

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2017.16095

南海中南部中层鱼资源声学积分值及时空分布初探

张俊, 江艳娥, 陈作志, 龚玉艳, 陈国宝

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实验站, 广东 广州 510300

摘要: 本研究利用 Simrad EK60 科学探鱼仪(38 kHz)于 2013 年春季和 2014 年春季采集的南沙和中沙、西沙海域渔业声学数据, 结合中层拖网取样, 采用回声积分法研究了南海中南部中层鱼的资源量及其时空分布特征。结果显示, 2014 年春季中、西沙海域 9 次中层拖网作业共捕获和鉴定鱼类和头足类 79 种, 隶属于 3 纲 16 目 37 科 60 属, 其中硬骨鱼纲的种类最多(65 种), 鞘亚纲次之(13 种), 软骨鱼纲 1 种, 硬骨鱼纲中巨口鱼科、灯笼鱼科和钻光鱼科的种类最多, 分别有 20 种、13 种和 6 种; 南沙海域中层鱼声学积分值(nautical area scattering coefficient, m^2/nmi^2)显著低于中沙、西沙及邻近海域, 前者夜间向上迁移的强度高于后者; 2013 年春季南沙海域夜间 10~200 m 和白天 200~1000 m 声学积分值构成没有显著差异($P>0.05$), 而 2014 年春季中沙、西沙海域夜间 10~200 m 和白天 200~1000 m 声学积分值构成有极显著差异($P<0.01$); 南沙海域白天 200~1000 m 不同纬度组间中层鱼声学积分值构成有极显著差异($P<0.01$), 中沙、西沙海域声学积分值构成亦有极显著差异($P<0.01$); 南海中南部中层鱼声学积分值是 $(2387\pm601) \text{ m}^2/\text{nmi}^2$, 基于现存公开发表的中层鱼的声学目标强度数据并取其均值, 推算南海中南部中层鱼资源量是 (8200 ± 2100) 万 t。研究表明, 南海中南部中层鱼声学积分值比全球平均值高约 29.2%, 可能是我国未来具有开发价值的大宗生物资源。

关键词: 中层鱼; 积分值; 时空分布; 声学评估; 南海

中图分类号: S932

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2017)01-0120-16

中层鱼(mesopelagic fish)是指栖息于大陆斜坡和大洋中层(200~1000 m)的小型游泳生物类群, 除北极外世界各大洋均有分布, 是构成深海散射层的主要生物, 资源量极高^[1-3]。中层鱼的概念有狭义与广义之分, 前者仅指小型鱼类, 如灯笼鱼科、巨口鱼科、钻光鱼科, 而后者除小型鱼类外, 还包括头足类和其他小型游泳动物^[4-5]。中层鱼摄食浮游生物, 同时又是众多高级生物的饵料, 如高等经济鱼类、海鸟、海洋哺乳动物, 作为大洋食物网物质转换和能量传递的枢纽, 对维持大洋生态系统的稳定性至关重要^[6-10]。中层鱼最明显的特征是昼夜垂直迁移习性: 夜间上升到海表面附近摄食, 白天则下降到中层并排遗^[11-14], 通过

代谢和垂直迁移将海洋上层的生物碳和能量向深海输送, 是深海生态系统物质和能量来源的机制之一, 对海洋碳储存有重要贡献^[15-16]。

南海是西太平洋最大、最深的边缘海之一, 总面积约 350 万 km^2 , 其中深海区包括深海海盆和大陆坡两部分, 共约 195 万 km^2 , 蕴藏着丰富的中层鱼资源^[17-18]。截至目前, 南海中层鱼研究基本都集中于形态分类、地理分布和基础生物学方面^[19-21]。而关于资源量评估的研究开展较少^[18, 22]。总体而言, 关于南海中层鱼迁移类型、群落结构、资源量和分布、生态功能等方面的研究较为薄弱。本研究利用“南锋”号调查船于 2013 年和 2014 年春季采集的南海中层鱼的声学数据, 对南海中南

收稿日期: 2016-03-21; 修订日期: 2016-05-08.

基金项目: 农业部财政专项项目(NFZX2013); 国家重点基础研究发展计划项目(2014CB441500); 农业部财政专项项目(2009-2016); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(2014TS18); 农业部南海渔业资源开发利用重点实验室开放基金(FREU2016-01).

作者简介: 张俊(1984-), 男, 助理研究员, 从事海洋渔业声学研究. E-mail: zkexin0901@126.com

通信作者: 陈作志, 副研究员. E-mail: zzchen2000@163.com

部中层鱼的资源量及其时空分布进行了初步分析,以期为进一步开展南海中层鱼研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 调查海域与时间

2013 年 3—4 月主要调查 6°N~12°N 南沙 200 m 以下海域, 2014 年 3—4 月主要调查 12°N~18°N 中沙、西沙 200 m 以下海域(图 1)。采用等间距平行断面方式沿航线进行走航调查, 南沙、中沙、西沙共设计 12 个调查断面, 即 6.5°N、7.5°N、…、17.5°N。调查船为“南锋”号, 总吨位 1537 Gt, 长 66.7 m, 宽 12.4 m, 吃水 4.8 m。

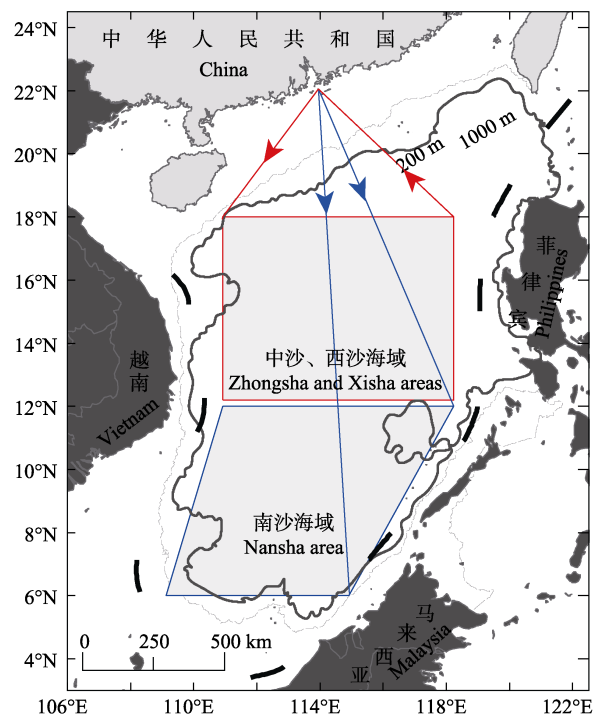


图 1 2013 年(实线)和 2014 年(虚线)南沙和中沙、西沙海域中层鱼声学调查区域

Fig. 1 Acoustic survey scopes of mesopelagic fishes in the Nansha, Zhongsha and Xisha areas in 2013 (solid line) and 2014 (dotted line)

1.2 声学和水文数据采集

声学数据由“南锋”号船载双频 Simrad EK60 分裂波束科学探鱼仪采集, 工作频率分别为 38 kHz 和 120 kHz。38 kHz 声学数据用于评估中层鱼资源量, 120 kHz 数据仅用于辅助前者进行映像分析。调查开始前, 按照国际通用的标准目标方法

在南海万山群岛锚地对探鱼仪进行校正^[23], 时间分别为 2013 年 3 月 10—11 日和 2014 年 3 月 8—9 日。校正后, Simrad EK60 38 kHz 换能器的主要参数见表 1。温度和盐度剖面数据由海鸟 SBE 911 CTD 采集。

表 1 Simrad EK 60 探鱼仪主要参数

Tab. 1 Main parameters of simrad EK 60 echosounder

参数 parameter	年份 year	
	2013 年春季 spring of 2013	2014 年春季 spring of 2014
发射功率/W transmitting power	2 000	2 000
脉冲宽度/ms pulse duration	1	1
换能器增益/dB transducer gain	24.19	24.23
纵向波束宽度/(°) longitudinal 3 dB beam width	6.97	7.08
横向波束宽度/(°) lateral 3 dB beam width	7.04	7.03
声速/(m·s ⁻¹) sound speed	1 538	1 535
波束等效立体角/dB equivalent beam angle	-20.60	-20.60

1.3 中层鱼样品采集

中层鱼样品由单船中层有翼单囊拖网采集。中层拖网网口拉直周长 176.0 m, 网衣拉直总长度 110.9 m, 上纲长度 59.5 m, 网口网目数 220, 网口网目尺寸 800 mm, 网囊网目尺寸 50 mm。基于声学映像确定拖网取样水层, 拖网深度由置于网具上纲的 Simrad PI44 网位仪监测, 拖速为 2.1~2.3 m/s。2013 年春季未采集中层鱼样品。2014 年春季于中沙、西沙海域完成 9 次有效中层拖网作业(表 2), 故本研究仅对该航次中层鱼种类组成做简单介绍。

起网后将全部中层鱼样品加海水速冻后带回陆地实验室进行分类、鉴定、测量和记录, 包括渔获物总质量、种类、尾数、体长(叉长或胴长)、体重。依据中层鱼形态特征尽可能精确鉴定到最低分类阶元。体长测定精度为 1 mm。体重测定精度为 0.01 g。

1.4 声学数据分析与资源量评估

声学数据由 Echoview 6.1 软件进行处理。首先对声学数据进行详细检查, 排除有明显干扰噪声的数据。利用回声积分法评估中层鱼资源量, 积分前扣除背景噪声^[24-25]。当水深超过 1000 m 时, 积分水层设为换能器表面之下 5 m 至 1000 m; 水深

表 2 2014 年春季中沙、西沙海域中层拖网取样站位资料
Tab. 2 Midwater sample station data in the spring of 2014 in the Zhongsha and Xisha areas

