类 18 种,贝类 19 种,海胆 1 种;2011 年 8 月拖网和刺网共捕获鱼类 38 种,头足类 3 种,虾类 19 种,蟹类 19 种,贝类 11 种;2011 年 11 月拖网和刺网共捕获鱼类 46 种,头足类 6 种,虾类 21 种,蟹类 23 种,贝类 3 种,海胆 1 种;2012 年 2 月拖网和刺网共捕获鱼类 27

种,头足类 2 种,虾类 21 种,蟹类 15 种,贝类 6 种。2011 年 4 月、8 月、11 月和 2012 年 2 月 4 次资源调查中,评估种类组成有较大差异。8 月声学评估游泳生物种类最多,达 37 种,2 月声学评估游泳生物种类最少,仅 15 种,11 月 33 种,列第二,4 月列第三,为 21 种。各月优势种也明显不同,4 月渔获物数量百分比前五的鱼类分别为短吻鳐(*Leiognathus brevirostris*)、龙头鱼(*Harpodon nehereus*)、尖吻鲷(*Therapon oxyrhynchus*)、带鱼(*Trichiurus haumela*)和短棘银鲈(*Gerres lucidus*),8 月分别为鹿斑鳐(*Leiognathus ruconius*)、白姑鱼(*Argyrosomus argentatus*)、杜氏棱鯷(*Thrissa dussumieri*)、带鱼和田乡枪乌贼

(*Loligo tagoi*),11 月分别为赤鼻棱鯷(*Thrissa kammalensis*)、龙头鱼、前鳞骨鲷(*Osteomugil ophuyseni*)、黄鲫(*Setipinna tenuifilis*)和带鱼,2 月分别为斑鲷(*Clupanodon punctatus*)、龙头鱼、杜氏棱鯷、白姑鱼、带鱼。各月列前五的鱼类中,带鱼均有出现,龙头鱼出现 3 次,白姑鱼和杜氏棱鯷均出现 2 次。

各调查月份鲆鲽类、鰕虎鱼类、鲷类、耳乌贼类、虾类、蟹类、贝类和海胆不参与声学评估。2011 年 4、8、11 月和 2012 年 2 月航次声学资源评估鱼类分别为 21、37、33 和 15 种。根据生物学取样,获得各月渔获物数量前 5 位鱼类生物学组成信息(表 3)。

表 2 海洋牧场声学评估种类及 b_{20} 值
Tab. 2 Acoustic estimation species of marine ranching and their b_{20} values

种类 species	拉丁文学名 Latin name	b_{20} /dB	种类 species	拉丁文学名 Latin name	b_{20} /dB	种类 species	拉丁文学名 Latin name	b_{20} /dB
白姑鱼	<i>Argyrosomus</i> sp.	-68.0	四指马鲛	<i>Eleutheronema</i> <i>tetradactylum</i>	-80.0	蓝子鱼	<i>Siganus</i> sp.	-68.0
鳐类	<i>Leiognathus</i> spp.	-72.5	褐菖鲉	<i>Sebastes</i> <i>marmoratus</i>	-72.5	金线鱼	<i>Nemipterus</i> sp.	-68.0
龙头鱼	<i>Harpadon</i> <i>nehereus</i>	-78.0	勒氏短须石首鱼	<i>Sciaenal</i> <i>russelli</i>	-72.5	大黄鱼	<i>Larimichthys</i> <i>crocea</i>	-68.0
鲷	<i>Therapontheraps</i>	-72.5	多鳞鱈	<i>Sillago</i> <i>sihama</i>	-72.5	小黄鱼	<i>Larimichthys</i> <i>polyactis</i>	-68.0
细鳞鲷	<i>T. jarbua</i>	-72.5	斑鲷	<i>Konosirus</i> <i>punctatus</i>	-72.5	石斑鱼	<i>Epinephelus</i> sp.	-72.5
短棘银鲈	<i>Gerres lucidus</i>	-72.5	绯鲤类	<i>Parupeneus</i> sp.	-72.5	黄鲫	<i>Setipinna</i> <i>tenuifilis</i>	-76.0
带鱼	<i>Trichiuridae</i> spp.	-66.1	沙丁鱼	<i>Sardinella</i> sp.	-72.5	刺鲀	<i>Diodontidae</i> spp.	-76.0
李氏鱼衍	<i>Callionymus</i> <i>richardsoni</i>	-72.5	大眼鲷	<i>Priacanthidae</i> sp.	-68.0	马面鲀	<i>Thamnaconus</i> sp.	-76.0
前鳞骨鲷	<i>Osteomugil</i> <i>ophuyseni</i>	-72.5	天竺鲷类	<i>Apogonidae</i> sp.	-68.0	小公鱼	<i>Anchoviella</i> sp.	-72.5
蛇鲷	<i>Saurida</i> sp.	-72.5	笛鲷类	<i>Lutjanidae</i> spp.	-68.0	银鲷	<i>Pampus</i> sp.	-80.0
棱鯷	<i>Thrissasp.</i>	-72.5	发光鲷	<i>Acropoma</i> <i>japonicum</i>	-68.0	刺鲷	<i>Psenopsis</i> <i>anomala</i>	-80.0
丽叶鲷	<i>Caranx kalla</i>	-72.5	二长棘鲷	<i>Paerargyrops</i> <i>edita</i>	-68.0	黄斑鳐	<i>Leiognathus</i> <i>bindus</i>	-80.0
蓝圆鲷	<i>Decapterus</i> <i>maruadsi</i>	-72.5	平鲷	<i>Rhabdosargus</i> <i>sarba</i>	-68.0	印度无齿鲷	<i>Ariomma</i> <i>indica</i>	-80.0
竹筴鱼	<i>Trachurus</i> <i>japonicus</i>	-72.5	黑鲷	<i>Sparus</i> <i>macrocephalus</i>	-68.0	枪乌贼	<i>Loligo</i> sp.	-78.0
六指马鲛	<i>Polydactylus se</i> <i>-xfilis</i>	-80.0	花尾胡椒鲷	<i>Plectorhynchus</i> <i>cinctus</i>	-68.0			