站号 station code	取样时间 sample time	日期 date	纬度/(°N) latitude	经度/(°W) longitude	拖网深度/m trawl depth	平均拖速/(m·s ⁻¹) mean towing speed
F1	21:50–23:50	3/14/2014	13.319°	110.993°	200	2.3
F2	20:15–21:15	3/16/2014	12.480°	116.420°	200	2.3
F3	21:30–22:30	3/17/2014	13.483°	115.977°	200	2.3
F4	23:25–00:25	3/17–18/2014	13.692°	111.873°	200	2.3
F5	22:30–23:30	3/19/2014	14.510°	114.941°	150	2.3
F6	12:00–13:00	3/20/2014	15.217°	113.677°	400	2.1
F7	23:00–24:00	3/20/2014	15.401°	111.921°	150	2.3
F8	19:30–20:30	3/25/2014	16.467°	113.613°	400	2.3
F9	19:30–21:30	3/27/2014	15.727°	116.513°	200	2.3

小于 1000 m 时, 积分水层设为换能器表面之下 5 m 至海底 5 m 之上的所有水体。积分阈值和基本积分航程单元(elementary distance sampling unit, EDSU)分别设为−80 dB 和 1 nmi, 采用 1 nmi×50 m 单格进行积分^[26]。根据温度和盐度垂直剖面值计算不同水层海水对声波的吸收系数^[27], 5~200 m 和 200~1000 m 水层吸收系数由以上两个水层的平均温度和盐度计算得到, 分别取 0.006 dB/m 和 0.009 dB/m。本研究仅对 400 m 以深海域的声学数据进行分析。

统计并分析白天(07:00–17:00) 200~1000 m 和夜间(19:00–05:00) 10~200 m 两个水层的鱼类的声学积分值, 即海里面积散射系数(nautical area scattering coefficient, m²/nmi², NASC)的数值和空间分布。利用独立样本 *t* 检验比较南沙和中沙、西沙水域中层鱼声学积分值是否存在差异, 并利用 Mann-Whitney 和 Kolmogorov-Smirnov *Z* 非参数检验比较南沙和中沙、西沙水域声学积分值数值构成的昼夜差异。为了解中层鱼声学积分值分布的纬度差异, 以 1°为步长, 将 2013 年春季南沙海域白天 200~1000 m 中层鱼声学积分值按纬度分成 6 组, 即 6°N–7°N、7°N–8°N、…、11°N–12°N, 通过多独立样本 Kruskal-Wallis 和 Jonckheere-Terpstra 检验及双样本 Mann-Whitney 和 Kolmogorov-Smirnov *Z* 非参数检验比较组间差异。同理, 将 2014 年春季中沙、西沙中层鱼声学积分值分成 6 组, 即 12°N–13°N、13°N–14°N、…、17°N–18°N, 并比较组间差异。统计检验显著性水平均设为 0.05。不同检验方法结

果均显著才将组间差异视为显著。

采用回声积分法评估中层鱼资源密度(ρ , g/m²)^[3, 26, 28–29], 计算公式如下:

$$\rho = \frac{s_a}{\sigma_{bs}} \cdot m \tag{1}$$

其中, $s_a = \frac{NASC}{1852^2 \cdot 4\pi}$ (2)

$$\sigma_{bs} = 10^{\left(\frac{TS}{10}\right)} \tag{3}$$

式中, s_a 是鱼类面积散射系数, 单位 m²/m²; m 是鱼类体重, 单位 g; σ_{bs} 是鱼类声学后向散射截面积, 单位 m²; TS 是鱼类平均目标强度, 可由鱼类目标强度–体长关系模型推算, 单位是 dB。

综合式(1)~式(3), 可得变形后的资源密度(g/m²)计算公式如下:

$$\rho = \frac{NASC}{1852^2 \cdot 4\pi \cdot \left(\frac{10^3}{m} \cdot 10^{\left(\frac{TS}{10}\right)}\right) \cdot 10^{-3}} \tag{4}$$

式(4)的分母中 $\frac{10^3}{m} \cdot 10^{\left(\frac{TS}{10}\right)}$ 可理解为: 当 1 尾鱼的体重为 $m(g)$ 且其声学后向散射截面积为 $10^{\left(\frac{TS}{10}\right)}(m^2)$ 时, 1 kg 重量该鱼所包含的所有尾数的声学后向散射截面积之和。因此, 若已知中层鱼积分值、目标强度和体重, 则能根据式(1)~(3)或式(4)估算其资源密度, 继而乘以调查面积可估算其资源量。

本研究所使用的中层鱼的目标强度数据均来自全球目前已经公开发表的文献, 详细信息如表 3

所示。考虑到中层鱼物理量 $\frac{10^3}{m} \cdot 10^{\left(\frac{TS}{10}\right)}$ 值的变异性, 故将表 3 中 $\frac{10^3}{m} \cdot 10^{\left(\frac{TS}{10}\right)}$ 的最大值、最小值、中位数、第一和第三、第四分位数及均值单独列于表 4, 用于估算资源量。本研究利用白天 200~1000 m 水层的 NASC 数据计算中层鱼资源量。根

表 3 中层鱼目标强度参数
Tab. 3 Target strength parameters of mesopelagic fishes at survey frequencies

鱼种/鳔 species/swimbladder	分类地位 taxonomy	频率/kHz frequency	体长/cm length	体重/g weight	平均 TS/dB avg TS	$\frac{10^3}{m} \cdot 10^{\left(\frac{TS}{10}\right)}$ /(m ² ·kg ⁻¹)	TS 模型 TS model
尾明角灯鱼/无 <i>Ceratoscopelus warmingii</i> /no	灯笼鱼科 Myctophidae	38	6.0 ^[30]	2.0	-73.8	2.09×10 ⁻⁵	49.4lgL-112.2 ^[31]
长体标灯鱼/无 <i>Symbolophorus californiensis</i> /no	灯笼鱼科 Myctophidae	38	6.0 ^[30]	2.6	-70.1	3.63×10 ⁻⁵	20lgL-85.7 ^[32]
金鼻眶灯鱼/无 <i>Diaphus chysorhyncus</i> /no	灯笼鱼科 Myctophidae	38	6.0 ^[33]	1.4	-72.6	4.07×10 ⁻⁵	30.5lgL-96.3 ^[32]
日本背灯鱼/无 <i>Notoscopelus japonicus</i> /no	灯笼鱼科 Myctophidae	38	6.0 ^[30]	1.8	-71.1	4.27×10 ⁻⁵	20lgL-86.7 ^[34]
喀什眶灯鱼/无 <i>Diaphus garmani</i> /no	灯笼鱼科 Myctophidae	38	6.0 ^[33]	1.4	-71.5	5.13×10 ⁻⁵	54lgL-113.5 ^[31]
白身臂灯鱼/无 <i>Stenobranchius leucopsaurus</i> /no	灯笼鱼科 Myctophidae	38	6.0 ^[35]	0.8	-72.2	7.76×10 ⁻⁵	32.1ln(lgL) -64.1 ^[32]
喀什眶灯鱼/无 <i>Diaphus garmani</i> /no	灯笼鱼科 Myctophidae	38	6.0 ^[30]	2.2	-67.3	8.32×10 ⁻⁵	52.7lgL-108.3 ^[31]
光舌鲑/有 <i>Leuroglossus stilbius</i> /yes	深海鲑科 Bathylagidae	38	8.4 ^[36]	5.3	-56.0	4.68×10 ⁻⁴	仅 TS 值 ^[36]
冰底灯鱼/有 <i>Benthosema glaciale</i> /yes	灯笼鱼科 Myctophidae	38	6.0 ^[37]	3.0	-58.0	5.25×10 ⁻⁴	仅 TS 值 ^[37]
灯笼鱼属/不定 <i>Myctophid</i> /uncertain	灯笼鱼科 Myctophidae	38	-	3.0	-56.2	7.94×10 ⁻⁴	仅 TS 值 ^[38]
加州眶灯鱼/有 <i>Diaphus theta</i> /yes	灯笼鱼科 Myctophidae	38	7.5 ^[36]	7.4	-52.0	8.51×10 ⁻⁴	仅 TS 值 ^[36]
尾明角灯鱼/有 <i>Ceratoscopeluswarmingii</i> /yes	灯笼鱼科 Myctophidae	38	6.0 ^[39]	2.0	-57.6	8.71×10 ⁻⁴	26.3lgL-78.1 ^[31]
加州眶灯鱼/有 <i>Diaphus theta</i> /yes	灯笼鱼科 Myctophidae	70	5.6 ^[40]	2.6	-55.7	1.05×10 ⁻³	20lgL-70.6 ^[41]
加州眶灯鱼/有 <i>Diaphus theta</i> /yes	灯笼鱼科 Myctophidae	70	6.0 ^[40]	3.3	-54.3	1.12×10 ⁻³	11.8lgL-63.5 ^[34]
灯笼鱼属/有 <i>Myctophid</i> /yes	灯笼鱼科 Myctophidae	38	9.0	-	-50.0	1.12×10 ⁻³	仅模型值 ^[42]
喀什眶灯鱼/有 <i>Diaphus garmani</i> /yes	灯笼鱼科 Myctophidae	38	6.0 ^[40]	1.4	-56.7	1.58×10 ⁻³	34.5lgL-83.5 ^[31]
小型中层鱼类/有 small-size pelagic fish SP ₁ /yes	-	38	-	3.0	-53.0	1.66×10 ⁻³	仅 TS 值 ^[43]
小型中层鱼类/有 small-size pelagic fish SP ₂ /yes	-	38	-	3-10	-49.0	1.95×10 ⁻³	仅 TS 值 ^[43]
粗鳞灯笼鱼/有 <i>Myctophum asperum</i> /yes	灯笼鱼科 Myctophidae	38	6.0	2.2	-53.3	2.09×10 ⁻³	45.4lgL-88.6 ^[31]
小型中层鱼类/有 small-size pelagic fish SP ₃ /yes	-	38	-	3.0	-52.0	2.09×10 ⁻³	仅 TS 值 ^[43]

注: 体长和声学模型右上标数字分别表示体长和体重及 TS 和体长关系的参考文献序号。 $\frac{10^3}{m} \cdot 10^{\left(\frac{TS}{10}\right)}$ /(m²·kg⁻¹)表示 1 尾鱼的体重为 m(g), 且其声学后向散射面积为 10 ^{$\left(\frac{TS}{10}\right)$} (m²)时, 1 kg 重量该鱼所包含的所有尾数的声学后向散射面积之和。L 表示体长(cm)。
Note: The superscript numbers with square brackets in the length and acoustic model column respectively indicate the sources of relationships between body length and body weight, between TS and body length. $\frac{10^3}{m} \cdot 10^{\left(\frac{TS}{10}\right)}$ denotes the total backscattering cross-section of 1 kg fish with body weight of m(g) and backscattering cross-section of 10 ^{$\left(\frac{TS}{10}\right)$} m². L denotes body length (cm).

表 4 来自表 2 的中层鱼 $\frac{10^3}{m} \cdot 10^{\left(\frac{TS}{10}\right)}$ 值的统计量Tab. 4 Statistics of $\frac{10^3}{m} \cdot 10^{\left(\frac{TS}{10}\right)}$ value of mesopelagic fishes in the tab. 2

统计量 statistics	均值 average	标准差 SD	最大值 max	最小值 min	百分位数/% percentage		
					75	50	25
$\frac{10^3}{m} \cdot 10^{\left(\frac{TS}{10}\right)} (\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1})$	8.26×10^{-4}	7.39×10^{-4}	2.09×10^{-3}	2.09×10^{-5}	1.47×10^{-3}	8.23×10^{-4}	5.79×10^{-5}

据 Marine explorer 海图软件计算得到南海中南部 200 m 以深海域面积约为 $120 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

2 结果与分析

2.1 种类组成

2014 年春季中沙、西沙海域 9 次中层拖网作业共捕获和鉴定鱼类和头足类 79 种, 隶属于 3 纲 16 目 37 科 60 属(表 5), 共 654 尾 8697.25 枚, 其中硬骨鱼纲(Osteichthyes)的种类最多, 达 65 种; 其次为鞘亚纲(Coleoidea), 达 13 种; 软骨鱼纲(Chondrichthyes) 1 种。硬骨鱼纲中巨口鱼科(Stomiidae)、灯笼鱼科(Myctophidae)和钻光鱼科(Gonostomidae)的种类最多, 分别有 20 种、13 种和 6 种(表 5), 其中灯笼鱼科鱼类标本 61 尾, 隶属于 8 属。图 2 是巨口鱼科、钻光鱼科和灯笼鱼科鱼类的体长组成结构, 其体长组成存在显著差异, 前者均值依次显著大于后者(非参数检验, $P < 0.01$)。

数量所占比例超过 1% 的种类分别是长钻光鱼(*Gonostoma elongatum*, 28.3%)、蝰鱼(*Chauliodus sloani*, 18.0%)、多钩钩腕乌贼(*Abralia multihamata*, 5.0%)、奇棘鱼(*Idiacanthus fasciola*, 4.9%)、刀光鱼(*Polymetme illustris*, 4.6%)、怀氏方头鲳(*Cubiceps whiteleggii*, 3.5%)、尾明角灯鱼(*Ceratoscopelus warmingii*, 2.9%)、平头角灯鱼(*Ceratoscopelus townsendi*, 2.6%)、线鳗(*Nemichthys scolopaceus*, 1.8%)、飞乌贼(*Ornithoteuthis volatilis*, 1.7%)、金鼻眶灯鱼(*Diaphus chrysorhynchus*, 1.7%)、东方真巨口鱼(*Eustomias orientalis*, 1.4%)、鸢乌贼(*Sthenoteuthis oualaniensis*, 1.2%)、掠食巨口鱼(*Borostomias elucens*, 1.2%)和棍状真巨口鱼(*Eustomias dendriticus*, 1.2%), 共 15 种, 合计占 80.1%。

质量所占比例超过 1% 的种类分别是蝰鱼(12.2%)、直线蛇鲭(*Nesiarchus nasutus*, 11.8%)、

鸢乌贼(11.0%)、飞乌贼(8.9%)、怀氏方头鲳(7.9%)、长钻光鱼(7.6%)、蛸乌贼(*Octopoteuthis sicula*, 6.6%)、掠食巨口鱼(5.4%)、尾明角灯鱼(4.5%)、日本乌鲂(*Brama japonica*, 3.9%)、平头角灯鱼(1.6%)、瓦氏黑巨口鱼(*Melanostomias valdiviae*, 1.1%)和黑须黑巨口鱼(*Melanostomias tentaculatus*, 1.0%), 共 13 种, 合计占 83.6%。

出现频率最高的前 10 个种类分别是多钩钩腕乌贼(9 次)、蝰鱼(9 次)、长钻光鱼(8 次)、金鼻眶灯鱼(7 次)、线鳗(7 次)、飞乌贼(7 次)、尾明角灯鱼(5 次)、平头角灯鱼(4 次)、鸢乌贼(4 次)、奇棘鱼(4 次)、格氏光巨口鱼(*Photostomias guernei*, 4 次)、刀光鱼(4 次)、斑乌贼(*Onykia caribbaea*, 4 次)。

2.2 声学积分值的空间分布和昼夜组成

从中层鱼积分值的空间分布看(图 3), 南沙海域明显低于中沙、西沙及邻近海域(ANOVA 检验, $P < 0.01$), 前者除渚碧礁(10.913°N, 114.051°E)和美济礁(9.908°N, 115.535°E)附近海域有两处显著高密度区, 其余高值区均分布于 14°N 以北和 115°E 以西海域。南沙与中沙、西沙海域中层鱼积分值分布亦有显著差异(非参数检验, $P < 0.01$)。

图 4 是春季南沙和中、西沙海域夜间 10~200 m 鱼类积分值分布图, 能反映夜间向上迁移的中层鱼相对资源量的高低。尽管中沙、西沙夜间 10~200 m 鱼类积分值有两处明显高值区(14.711°N, 113.401°E; 13.500°N, 115.467°E)(图 4), 但其总体密度明显低于南沙海域(ANOVA 检验, $P < 0.01$), 两者分布亦有显著差异(非参数检验, $P < 0.01$)。中沙、西沙海域夜间 10~200 m 与白天 200~1000 m 的平均积分值的比值是 0.69, 南沙海域该比值则是 1.00(图 5)。因此, 推测南沙海域中层鱼夜间向上迁移的平均强度高于中沙、西沙海域。

表 5 2014 年春季中沙、西沙中层拖网采集鱼类物种组成
Tab. 5 Species composition of fish captured in the Zhongsha and Xisha areas in the spring of 2014