表 3 各月渔获物数量前 5 位鱼类生物学组成信息
 Tab. 3 Biological composition information of the most abundant 5 species for each month

调查年月 survey year - month	种类 species	数量/尾 fish number	百分比/% percentage	体长/mm body length		体质量/g bodyweight	
				范围 range	均值 mean	范围 range	均值 mean
2011 年 4 月 April, 2011	短吻蝠 <i>Leiognathus brevisrostris</i>	57	21.9	60 ~ 77	64	13 ~ 85	28.3
	龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i>	29	11.2	105 ~ 215	172	5.5 ~ 92	42.5
	尖吻鲷 <i>Therapon oxyrhynchus</i>	22	8.5	89 ~ 93	90	19 ~ 21	20.2
	带鱼 <i>Trichiurus haumela</i>	19	7.3	85 ~ 140	121	9 ~ 54	28.2
	短棘银鲈 <i>Gerres lucidus</i>	19	7.3	60 ~ 149	79	7.5 ~ 71	16.7
2011 年 8 月 August, 2011	鹿斑蝠 <i>Leiognathus ruconius</i>	474	43.2	21 ~ 76	43	0.5 ~ 12	4.4
	白姑鱼 <i>Argyrosomus argentatus</i>	174	15.9	36 ~ 195	56	1.0 ~ 22	4.2
	杜氏棱鯷 <i>Thrissa dussumieri</i>	97	8.8	33 ~ 79	58	0.3 ~ 6.8	2.4
	带鱼 <i>T. haumela</i>	48	4.4	36 ~ 269	108	0.5 ~ 294	36.9
	田乡枪乌贼 <i>Loligo tagoi</i>	35	3.2	14 ~ 51	28	1 ~ 20	6.2
2011 年 11 月 November, 2011	赤鼻棱鯷 <i>Thrissa kammalensis</i>	90	32.7	56 ~ 78	68	5 ~ 6	5.8
	龙头鱼 <i>H. nehereus</i>	34	12.4	63 ~ 238	152	0.9 ~ 86	28.5
	前鳞骨鲷 <i>Osteomugil ophuyseni</i>	26	9.5	68 ~ 263	159	15 ~ 47	31.4
	黄鲫 <i>Setipinna tenuifilis</i>	16	5.8	2 ~ 118	89	3 ~ 15	7.0
	带鱼 <i>T. haumela</i>	15	5.5	5 ~ 258	179	63 ~ 121	96.6
2012 年 2 月 February, 2012	斑鰾 <i>Clupanodon punctatus</i>	34	24.6	46 ~ 183	126	20 ~ 21	20.2
	龙头鱼 <i>H. nehereus</i>	22	15.9	142 ~ 351	177	25 ~ 74	48.2
	杜氏棱鯷 <i>T. dussumieri</i>	21	15.2	65 ~ 112	84	1.5 ~ 11	7.9
	白姑鱼 <i>A. argentatus</i>	13	9.4	42 ~ 267	81	0.7 ~ 153	28.7
	带鱼 <i>T. haumela</i>	12	8.7	76 ~ 117	143	5.2 ~ 79	47.3

2.2 资源密度和资源量

4 次调查中,2011 年 8 月鱼类平均数量密度最高,2012 年 2 月鱼类数量密度最低,4、8 和 11 月数量密度分别是 2 月的 1.85、4.48 和 2.86 倍;2011 年 11 月平均资源量密度最高,2012 年 2 月平均资源量密度最低,4、8 和 11 月平均资源量密度分别是 2 月的 2.03、1.97 和 2.58 倍;数量和资源量密度的季节分布并不完全一致(表 4)。2011 年 4 月柘林湾内、外海域资源密度分布较均匀,湾内略高于湾外。2011 年 8

月柘林湾内、外资源密度分布无明显差异($P > 0.05$)。2011 年 11 月柘林湾内资源密度明显低于湾外和南澳岛东北海域($P > 0.05$)。2012 年 2 月柘林湾海洋资源密度均不高,且湾外资源密度明显高于湾内(图 2)。从声学评估结果看,2011 年 4、8、11 月和 2012 年 2 月前 5 位鱼类资源量合计占其总资源量的比例分别是 23.2%、18.1%、22.8% 和 13.5%(表 5)。

2.3 资源分布与水深关系

2011 年 4 月积分值主要分布于 4 ~ 8 m 水

层,10 m以深水体内所占百分比较少;2011年8月积分值于4~14 m水层内分布较均匀,12~14 m比例最高;2011年11月积分值主要分布水层与4月相似,但10 m以深水体所占百分比高于

后者;2012年2月积分值主要分布于4~10 m水层,尤其是6~8 m水层。由于大部分调查区水深小于15 m,所以各航次14~20 m内积分值所占百分比均较小(图3)。

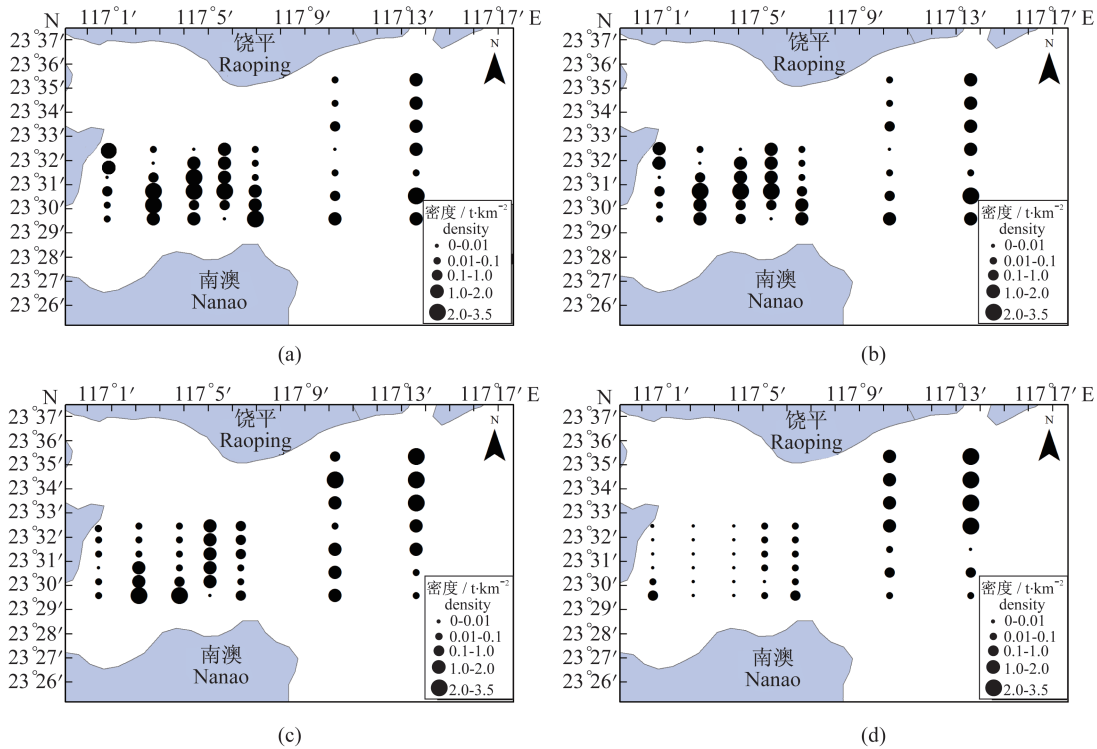


图2 2011~2012年资源密度分布

(a) 2011年4月;(b) 2011年8月;(c) 2011年11月;(d) 2012年2月

Fig. 2 Distribution of biomass density in 2011 and 2012

(a) April 2011;(b) August 2011;(c) November 2011;(d) February 2012

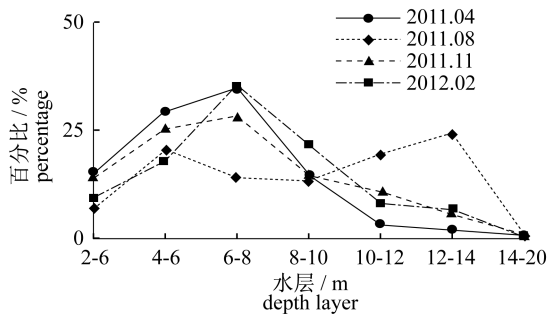


图3 各月积分值垂直分布

Fig. 3 Vertical distribution of NASC for different months

对各月资源密度与水深进行线性回归分析后发现,2011年4月资源密度随水深增加最显著,但其决定系数 R^2 只有0.3965,2011年8月、2011年11月和2012年2月的密度与水深的线性回归的决定系数分别只有0.0590、0.0420和0.0210,因此,资源密度与水深之间无显著线性关系(图4)。