种类 species	科 family	属 genus	数量 number	长度范围/mm length range	体重范围/g weight range	频数 frequency
巨口鱼 <i>Stomias affinis</i>	巨口鱼科 Stomiidae	织巨口鱼属 <i>Stomias</i>	2	97–191	4.80–23.25	1
格氏光巨口鱼 <i>Photostomias guernei</i>	巨口鱼科 Stomiidae	光巨口鱼属 <i>Photostomias</i>	4	110–158	4.20–16.00	4
黑鳍袋巨口鱼 <i>Photonectes margarita</i>	巨口鱼科 Stomiidae	袋巨口鱼属 <i>Photonectes</i>	1	104	6.30	1
明鳍袋巨口鱼 <i>Photonectes albipennis</i>	巨口鱼科 Stomiidae	袋巨口鱼属 <i>Photonectes</i>	1	244	63.87	1
厚巨口鱼 <i>Pachystomias microdon</i>	巨口鱼科 Stomiidae	厚巨口鱼属 <i>Pachystomias</i>	1	117	13.00	1
脂巨口鱼属 <i>Opostomias</i>	巨口鱼科 Stomiidae	脂巨口鱼属 <i>Opostomias</i>	2	120–163	14.04–21.48	2
少纹黑巨口鱼 <i>Melanostomisa pauciradius</i>	巨口鱼科 Stomiidae	黑巨口鱼属 <i>Melanostomias</i>	2	78–210	0.85–28.00	2
瓦氏黑巨口鱼 <i>Melanostomias valdiviae</i>	巨口鱼科 Stomiidae	黑巨口鱼属 <i>Melanostomias</i>	5	140–214	9.78–36.00	3
黑须黑巨口鱼 <i>Melanostomias tentaculatus</i>	巨口鱼科 Stomiidae	黑巨口鱼属 <i>Melanostomias</i>	3	172–172	23.93–35.82	1
太平洋长鳍巨口鱼 <i>Macrostomias pacificus</i>	巨口鱼科 Stomiidae	大巨口鱼属 <i>Macrostomias</i>	1	69	8.99	1
奇棘鱼 <i>Idiacanthus fasciola</i>	巨口鱼科 Stomiidae	奇棘鱼属 <i>Idiacanthus</i>	32	104–252	0.63–3.80	4
蛇口异星杉鱼 <i>Heterophotus ophistoma</i>	巨口鱼科 Stomiidae	异星杉鱼属 <i>Heterophotus</i>	3	245–252	70.60–148.00	3
波氏鞭须巨口鱼 <i>Flagellostomias boureei</i>	巨口鱼科 Stomiidae	鞭须巨口鱼属 <i>Flagellostomias</i>	1	281	46.74	1
东方真巨口鱼 <i>Eustomias orientalis</i>	巨口鱼科 Stomiidae	真巨口鱼属 <i>Eustomias</i>	9	118–147	1.61–6.20	3
棍状真巨口鱼 <i>Eustomias dendriticus</i>	巨口鱼科 Stomiidae	真巨口鱼属 <i>Eustomias</i>	8	89–144	0.46–5.60	3
丝发深巨口鱼 <i>Bathophilus nigerrimus</i>	巨口鱼科 Stomiidae	深巨口鱼属 <i>Bathophilus</i>	1	111	13.49	1
丝球星杉鱼 <i>Astronesthes splendidus</i>	巨口鱼科 Stomiidae	星杉鱼属 <i>Astronesthes</i>	5	48–116	0.82–14.61	2
蓝黑星杉鱼 <i>Astronesthes cyaneus</i>	巨口鱼科 Stomiidae	星杉鱼属 <i>Astronesthes</i>	1	150	15.52	1
史氏真巨口鱼 <i>Eustomias schmidtii</i>	巨口鱼科 Stomiidae	真巨口鱼属 <i>Eustomias</i>	2	166–178	7.20–7.70	1
掠食巨口鱼 <i>Borostomias elucens</i>	巨口鱼科 Stomiidae	掠食巨口鱼属 <i>Borostomias</i>	8	172–234	46.70–101.74	3
短颌灯笼鱼 <i>Myctophum brachygnathum</i>	灯笼鱼科 Myctophidae	灯笼鱼属 <i>Myctophum</i>	1	91	9.40	1
大鳍珍灯鱼 <i>Lampanyctus acropterus</i>	灯笼鱼科 Myctophidae	珍灯鱼属 <i>Lampanyctus</i>	2	62–68	2.98–3.99	1
细斑珍灯鱼 <i>Lampanyctus alatus</i>	灯笼鱼科 Myctophidae	珍灯鱼属 <i>Lampanyctus</i>	1	42	0.57	1
暗柄炬灯鱼 <i>Lampadena speculigera</i>	灯笼鱼科 Myctophidae	炬灯鱼属 <i>Lampadena</i>	3	55–63	1.67–2.64	2
近壮灯鱼 <i>Hygophum proximum</i>	灯笼鱼科 Myctophidae	壮灯鱼属 <i>Hygophum</i>	2	74–78	5.40–6.20	1
翘光眶灯鱼 <i>Diaphus regain</i>	灯笼鱼科 Myctophidae	眶灯鱼属 <i>Diaphus</i>	1	78	5.95	1
吕氏眶灯鱼 <i>Diaphus luetkeni</i>	灯笼鱼科 Myctophidae	眶灯鱼属 <i>Diaphus</i>	1	49	1.37	1
符氏眶灯鱼 <i>Diaphus fragilis</i>	灯笼鱼科 Myctophidae	眶灯鱼属 <i>Diaphus</i>	1	47	1.32	1
金鼻眶灯鱼 <i>Diaphus chrysorhynchus</i>	灯笼鱼科 Myctophidae	眶灯鱼属 <i>Diaphus</i>	11	67–109	1.63–16.89	7
尾明角灯鱼 <i>Ceratoscopelus warmingii</i>	灯笼鱼科 Myctophidae	角灯鱼属 <i>Ceratoscopelus</i>	19	53–110	1.90–11.47	5
平头角灯鱼 <i>Ceratoscopelus townsendi</i>	灯笼鱼科 Myctophidae	角灯鱼属 <i>Ceratoscopelus</i>	17	73–96	3.00–12.53	4
眶暗虹灯鱼 <i>Bolinichthys pyrosobolus</i>	灯笼鱼科 Myctophidae	虹灯鱼属 <i>Bolinichthys</i>	1	67	3.30	1

(待续 to be continued)

(续表 5 Tab. 5 continued)

种类 species	科 family	属 genus	数量 number	长度范围/mm length range	体重范围/g weight range	频数 frequency
发光灯鱼 <i>Lampadena luminosa</i>	灯笼鱼科 Myctophidae	灯鱼属 <i>Lampadena</i>	1	104	9.20	1
纤钻光鱼 <i>Gonostoma gracile</i>	钻光鱼科 Gonostomidae	钻光鱼属 <i>Gonostoma</i>	4	67–82	0.93–1.97	1
刀光鱼 <i>Polymetme illustris</i>	钻光鱼科 Gonostomidae	刀光鱼属 <i>Polymetme</i>	30	23–60	0.30–1.51	4
钻光鱼属 <i>Gonostoma</i>	钻光鱼科 Gonostomidae	钻光鱼属 <i>Gonostoma</i>	1	104	1.99	1
长钻光鱼 <i>Gonostoma elongatum</i>	钻光鱼科 Gonostomidae	钻光鱼属 <i>Gonostoma</i>	185	76–166	0.95–14.49	8
条带多光鱼 <i>Diplophos taenia</i>	钻光鱼科 Gonostomidae	双光鱼属 <i>Diplophos</i>	1	147	6.57	1
白圆帆鱼 <i>Cyclothone alba</i>	钻光鱼科 Gonostomidae	圆帆鱼属 <i>Cyclothone</i>	2	92–93	4.55–4.71	1
翼乌贼 <i>Pterygioteuthis giardi</i>	武装乌贼科 noploteuthidae	翼鱿属 <i>Pterygioteuthis</i>	1	52	5.85	1
多钩钩腕乌贼 <i>Abralia multihamata</i>	武装乌贼科 Enoplateuthidae	钩腕乌贼属 <i>Abratia</i>	33	11–190	0.10–213.0	9
安达曼钩腕乌贼 <i>Abralia andamanica</i>	武装乌贼科 Enoplateuthidae	钩腕乌贼属 <i>Abratia</i>	2	35–36	3.78–5.09	1
长银斧鱼 <i>Argyropelecus affinis</i>	褶胸鱼科 Sternoptychidae	银斧鱼属 <i>Argyropelecus</i>	2	46–50	1.76–2.36	1
高银斧鱼 <i>Argyropelecus sladeni</i>	褶胸鱼科 Sternoptychidae	银斧鱼属 <i>Argyropelecus</i>	5	36–46	1.36–2.48	1
龙氏桑椹乌贼	爪乌贼科 Onychoteuthidae	桑椹乌贼属 <i>Moroteuthis</i>	3	120–140	42.00–54.0	1
<i>Moroteuthis lonnbergii</i>						
斑乌贼 <i>Onykia caribbaea</i>	爪乌贼科 Onychoteuthidae	斑乌贼属 <i>Onykia</i>	4	23–37	6.83–20.68	4
鸢乌贼 <i>Sthenoteuthis oualaniensis</i>	柔鱼科 Ommastrephidae	鸢乌贼属 <i>Symtecteuthis</i>	8	81–220	18.02–493.6	4
飞乌贼 <i>Ornithoteuthis volatilis</i>	柔鱼科 Ommastrephidae	飞乌贼属 <i>Ornithoteuthis</i>	11	52–224	7.13–201.4	7
蛸乌贼 <i>Octopoteuthis sicula</i>	蛸乌贼科 Octopoteuthidae	蛸乌贼属 <i>Octopoteuthis</i>	2	166–177	242.0–332.0	2
巨翼蛸乌贼 <i>Octopoteuthis megaptera</i>	蛸乌贼科 Octopoteuthidae	蛸乌贼属 <i>Octopoteuthis</i>	1	104	56.00	1
珠目鱼 <i>Scopelarchus guentheri</i>	珠目鱼科 Scopelarchidae	珠目鱼属 <i>Scopelarchus</i>	1	77	2.71	1
栉鳍乌贼 <i>Ctenopteryx siculus</i>	栉鳍乌贼科 Ctenopterygidae	栉鳍乌贼属 <i>Ctenopteryx</i>	1	40	5.97	1
刺鲷 <i>Psenopsis anomala</i>	长鲷科 Centrolophidae	刺鲷属 <i>Psenopsis</i>	5	29–53	0.78–4.02	2
怀氏方头鲷 <i>Cubiceps whiteleggii</i>	圆鲷科 Nomeidae	方头鲷属 <i>Cubiceps</i>	23	110–123	22.67–37.67	1
鳞烟管鱼 <i>Fistularia petimba</i>	烟管鱼科 Fistulariidae	烟管鱼属 <i>Fistularia</i>	5	47–75	0.15–0.49	2
纺锤乌贼 <i>Liocranchia reinhardti</i>	小头乌贼科 Cranchiidae	纺锤乌贼属 <i>Liocranchia</i>	1	67	2.70	1
黑渊鲑 <i>Melanolagus bericoides</i>	小口鲑科 Microstomatidae	黑渊鲑属 <i>Melanolagus</i>	1	15.4	18.22	1
花乌贼属 <i>Metasepia</i>	乌贼科 Sepiidae	花乌贼属 <i>Metasepia</i>	1	34	2.70	1
日本乌鲂 <i>Brama japonica</i>	乌鲂科 Bramidae	乌鲂属 <i>Brama</i>	2	130–212	54.90–285.0	1
间光鱼 <i>Maurolucus muelleri</i>	水珍鱼科 Argentinidae	间光鱼属 <i>Maurolucus</i>	1	29	0.63	1
直线蛇鲭 <i>Nesiarchus nasutus</i>	蛇鲭科 Gempylidae	直线蛇鲭属 <i>Nesiarchus</i>	1	820	1025.9	1
柔骨鱼 <i>Malacosteus niger</i>	柔骨鱼科 Malacosteidae	柔骨鱼属 <i>Malacosteus</i>	3	92–142	7.80–9.40	2
线鳗 <i>Nemichthys scolopaceus</i>	鳗鲡科 Nemichthyidae	鳗鲡属 <i>Nemichthys</i>	12	56–172	0.65–29.89	7
裸蜥鱼 <i>Lestrolepis japonica</i>	裸蜥鱼科 Paralepididae	裸蜥鱼属 <i>Lestrolepis</i>	4	80–92	0.72–1.60	2
柳叶鳗 <i>Leptocephalus</i>			3	52–200	0.17–33.22	2
厚头犀孔鲷 <i>Poromitra crassiceps</i>	孔头鲷科 Melamphidae	犀孔鲷属 <i>Poromitra</i>	1	68	5.48	1
黑巨口鱼属 <i>Melanostomias</i>	黑巨口鱼科 Melanostomiidae	黑巨口鱼属 <i>Melanostomias</i>	2	155–175	10.0–18.438	1
日本犀鲛 <i>Bregmaceros japonicus</i>	海鲛科 Bregmacerotidae	犀鲛属 <i>Bregmaceros</i>	4	68–80	1.64–2.84	2
小海鲛 <i>Zemion hololepis</i>	海鲛科 Macrurycyttidae	小海鲛属 <i>Zenion</i>	1	24	4.40	1
鲱鱼 <i>Chauliodus sloani</i>	鲱鱼科 Chauliodonitae	鲱鱼属 <i>Chauliodus</i>	118	102–227	0.15–25.0	9
农苏离光鱼 <i>Woodsia nonsuchae</i>	光器鱼科 Phosichthyidae	离光鱼属 <i>Woodsia</i>	2	92108	7.52–11.8	1
耳乌贼属 <i>Sepiola</i>	耳乌贼科 Sepiolida		1	69	50.29	1
谷蜥鱼 <i>Coccorella atrata</i>	刀齿蜥鱼科 Evermannellidae	谷蜥鱼属 <i>Coccorella</i>	2	58–86	2.10–8.23	2
黄鳍马面鲀 <i>Navodon xanthopterus</i>	单角鲀科 Monacanthidae	马面鲀属 <i>Navodon</i>	1	36	1.85	1
高鳍带鱼 <i>Trichiurus lepturus</i>	带鱼科 Trichiuridae	带鱼属 <i>Trichiurus</i>	1	105	26.01	1
叉尾带鱼 <i>Benthodesmus tenuis</i>	带鱼科 Trichiuridae	叉尾带鱼属 <i>Benthodesmns</i>	5	15–167	0.45–19.96	2
冠丝鳍鱼 <i>Zu cristatus</i>	粗鳍鱼科 Trachipteridae	丝鳍鱼属 <i>Zu</i>	1	120	4.30	1
叉齿鱼 <i>Chiasmodon harteli</i>	叉齿鱼科 Chiasmodontidae	叉齿龙属 <i>Chiasmodon</i>	2	93–97	7.36–9.62	1
小抹香鲸 <i>Squaliolus laticaudus</i>	角鲨科 Squalidae	拟扁鲨属 <i>Squaliolus</i>	1	112	13.79	1