2.4 资源密度与环境关系

回归分析显示,若排除S11站点数据(图中最高值),则4月资源密度与SST存在明显线性关系($R^2=0.9426, P<0.01$),否则线性关系的决定系数 R^2 仅为0.0507($P>0.05$)(图5)。然而并无充分理由排除S11站点数据,因此,4月资源密度与SST之间无显著线性关系。

回归分析发现,2011年8、11月及2012年2月各站点丰度密度和资源量密度值不随SST升高有明显升高或者降低趋势(图5)。8、11和2月资源密度与SST之间无显著线性关系。

各月平均丰度密度随SST升高而同步升高(图6)。回归分析结果显示,二者呈明显线性关系($R^2=0.9974, P<0.01$),其表达式:

$$\text{丰度密度} = -117501 + 12416\text{SST}$$

各月平均资源量密度随SST升高有增加的趋势(图6)。但SST最高的8月,其平均资源量

密度却小于 11 月。回归分析的结果显示,二者呈 达式:

一定线性关系 ($R^2 = 0.2872$, $P > 0.05$), 其表 资源量密度 = $0.9395 + 0.0654SST$

表 4 各月所有声学评估鱼类结果

Tab. 4 Acoustic estimation of total species for each month

调查年月 survey year - month	平均数量密 度/(个/km ²) mean abundance density	平均资源量 密度 /(t/km ²) mean biomass density	最高数量密度 /(个/km ²) maximum abundance density	最高资源量密 /(t/km ²) maximum biomass density	资源丰度/个 abundance	资源量/t biomass	变异系数 variation coefficient
2011 年 4 月 April, 2011	2.68×10^4	0.73	7.17×10^4	1.96	884.64×10^4	242.04	0.105
2011 年 8 月 August, 2011	6.49×10^4	0.71	12.12×10^4	1.32	2143.00×10^4	233.79	0.088
2011 年 11 月 November, 2011	4.14×10^4	0.93	15.05×10^4	3.40	1367.73×10^4	307.42	0.091
2012 年 2 月 February, 2012	1.45×10^4	0.36	3.63×10^4	0.89	478.23×10^4	117.46	0.086

表 5 各航次渔获物数量前 5 位鱼类的资源丰度和资源量信息

Tab. 5 Abundance and biomass information of the most abundant 5 species for each voyage

调查年月 survey year - month	种类 species	丰度密度/($\times 10^4$ 个/km ²) abundance density	资源量密度/(t/km ²) biomass density	丰度/($\times 10^4$ 个) abundance	资源量/t biomass
2011 年 4 月 April, 2011	短吻蝠 <i>Leiognathus brevirostris</i>	0.97	0.27	76.68	21.74
	龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i>	0.49	0.21	39.01	16.59
	尖吻鲷 <i>Therapon oxyrhynchus</i>	0.37	0.08	29.60	5.97
	带鱼 <i>Trichiurus haumela</i>	0.32	0.09	25.56	7.22
	短棘银鲈 <i>Gerres lucidus</i>	0.32	0.05	25.56	4.28
2011 年 8 月 August, 2011	鹿斑蝠 <i>Leiognathus ruconius</i>	5.01	0.22	397.52	17.61
	白姑鱼 <i>Argyrosomus argentatus</i>	1.84	0.08	145.93	6.09
	杜氏棱鯷 <i>Thrissa dussumieri</i>	1.03	0.02	81.35	1.95
	带鱼 <i>T. haumela</i>	0.51	0.19	40.26	14.84
	田乡枪乌贼 <i>Loligo tagoi</i>	0.37	0.02	29.35	1.83
2011 年 11 月 November, 2011	赤鼻棱鯷 <i>Thrissa kammalensis</i>	2.06	0.12	162.99	9.49
	龙头鱼 <i>H. nehereus</i>	0.78	0.22	61.57	17.54
	前鳞骨鲷 <i>Osteomugil ophuyseni</i>	0.59	0.19	47.08	14.80
	黄鲫 <i>Setipinna tenuifilis</i>	0.37	0.03	28.98	2.04
	带鱼 <i>T. haumela</i>	0.34	0.33	27.16	26.24
2012 年 2 月 February, 2012	斑鰹 <i>Clupanodon punctatus</i>	0.24	0.05	19.12	3.87
	龙头鱼 <i>H. nehereus</i>	0.16	0.08	12.37	5.96
	杜氏棱鯷 <i>T. dussumieri</i>	0.15	0.01	11.81	0.93
	白姑鱼 <i>Argyrosomus argentatus</i>	0.09	0.03	7.31	2.10
	带鱼 <i>T. haumela</i>	0.09	0.04	6.75	3.19