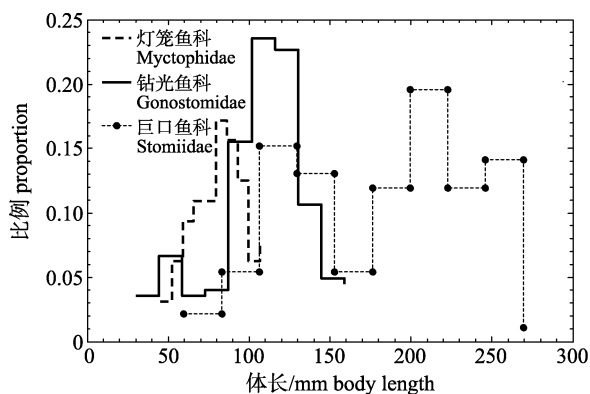


图 2 2014 年春季中沙、西沙海域巨口鱼科、灯笼鱼科和钻光鱼科鱼类的体长构成

Fig. 2 Fish body length distribution of Stomiidae, Myctophidae and Gonostomidae in the Zhongsha and Xisha areas in the spring of 2014

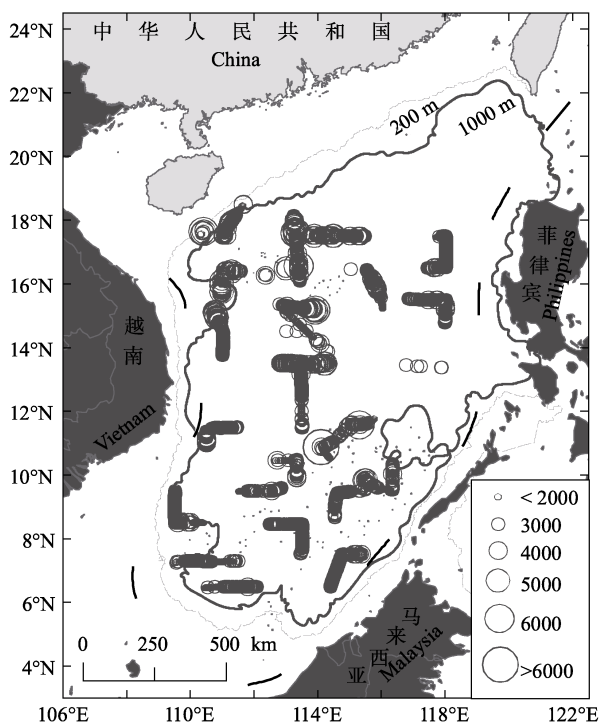


图 3 春季南沙(2013 年)和中沙、西沙(2014 年)及其附近海域白天 200~1000 m 鱼类积分值(NASC, m^2/nmi^2)分布

Fig. 3 NASC distribution of mesopelagic fishes living in 200–1000 m depth range during the day in the Nansha (2013), Zhongsha and Xisha (2014) areas in the spring

春季南沙海域夜间 10~200 m 和白天 200~1000 m 积分值构成没有显著差异(Mann-Whitney 检验, $P>0.05$; Kolmogorov-Smirnov 检验, $P<0.01$; Moses 检验, $P>0.05$; Wald-Wolfowitz 检验, $P>0.05$), 检验结果与昼夜积分值构成分布一致(图 5a); 春季中沙、西沙海域夜间 10~200 m 和白天 200~1000 m

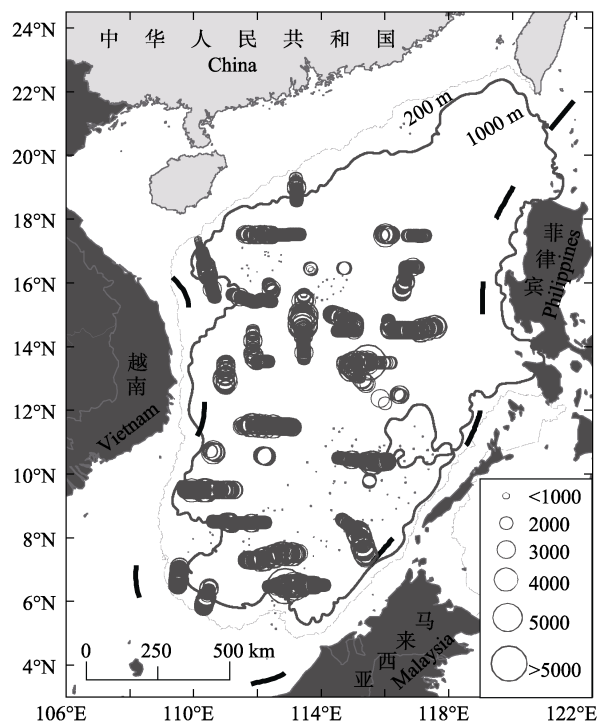


图 4 春季南沙(2013 年)和中沙、西沙(2014 年)及其附近海域夜间 10~200 m 鱼类积分值(NASC, m^2/nmi^2)分布

Fig. 4 NASC distribution of fishes living in 10–200 m depth range during night in the Nansha (2013), Zhongsha and Xisha (2014) areas in the spring

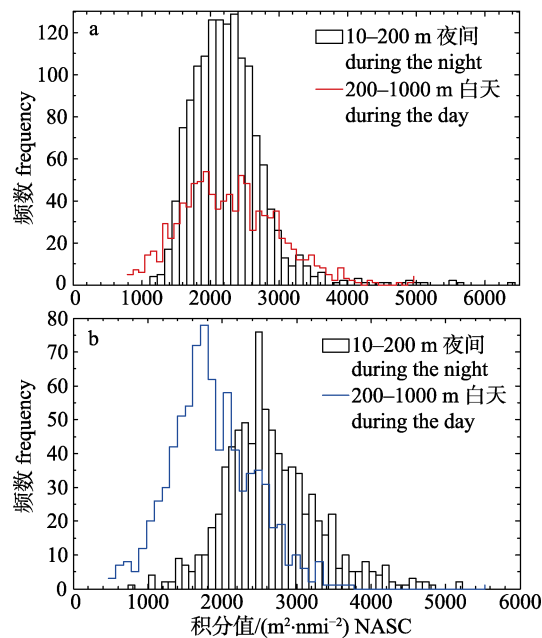


图 5 2013 年春季南沙(a)和 2014 年春季中沙、西沙(b)海域夜间 10~200 m 和白天 200~1000 m 鱼类积分值构成分布
Fig. 5 NASC values composition of fishes living in 10–200 m depth range during the night and 200–1000 m depth range during the day in the Nansha (2013, a), Zhongsha and Xisha (2014, b) areas in the spring

积分值构成有极显著差异(Mann-Whitney 检验, $P<0.01$; Kolmogorov-Smirnov 检验, $P<0.01$; Moses 检验, $P<0.01$; Wald-Wolfowitz 检验, $P<0.01$), 检验结果与昼夜积分值构成分布一致(图 5b)。研究暗示两个海域的中层鱼的迁移习性存在较大差异, 反映出两者不同的种类组成, 如南沙海域强迁移种类的中层鱼(夜间向上迁移至 200 m 以上)的比例比中沙、西沙更高, 而后者非迁移或弱迁移种类的中层鱼的比例高于前者。图 6 是南沙和中沙海域中层鱼昼夜垂直迁移声学映像。