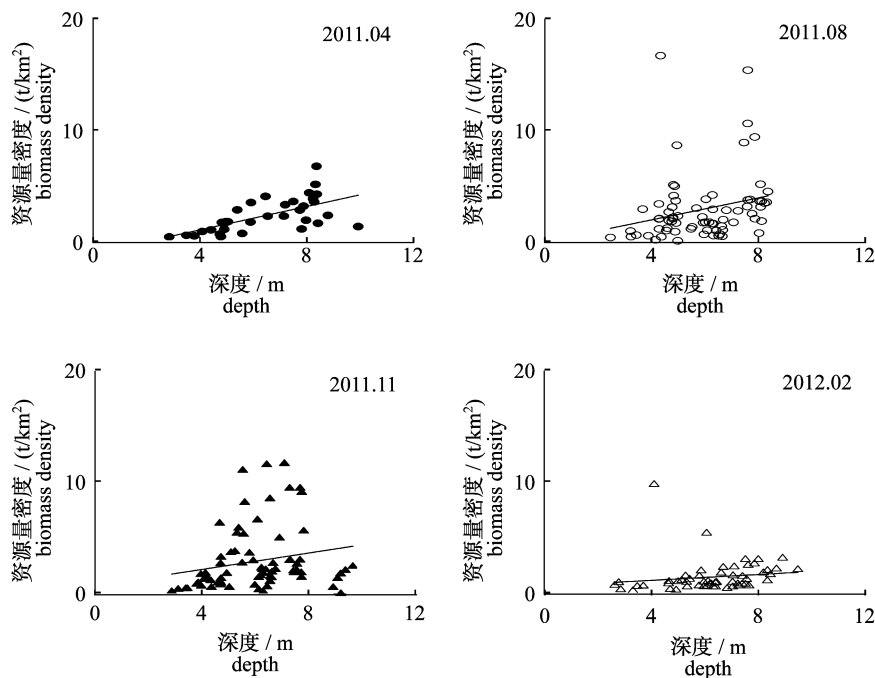


图4 各月资源密度随水深变化

Fig. 4 Correlation between resource density and depth for different months

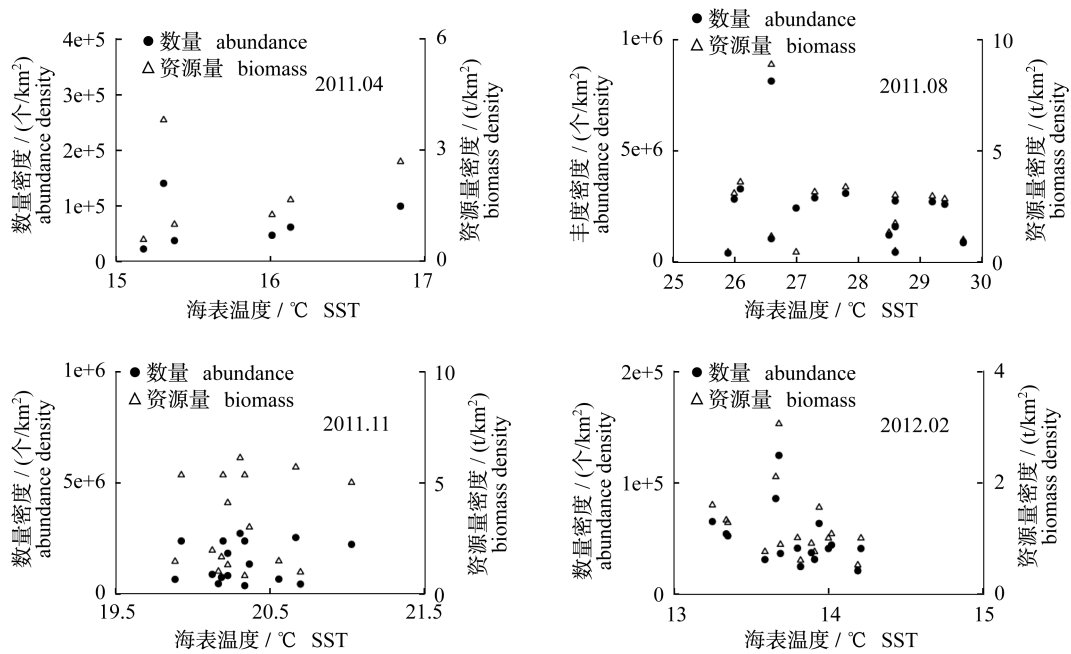


图5 各月资源密度与海表温度关系

Fig. 5 Correlation between resource density and SST for different months

3 讨论

3.1 生物学取样与积分值分配

多种类海洋渔业资源声学评估中,声学映像分析和积分值分配是两个重要环节^[24]。大面积

海洋渔业资源声学调查中,生物学取样资料是映像分析和积分值分配的主要依据,通常以每站位渔获种类和数量确定其前后若干基本积分航程单元内参与积分值的鱼种,并结合映像特征、水深、温度等信息更换代表站位^[15,17]。由于海洋牧场

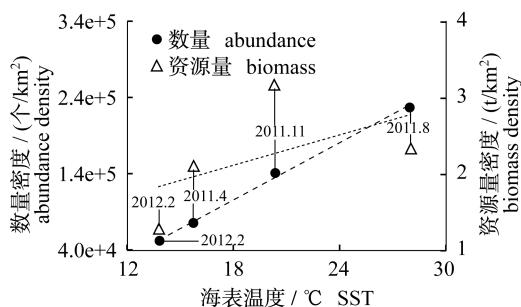


图 6 各月平均资源密度与海表温度关系

Fig. 6 Correlation between mean resource density and SST for different months

区面积相对较小,水深也相对较浅,同时考虑到取样网具的选择性和鱼类可能的逃逸,文章进行积分值分配时,并未完全按照传统大面积多种类海洋渔业资源声学调查中以每站位逐站分配积分值,而是主要根据水深将调查区分为湾内(代表站位有 S8~9、S16~20、S24~26)和湾外(代表站位有 S6、S11~12、S21~22)两个小区域,将湾内和湾外各自所有渔获资料分别统计后,再对两个区域的积分值进行分配。作者认为对面积较小的海洋牧场区作以上处理是可行的,有利于降低网具选择性对积分值分配的影响。

3.2 渔业资源季节变化

4次调查中,8月平均数量密度最高,其次是11月和4月,2月最低,8、11和4月数量密度分别是2月的4.48、2.86和1.85倍。11月平均资源量密度最高,其次是4月和8月,2月最低,11、4和8月资源量密度分别是2月的2.58、2.03和1.97倍。数量与资源量密度的月份分布并不同步,这与不同鱼种在不同月份内本均体质量变化趋势不同有关^[6]。文章中4、8、11和2月渔获物数量百分比前5位鱼类的加权平均体质量分别为28.4、6.1、21.4和28.0 g。8月数量密度最高,资源量密度却只列第三,反映小个体鱼类所占比例高。12°N以北的南海海域,除单层刺网、钓业外的其他所有作业类型从6月1日开始休渔,至8月1日休渔结束。因此,产卵引起的幼鱼增加和休渔结束后对大个体鱼类的捕捞可能是导致8月渔获物平均体质量较小的重要原因。2月鱼类数量和资源量密度均最低,而目前正在进行的南海北部近海渔业资源调查也发现冬季资源量远低于其他季节,可能因为2月近岸海表温度低,浮游植

物生长缓慢,部分鱼类游向深水区越冬或索饵所致^[25]。

2011年4月—2012年2月,各月鱼类资源量水平分布有较大变化,从湾内资源量密度略高于湾外逐渐过渡到湾外资源量密度明显高于湾内。彭璇等^[26]的研究表明,2011年4、8、11月及2012年2月柘林湾海洋牧场无机氮和活性磷酸盐全年呈现自西北部柘林湾向东南海域递减、近岸向离岸递减的变化趋势,与鱼类资源密度分布的季节变化有相似之处,氮磷营养盐可能是影响或限制柘林湾海洋牧场鱼类资源分布的重要因素。

3.3 资源分布与水深关系

积分值是渔业资源声学评估中衡量资源量的一个重要参数,并能从一定程度上反映鱼类的空间分布特征。4次调查中,2011年4和11月及2012年2月积分值垂直分布有一定相似性,4~10 m均占绝对优势;2011年8月积分值分布与上述3个月份明显不同,4~14 m水层内分布较均匀,且12~14 m水层比例最高。

各月资源密度与水深进行线性回归分析后发现两者之间无明显线性关系,更倾向于随机分布状态。原因可能是调查海域水深较浅,尚不足以使资源密度呈现出明显的随水深梯度变化的特征^[27]。

3.4 资源密度与环境关系

温度是海洋环境因子中影响鱼类分布和种群产量最为重要的因素之一^[28]。统计分析结果表明,2011年4、8、11月和2012年2月各站点丰度密度和资源量密度与SST之间关系并无明显线性关系,且两者之间的相关性也较低,这可能与柘林湾—南澳岛海洋牧场同一月份不同站点SST变化较小,而资源密度值呈现一定的随机性且波动性有关^[29]。

回归分析显示,各月份平均数量密度与平均SST呈极显著线性关系,表明温度是影响柘林湾—南澳岛资源密度季节变化的重要因素。各月平均资源量密度与SST呈正相关,但SST最高的8月,其平均资源量密度却小于11月,这可能与8月鱼类尾均体质量较小有关^[30],可能受不同鱼类生长特征、海域饵料水平影响。

参考文献:

- [1] Liu Z, Yang J M. The status and progress of marine ranching research in Japan [J]. Modern Fisheries