2.3 声学积分值的纬度差异

春季南沙和中沙、西沙海域白天 200~1000 m 中层各纬度组鱼积分值构成见图 7。春季中沙、西沙海域白天 200~1000 m 中层鱼积分值纬度组间波动远大于南沙海域。南沙海域 6°N~7°N 组中位数最大, 11°N~12°N 组最小, 两者相差 $462 \text{ m}^2/\text{nmi}^2$; 中沙、西沙海域 13~14°N 组中位数最大, 12°N~13°N 组最小, 两者相差高达 $1414 \text{ m}^2/\text{nmi}^2$ 。南沙海域中层鱼高值区位于 9°N~10°N 和 11°N~12°N, 中沙、西沙海域中层鱼高值区位于 14°N~15°N、16°N~17°N 和 17°N~18°N。

多独立样本非参数检验显示, 春季南沙海域

白天 200~1000 m 不同纬度组间中层鱼积分值构成分布有显著差异(Kruskal-Wallis 检验, $P<0.01$; Jonckheere-Terpstra 检验, $P<0.01$), 中沙、西沙海域积分值构成分布亦有显著差异(Kruskal-Wallis 检验, $P<0.01$; Jonckheere-Terpstra 检验, $P<0.01$)。双样本非参数检验结果更详细准确地表明各纬度组间积分值分布的差异程度(表 6 和表 7)。

2.4 资源量

2013 年春季南沙海域和 2014 年春季中沙、西沙海域调查分别筛选 1422 和 810 个积分单元, 积分值范围分别是 $1124\sim5688 \text{ m}^2/\text{nmi}^2$ 和 $739\sim5227 \text{ m}^2/\text{nmi}^2$, 均值($\pm$ 标准差)分别是 $(2244\pm527) \text{ m}^2/\text{nmi}^2$ 和 $(2638\pm640) \text{ m}^2/\text{nmi}^2$; 合计 2232 个积分单元, 平均积分值是 $(2387\pm601) \text{ m}^2/\text{nmi}^2$ 。相应平均资源密度和资源量见表 8。若南海中南部中层鱼声反射强度参数($\frac{10^3}{m} \cdot 10^{\left(\frac{TS}{10}\right)}$)取所列值的 25%和 75%之间(表 3 和表 4), 则推算该海域中层鱼资源量为 $(5900\pm1500)\sim(130000\pm32600)$ 万 t; 若南海中南部中层鱼声反射强度参数取所列值的均值和中值之间, 则推算该海域中层鱼资源量介于 $(8200\pm2100)\sim(18300\pm4600)$ 万 t。

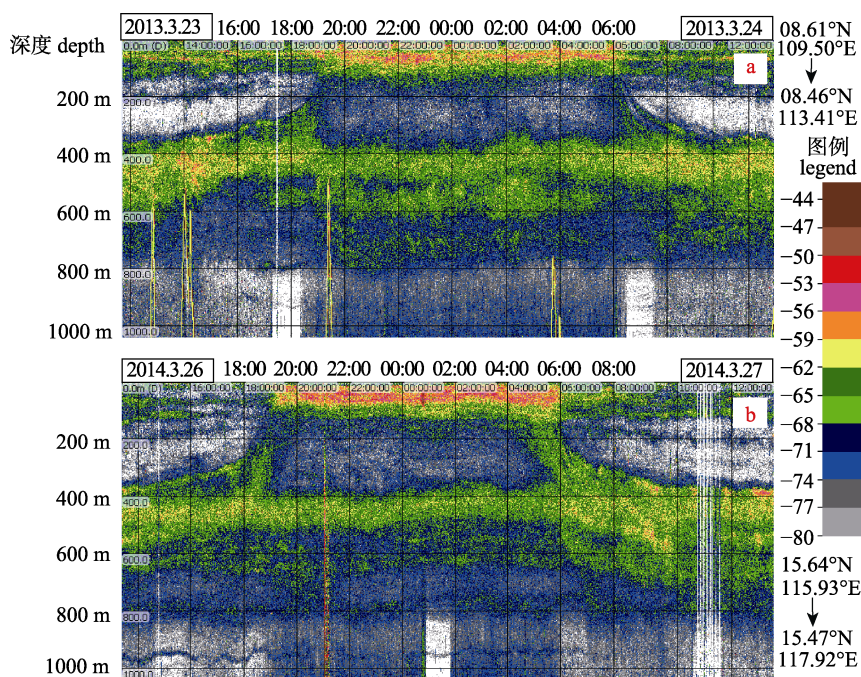


图 6 南沙(a)和中沙(b)海域中层鱼昼夜垂直迁移声学映像

Fig. 6 Echograms showing representative diel vertical migration of mesopelagic fishes in the Nansha (a) and Zhongsha (b) areas

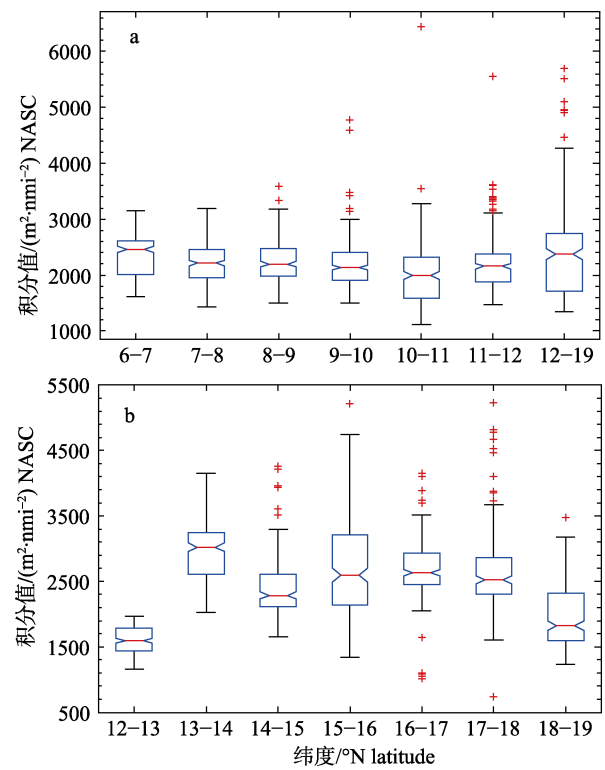


图 7 2013 年春季南沙(a)和 2014 年春季中沙、西沙(b)海域白天 200~1000 m 中层鱼积分值各纬度组成箱线图

Fig. 7 The box-line plot of NASC values composition of fishes living in 200–1000 m depth range during the day for the different latitude scope in the Nansha (2013, a), Zhongsha and Xisha (2014, b) areas in the spring

3 讨论

3.1 种类组成

从 2014 年春季中沙、西沙海域中层拖网的渔获物组成看, 中层鱼群落结构较为复杂。但从数量所占比例看, 长钻光鱼和鲱鱼是绝对优势种; 从质量所占比例看, 有 8 种渔获物占比超过 5%, 且占比高的渔获物的体形均相对较大, 可能因为

大个体种类更容易被捕获, 其中鲱鱼占比最高, 但也仅为 12.2%, 相比数量组成而言, 质量组成的优势种类并不明显。本研究中巨口鱼科、钻光鱼科和灯笼鱼科的鱼类共 39 种, 占种类总数的 49.4%, 优势明显。现存资料表明, 灯笼鱼科鱼类是构成中层鱼的优势类群^[44–46], 而本研究中灯笼鱼科样品所占数量和质量百分比并不高, 如钻光鱼科、鲱鱼科、巨口鱼科的鱼类所占数量百分比分别是 34.1%、18.0%、14.1%, 而灯笼鱼科仅占 9.3%。比较体长结构发现, 灯笼鱼类的平均体长明显小于钻光鱼科、鲱鱼科和巨口鱼科鱼类, 表明体长越大的鱼类取样率更高, 由此推测所使用的中层拖网网目尺寸太大可能是导致灯笼鱼科鱼类取样率偏低的主要原因^[20]。2014 年秋、冬季和 2015 年夏、冬季, 采用网囊网目尺寸为 10 mm 的新的中层拖网, 分别对中、西沙和南海北部外海海域中层鱼进行调查, 结果显示, 无论是数量还是质量, 灯笼鱼科鱼类均是绝对的优势种类。

陈真然^[47]根据 1975—1978 年通过大型浮游生物网拖曳以及夜间灯光诱集捕捞方法, 于南海中部海域(12°00'N~17°30'N, 110°E~118°E)进行了 4 个调查航次(1975 年春、1976 年春、1977 年秋和 1978 年夏)40 个调查站位的调查, 共采集 252 尾灯笼鱼科幼鱼和成鱼标本, 隶属于 11 属 25 种, 其中 1975 年和 1976 年春季两个航次 19 个站位(15°00'N~17°30'N, 110°E~116°E)共采集 175 尾标本, 隶属于 9 属 16 种, 与本研究研究结果存在较大差异。采样网具的选择性、时间和频次等方面的差别, 都可能引起不同调查结果出现差异。

表 6 2013 年春季南沙海域中层鱼积分值纬度差异双样本 Mann-Whitney 和 Kolmogorov-Smirnov Z 检验

Tab. 6 Two independent sample Mann-Whitney and Kolmogorov-Smirnov Z test statistics of NASC for different latitude scope in the Nansha area in the spring of 2013

纬度 latitude	纬度 latitude					
	6°N–7°N	7°N–8°N	8°N–9°N	9°N–10°N	10°N–11°N	11°N–12°N
6°N–7°N		<0.01 ^a	<0.01 ^a	<0.01 ^a	<0.01 ^a	<0.01 ^a
7°N–8°N	<0.01 ^b		0.849 ^a	0.058 ^a	<0.01 ^a	0.132 ^a
8°N–9°N	<0.01 ^b	0.980 ^b		0.123 ^a	<0.01 ^a	0.180 ^a
9°N–10°N	<0.01 ^b	0.086 ^b	0.316 ^b		<0.01 ^a	0.966 ^a
10°N–11°N	<0.01 ^b	<0.01 ^b	<0.01 ^b	<0.01 ^b		<0.01 ^a
11°N–12°N	<0.01 ^b	<0.05 ^b	0.138 ^b	0.406 ^b	<0.01 ^b	

注: 表中数字表示 P 值。上标 a 和 b 分别表示 Mann-Whitney 和 Kolmogorov-Smirnov Z 检验。
Note: Data in the table mean the P values. The superscript a and b denote Mann-Whitney and Kolmogorov-Smirnov Z test, respectively.