- Information, 1995, 10(5): 14 - 18. [刘卓, 杨纪明. 日本海洋牧场 (Marine Ranching) 研究现状及其进展. 现代渔业信息, 1995, 10(5): 14 - 18.]
- [2] Bell J D, Leber K M, Blankenship H L, *et al.* A new era for restocking, stock enhancement and sea ranching of coastal fisheries resources [J]. *Reviews in Fisheries Science*, 2008, 16(1-3): 1 - 9.
- [3] Yoon B S, Park J H, Sohn M H, *et al.* Community structure and distribution pattern of the pleuronectiform fishes in the Uljin marine ranching area, Korea [J]. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2013, 46(4): 413 - 423.
- [4] Lu Z K. Status, problems and countermeasure for exploitation and research of marine ranching in China [J]. *Modern Fisheries Information*, 1995, 10(9): 6 - 9. [陆忠康. 我国海洋牧场 (Marine Ranching) 开发研究的现状, 面临的问题及其对策. 现代渔业信息, 1995, 10(9): 6 - 9.]
- [5] Li C H, Jia X P, Qi Z H, *et al.* Study on the pattern of a low - carbon fisheries production by artificial reef based marine ranching in Daya Bay [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2012, 30(11): 2346 - 2352. [李纯厚, 贾晓平, 齐占会, 等. 大亚湾海洋牧场低碳渔业生产效果评价. 农业环境科学学报, 2012, 30(11): 2346 - 2352.]
- [6] 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. [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. 大连海洋大学学报, 2014, 29(2): 183 - 187.]
- [7] Wang Z H, Zhang S Y, Wang K, *et al.* A preliminary study on fish and macroinvertebrate enhancement in artificial reef area around Sanheng Isle, Shengsi, China [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2010, 34(5): 751 - 759. [汪振华, 章守宇, 王凯, 等. 三横山人工鱼礁区鱼类和大型无脊椎动物诱集效果初探. 水产学报, 2010, 34(5): 751 - 759.]
- [8] Chen P M, Yuan H R, Jia X P, *et al.* Changes in fishery resources of Yangmeikeng artificial reef area in Daya Bay [J]. *South China Fisheries Science*, 2013, 9(5): 100 - 108. [陈丕茂, 袁华荣, 贾晓平, 等. 大亚湾杨梅坑人工鱼礁区渔业资源变动初步研究. 南方水产科学, 2013, 9(5): 100 - 108.]
- [9] Simmonds J, MacLennan D N. *Fisheries acoustics: theory and practice* [M]. New York: Wiley, 2005.
- [10] Hamano A. Assessment of the effect of artificial reef on fish distribution; the combined use of acoustic data and GIS, in *global change: Mankind-Marine environment interactions* [M]. Netherlands: Springer, 2011: 99 - 103.
- [11] 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. 水产学报, 2011, 35(11): 1640 - 1649.]
- [12] Huang R, Han J, Tong J. Assessment of fishery resource of a marine ranching based on a DIDSON [R]. In *Oceans 2014 - Taipei*, IEEE, 2014.
- [13] Zhang J, Chen Z Z, Chen G B, *et al.* Hydroacoustic detection and estimation techniques of squid *Sthenoteuthis oualaniensis* in the South China Sea [J]. *South China Fisheries Science*, 2014, 10(6): 1 - 11. [张俊, 陈作志, 陈国宝, 等. 南海鸕乌贼水声学测量和评估相关技术研究. 南方水产科学, 2014, 10(6): 1 - 11.]
- [14] SIMRAD. *Simrad ER60 scientific echo sounder software reference manual* [M]. Norway: Simrad Maritime AS Kongsberg, 2008.
- [15] 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: 2002, 341 - 353. [赵宪勇, 陈毓楨, 李显森, 等. 多种类海洋渔业资源声学评估技术与方法 // 我国专属经济区和大陆架勘测研究论文集. 北京: 海洋出版社, 2002, 341 - 353.]
- [16] Higginbottom I, Woon S, Schneider P. *Hydroacoustic data processing for standard stock assessment using Echoview: Technical manual* [M]. Australia: Myriax Software Pty Ltd Publication, 2008.
- [17] Zhang J. Estimation of the anchovy resources in the yellow sea based on acoustic data post-processing system [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2011. [张俊. 基于声学数据后处理系统的黄海鳀鱼资源声学评估. 上海: 上海海洋大学, 2011.]
- [18] 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. 中国水产科学, 2005, 12 (4): 445 - 451.]
- [19] 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: Natural Science, 2005, 35(2): 206 - 212. [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. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2005, 35(2): 206 - 212.]
- [20] 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. [陈国宝, 李娜娜, 陈丕茂, 等. 南海黄斑蓝子鱼的目标强度测量研究. 中国水产科学, 2010, 17(6): 1293 - 1299.]
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China (AQSIQ), Standardization Administration of the People's Republic of China (SAC). GB17378.4 - 2007 Specification for marine monitoring-Part 6: the analysis of sea water [S]. Beijing: China Standards Press, 2007. [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. GB17378.4 - 2007 海洋监测规范—第4部分: 海水分析. 北京: 中国标准出版社, 2007.]
- [24] MacLennan D N, Simmonds E J. Fisheries acoustics [M]. London: Chapman & Hall, 1992.
- [25] Wang D, Lin Z J. Spatial and temporal variations of fish community structure in the Pearl River Estuary waters [J]. South China Fisheries Science, 2006, 2(4): 37 - 45. [王迪, 林昭进. 珠江口鱼类群落结构的时空变化. 南方水产科学, 2006, 2(4): 37 - 45.]
- [26] Peng X, Ma S W, Chen H G, *et al.* Nutrient status and grade evaluation of seawater in Zhelin Bay-Nanao Island marine ranching [J]. Guangdong Agricultural Science, 2014, 19(41): 135 - 141. [彭璇, 马胜伟, 陈海刚, 等. 粤柘林湾—南澳岛海洋牧场海水营养状况及其等级评价. 广东农业科学, 2014, 19(41): 135 - 141.]
- [27] Wang X H, Lin Z J, Du F Y, *et al.* Fish species composition and community pattern in the continental shelf of northwestern South China Sea [J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(7): 2225 - 2235. [王雪辉, 林昭进, 杜飞雁, 等. 南海西北部陆架区鱼类的种类组成与群落格局. 生态学报, 2013, 33(7): 2225 - 2235.]
- [28] Shi B Z, Shen G Y. Marine Ecology [M]. Beijing: Science Press, 2008. [施并章, 沈国英. 海洋生态学. 北京: 科学出版社, 2008.]
- [29] Li G, Zheng X Q, Zhu G P, *et al.* Establishment of surplus production model for chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the East China Sea and Yellow Sea based on the sea surface temperature [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2011, 20(1): 108 - 113. [李纲, 郑晓琼, 朱国平, 等. 基于水温因子的东、黄海鲈鱼剩余产量模型建立. 上海海洋大学学报, 2011, 20(1): 108 - 113.]
- [30] Wang C J, Zou L J, Li Gang, *et al.* Analysis of the inter-annual variation of chub mackerel abundance in the East China Sea and Yellow Sea during 1999 - 2011 [J]. Journal of Fisheries of China, 2014, 38(1): 56 - 64. [王从军, 邹莉瑾, 李纲, 等. 1999 - 2011年东、黄海鲈资源丰度年间变化分析. 水产学报, 2014, 38(1): 56 - 64.]

Background acoustic estimation of fisheries resources in marine ranching area of Zhelin Bay-Nan'ao Island in the south China Sea

ZHANG Jun^{1,2,3}, CHEN Pimao^{1,2,3}, FANG Lichen^{1,4}, CHEN Guobao^{1,2,3*}, LI Xiaoguo^{1,2,3}

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

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

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

4. School of Marine Technology and Environment, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China)

Abstract: In order to know the background information of fishery resources in Zhelin Bay-Nan'ao Island marine ranching, four acoustic surveys were conducted with Simrad EK60 echosounder in different months from April 2011 to February 2012. The results showed that the average abundance density and biomass density of 21 species estimated were 2.68×10^4 ind/km² and 0.73 t/km² respectively in April 2011. The average abundance density and biomass density of 38 species estimated were 6.49×10^4 ind/km² and 0.71 t/km² respectively in August 2011. The average abundance density and biomass density of 33 species estimated were 4.14×10^4 ind/km² and 0.93 t/km² respectively in November 2011. The average abundance density and biomass density of 15 species estimated were 1.45×10^4 ind/km² and 0.36 t/km² respectively in February 2012. The fish density and biomass were the highest in November and the lowest in February. The nautical area scattering coefficient (NASC) was distributed mainly in 4 ~ 8 m depth layer in April and evenly in 4 - 14 m depth layer in August. In November the main depth layer was similar to that in April, but the percentage in the depth layer of higher than 10 m was higher than that in April. In February NASC was distributed mainly in 4 - 10 m depth layer (especially 6 - 8 m). No significant linear relationship was observed between fisheries resources density and water depth. Fisheries resources density did not show a significant linear relationship with sea surface temperature (SST) of station monthly. There was significant linear relationship between monthly average abundance density and SST ($R^2 = 0.9974$). A linear relationship between monthly average biomass density and SST was found ($R^2 = 0.2872$). Our research confirmed that the acoustic method showed good effects in the process of marine ranching fishery resources assessment, promoting the development of acoustic technology in the research field of marine ranching and providing the realistic foundation and scientific basis for our country to further study the effect and assessment of marine ranching enhancement in the future.

Key words: marine ranching; fishery resources; acoustic estimation; sea surface temperature; Zhelin Bay-Nan'ao Island

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