表 7 2014 年春季中沙、西沙海域中层鱼积分值纬度差异双样本 Mann-Whitney 和 Kolmogorov-Smirnov Z 检验
Tab. 7 Two independent sample Mann-Whitney and Kolmogorov-Smirnov Z test statistics of NASC for different latitude scope in the Zhongsha and Xisha areas in the spring of 2014

纬度 latitude	纬度 latitude					
	12°N–13°N	13°N–14°N	14°N–15°N	15°N–16°N	16°N–17°N	17°N–18°N
12°N–13°N		<0.01 ^a	<0.01 ^a	<0.01 ^a	<0.01 ^a	<0.01 ^a
13°N–14°N	<0.01 ^b		<0.01 ^a	<0.01 ^a	<0.01 ^a	<0.01 ^a
14°N–15°N	<0.01 ^b	<0.01 ^b		0.01 ^a	<0.01 ^a	<0.01 ^a
15°N–16°N	<0.01 ^b	<0.01 ^b	<0.01 ^b		0.207 ^a	0.972 ^a
16°N–17°N	<0.01 ^b	<0.01 ^b	<0.01 ^b	<0.01 ^b		0.053 ^a
17°N–18°N	<0.01 ^b	<0.01 ^b	<0.01 ^b	<0.05 ^b	0.066 ^b	

注：表中数字表示 P 值。上标 a 和 b 分别表示 Mann-Whitney 和 Kolmogorov-Smirnov Z 检验。
Note: Data in the table mean the P values. The superscript a and b denote Mann-Whitney and Kolmogorov-Smirnov Z test, respectively.

表 8 南海中南部中层鱼资源密度和资源量
Tab. 8 Mesopelagic fishes density and biomass in the central-southern part of the South China Sea

项目 item		平均值 average	中位数 median	75%	25%	最大值 max	最小值 min
		8.26×10^{-4}	8.23×10^{-4}	1.47×10^{-3}	5.79×10^{-5}	2.09×10^{-3}	2.09×10^{-5}
资源密度/(g·m ⁻²) biomass density	NASC=2244 m ² ·nmi ⁻²	143.4	64.1	46.4	1015.2	24.9	2491.9
	NASC=2638 m ² ·/nmi ⁻²	168.6	75.3	54.5	1193.4	29.3	2929.4
	NASC=2387 m ² ·/nmi ⁻²	152.5	68.1	49.4	1079.8	26.5	2650.7
资源量/(×10 ⁹ t) biomass	面积 area=120×10 ⁴ km ²	0.1830	0.0818	0.0592	1.2958	0.0318	3.1808
	NASC=2387 m ² ·nmi ⁻²						

3.2 昼夜垂直迁移规律

刘世刚等^[48]利用“南锋”号科考船搭载 Simrad EK60 科学鱼探仪(38 kHz),对南海中沙东部海域深海散射层的垂直分布和昼夜迁移进行了 24 h 连续观测,发现该海区存在两个非常明显的中层鱼散射层,特征深度分别为 0~100 m 和 350~700 m; 16:00–19:00, 350~700 m 层中部分鱼类逐渐向上迁移到 0~100 m 层; 04:00–07:00, 0~100 m 层中上升的鱼类又逐渐移回 350~700 m 层,其研究结果与本研究所观测和分析的南海中部和南部海域中层鱼昼夜垂直迁移规律基本一致,其中灯笼鱼科种类(如短颌灯笼鱼、大鳍珍灯鱼、金鼻眶灯鱼和尾明角灯鱼等)具有典型的昼夜垂直移动习性。

3.3 纬度分布

本研究中 2013 年春季南海南部中层鱼明显高密度区主要位于与南沙群岛岛礁毗连的北部深海区(图 3),而 2014 年春季南海中部中层鱼明显高密度区主要位于西沙群岛和中沙群岛毗连的深海区(图 3)。贾晓平等^[18]研究南海中部灯笼鱼类的资源量和分布时,亦发现灯笼鱼类在南海中部海域的西部和中部存在 3 个密集区,其主要分布

区与本研究结果有相似之处,都位于岛礁附近。因此,中层鱼的分布可能与岛礁有一定的相关性,也许岛礁及其周围的环境更有利于中层鱼类生活史中某一个阶段的生长(如产卵或仔稚鱼生长),针对该问题可能需要更多的科学调查作进一步探究。

3.4 资源量

Gjøsaeter 等^[2]基于中层拖网调查数据,评估全球中层鱼资源量为 10 亿 t 左右。此后,众多科学家开始采用声学与拖网相结合的方法研究中层鱼,结果发现,中层鱼对网具的逃避和逃逸行为可能导致拖网评估结果比声学评估结果至少低了一个数量级,并直接观测到中层鱼对网具的逃避行为,认为中层鱼对网具的逃避和逃逸导致中层鱼拖网评估结果被极大地低估^[49–51]。Irigoién 等^[3]利用 Simrad EK60 38 kHz 科学探鱼仪 40°N~40°S 之间采集的 32000 英里(1 英里=1.60934 km)的海洋渔业声学数据,评估的海洋 40°N–40°S 之间白天 200~1000 m 水层中层鱼积分值是(1848±1341) m²/nmi²,资源量达 100 亿 t 以上。本研究中声学数据采集和分析方法与 Irigoien 等^[3]相同,结果显示南海中南部中层鱼声学积分值比 Irigoien 等所评估的全

球平均值高出约 29.2%。作者认为, Irigoien 等所评估的海域主要是大洋开阔性海域, 其生产力较低^[52-53], 而南海中南部虽然具有大洋性质, 但其海岸线蜿蜒曲折, 大陆坡面积丰富, 入海河流较多, 且岛礁众多, 因此其生产力较高^[54-55], 这可能是南海中南部中层鱼密度高于 Irigoien 等评估的全球平均值的主要原因。

贾晓平等^[18]应用 Simrad EK500 科学探鱼仪和中层拖网, 于 2000 年春季采集南海中南部灯笼鱼类(33 种)的声学 and 生物样本数据, 评估了该海域灯笼鱼类的资源量和分布, 其研究结果认为南海中部是灯笼鱼类在南海分布的主要区域, 资源密度是 3758 kg/nmi^2 (0.64 g/m^2)。李永振等^[22]利用 Simrad EK500 科学探鱼仪和中层拖网, 评估了南海北部海域($18^\circ\text{N}\sim 24^\circ\text{N}$, $112^\circ\text{E}\sim 120^\circ\text{E}$)耀眼底灯鱼(*Benthoosema suborbitale*)、黑壮灯鱼(*Hygophum atratum*)、闪光灯笼鱼(*Myctophum nitidulum*)等 24 种灯笼鱼科鱼类春、夏、秋、冬季的资源量和分布, 结果显示其春、夏、秋、冬 4 季的年均资源密度为 1886 kg/nmi^2 (0.55 g/m^2), 其中冬季资源密度最高, 为 3758 kg/nmi^2 (1.10 g/m^2); 200 m 等深线以浅海域资源密度较低, 200 m 等深线以深海域其资源密度较高。本研究所评估的南海中南部的中层鱼资源密度明显高于贾晓平等^[18]和李永振等^[22]所评估的南海部分区域的灯笼鱼类资源密度, 分析其主要原因可能包括: (1)评估对象的差异。本研究所评估的中层鱼属广义中层鱼, 包括鱼类、头足类和真虾类等类群, 其中鱼类又包括有鳀鱼类和无鳀鱼类, 而灯笼鱼类仅是其中的一部分, 而且贾晓平等和李永振等所评估的灯笼鱼类仅是灯笼鱼科的一部分种类, 此外如果取样网具网目尺寸和取样深度不合适, 会进一步导致灯笼鱼类的取样效率被降低^[51]。(2)数据处理方式的差异。本研究所分析的中层鱼声学数据是白天 200~1000 m 水层, 因此评估的中层鱼不但包括夜间迁移到 200 m 以浅上层的种类, 还包括那些不进行迁移的种类, 如果评估灯笼鱼类资源量时采用夜间上层的(如 200 m 以浅)的声学数据, 会因为非迁移种类被忽略而导致其密度被低估, 而且如果仅仅分析白天上层(如 200 m 以浅)的声学

数据, 会导致更低的评估结果。(3)评估对象目标强度参数的差异。贾晓平等和李永振等评估灯笼鱼类资源量时使用灯笼鱼类的目标强度参数(b_{20})为 -68.0 dB , 而根据近年来灯笼鱼类目标强度的研究结果(表 5), 就灯笼鱼类的平均体长(5 cm)而言, -68.0 dB 所计算的目标强度不但高于那些没有鳀的鱼类和头足类的目标强度, 亦高于表 5 中所列种类的最大目标强度, 由此将导致资源密度被低估; (4)评估区域的差异。如李永振等^[22]评估南海北部海域灯笼鱼类资源量时, 其评估区域不少是大陆架(200 m 以浅)和大陆坡区域(1000 m 以浅), 而中层鱼在上述海域的分布本就不是很高, 尤其是大陆架以浅海域, 分布更少。因此, 鉴于以上原因, 不同调查结果之间的直接比较存在一些困难, 但先前调查可能低估了灯笼鱼类的资源量。

3.5 存在问题

根据广义中层鱼的含义, 其资源量的声学评估属于典型的多种类渔业资源声学评估的范畴。根据渔业声学及多鱼种声学评估的概念^[26, 56-57], 中层鱼资源密度(ρ_m , kg/nmi^2)计算公式又可表示为:

$$\rho_m = \sum_{i=1}^k c_i \frac{\text{NASC}}{4\pi \cdot \sum_{i=1}^k c_i \cdot 10^{\text{TS}_i/10}} m_i \quad (5)$$

式中, k 为参与积分值分配的所有中层鱼的种类(或类群); c_i 、 TS_i 和 m_i 分别为种类 i 的数量占渔获总数量的百分比(%)、目标强度和平均体重(kg); NASC 为参与积分值分配的所有种类的总积分值。但是本研究并未按照式(5)评估南海中南部中层鱼资源量, 而是采用 Irigoien 等^[3]评估全球中层鱼资源量时的方法, 其原因主要是暂时尚未准确掌握南海中层鱼群落结构的准确信息, 而且亦无全面和准确的南海中层鱼主要类群(如有鳀鱼类、无鳀鱼类、头足类等)的声学目标强度参数可用, 故作者认为目前可能不宜根据式(5)评估南海中南部中层鱼的资源量。一般而言, 长度相同条件下, 有鳀鱼类的目标强度会高于无鳀鱼类和头足类。就式(4)中 $\frac{10^3}{m} \cdot 10^{\left(\frac{\text{TS}}{10}\right)}$ 而言, 有鳀鱼类的 $10^{\left(\frac{\text{TS}}{10}\right)}$ 可能大于无鳀鱼类和头足类, 但其 $\frac{10^3}{m}$ 亦可能小

于后者。因此 $\frac{10^3}{m} \cdot 10^{\left(\frac{TS}{10}\right)}$ 存在很强的不确定性, 其与所评估种类的声学反向散射能力及其体重均有关系, 具有种类的特异性。由于南海中层鱼类的种类较多, 包括有鳀、无鳀和其他等种类, 而本研究仅仅使用以灯笼鱼为主的目标强度和体重进行平均资源量推算, 是一种较为笼统的概算, 可能会导致较大的误差。因此, 今后应首先加强南海中层鱼群落结构的调查和主要类群及优势种类目标强度的研究, 为精确评估南海中层鱼资源量提供基础参数, 待今后大致明确南海中层鱼类的有鳀、无鳀、头足类等的目标强度和群落结构后, 再使用本研究的数据重新进行资源量的推算。

本研究中共进行 9 次中层拖网作业, 其中 8 次于夜间进行, 且 7 次取样水层位于 200 m 左右以及浅水层, 仅 2 次取样水层是 400 m, 因此中层拖网取样时间段和水层的分布非常不均匀。根据中层拖网取样实践, 在白天对 200 m 以深水层的中层鱼进行拖网取样时, 效率明显低于夜间, 其原因可能是中层鱼白天对网具的逃避强于夜间。由于部分种类中层鱼夜间向上迁移至 200 m 以浅水层且聚集程度较高, 因此选取夜间上层进行拖网作业有利于提高取样效率, 但由于 200~1000 m 水层中鱼类分布并不均匀, 用以上中层拖网结果进行中层鱼群落结构分析和资源量评估时, 可能会产生较大的误差。因此, 今后进行中层鱼中层拖网取样时, 对取样的时间和水层必须做出更加科学、合理和全面的规划和分配。

本研究中层鱼声学调查方式是每天 24 h 连续走航, 由于仅选择白天中层(200~1000 m)的声学数据用于评估中层鱼的资源量和分布, 导致调查覆盖范围内部分海域中层鱼的声学积分值是空白, 对全面评估中层鱼资源量产生不利影响。如何评估其影响程度及降低其影响是需要思考的问题, 一方面可以将同一区域不同调查航次的数据综合分析, 但是这样可能会存在数据同步性的问题; 另一方面可以通过夜间漂流而白天走航的方式克服。此外, 应重点考虑如何提高中层拖网对中层鱼的取样效率, 虽然目前通过改进, 中层鱼的取样效率较 2014 年春季及其以前有明显提高, 但渔

获率仍然偏低, 可能需要引进更加先进的拖网监测系统, 对中层网在水中的工作状态和鱼类的逃逸进行监控和研究。本研究使用的积分阈值是 -80 dB, 希望能尽可能多地消除积分值中浮游动物的贡献, 但可能无法彻底消除其影响, 一些大型浮游动物可能亦在其范围内, 在无法消除浮游动物影响的条件下将会导致评估结果被高估, 如果浮游动物密度过高, 今后有必要对白天中层不同深度浮游动物的密度和生物量进行研究, 以探讨浮游动物对中层鱼声学积分值的贡献。鉴于其巨大的资源量, 中层鱼在南海海洋生态系统和渔业资源中的作用可能是极其重要的。

参考文献:

- [1] Barham E G. Deep scattering layer migration and composition: observations from a diving saucer[J]. Science, 1966, 151(3716): 1399–1403.
- [2] Gjøsæter J, Kawaguchi K. A Review of the World Resources of Mesopelagic Fish[M]. Rome: Bernan Press, 1980: 193.
- [3] Irigoien X, Klevjer A, Røstad A, et al. Large mesopelagic fishes biomass and trophic efficiency in the open ocean[J]. Nat Commun, 2014, 5(3271): 1–10.
- [4] Raring N W, Stevenson D E. A brief survey of the mesopelagic fishes of The Gulf of Alaska[J]. California Fish Game, 2010, 96(3): 188–200.
- [5] Olivar M P, Bernal A, Molí B, et al. Vertical distribution, diversity and assemblages of mesopelagic fishes in the western Mediterranean[J]. Deep-Sea Res Part I, 2012, 62(2): 53–69.
- [6] Marchal E, Lebourges A. Acoustic evidence for unusual diel behaviour of a mesopelagic fish (*Vinciguerria nimbaria*) exploited by tuna[J]. ICES J Mar Sci, 1996, 53(2): 443–447.
- [7] Uchikawa K, Yamamura O, Sakurai Y. Feeding habits of the mesopelagic fish *Gonostoma gracile* in the northwestern North Pacific[J]. J Oceanogr, 2001, 57(5): 509–517.
- [8] Ohizumi H, Kuramochi T, Kubodera T, et al. Feeding habits of Dall's porpoises (*Phocoenoides dalli*) in the subarctic North Pacific and the Bering Sea basin and the impact of predation on mesopelagic micronekton[J]. Deep-Sea Res: Part I, 2003, 50(5): 593–610.
- [9] Kosenok N S, Naidenko S V. Feeding and daily ration of the chum salmon *Oncorhynchus keta* in the western Bering Sea in the summer-fall of 2004[J]. Russ J Mar Biol, 2008, 34(1): 17–27.
- [10] Bernal A, Olivar M P, Maynou F. Diet and feeding strategies of mesopelagic fishes in the western Mediterranean[J]. Prog Oceanogr, 2015, 135(6): 1–17.

- [11] Luo J, Ortnner P B, Forcucci D, et al. Diel vertical migration of zooplankton and mesopelagic fish in the Arabian Sea[J]. Deep-Sea Res: Part II, 2000, 47(7): 1451–1473.
- [12] Collins M A, Stowasser G, Fielding S, et al. Latitudinal and bathymetric patterns in the distribution and abundance of mesopelagic fish in the Scotia Sea[J]. Deep-Sea Res Part II, 2012, 59(1): 189–198.
- [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. 南海鳮乌贼水声学测量和评估相关技术研究[J]. 南方水产科学, 2014, 10(6): 1–11.]
- [14] Prihartato P K, Aksnes D L, Kaartvedt S. Seasonal patterns in the nocturnal distribution and behavior of the mesopelagic fish *Maurollicus muelleri* at high latitudes[J]. Mar Ecol Prog, 2015, 521(2): 189–200.
- [15] Klevjer T A, Torres D J, Kaartvedt S. Distribution and diel vertical movements of mesopelagic scattering layers in the Red Sea[J]. Mar Biol, 2012, 159(8): 1833–1841.
- [16] Sutton T T. Vertical ecology of the pelagic ocean: classical patterns and new perspectives[J]. J Fish Biol, 2013, 83(6): 1508–1527.
- [17] Yang J J, Huang Z Y, Chen S Z, et al. The Deep-Water Pelagic Fishes in the Area from Nansha Islands to the Northeast Part of South China Sea[M]. Beijing: Science Press, 1996: 1–190. [杨家驹, 黄增岳, 陈素芝, 等. 南沙群岛至南海东北部海域大洋性深海鱼类[M]. 北京: 科学出版社, 1996: 1–190.]
- [18] Jia X P, Li Y Z, Li C H, et al. The Fishery Ecological Environment and Fishery Resources in Exclusive Economic Zone and Continental Shelf of South China Sea[M]. Beijing: Science Press, 2004: 329–391. [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: 329–391.]
- [19] Huang Z Y, Yang J J. The deep-sea fishes from the adjacent waters of Dongsha Islands in the South China Sea 2: Myctophiformes[C]//Contributions on Marine Biological Researches of the South China Sea. Beijing: Science Press, 1983, 1: 234–255. [黄增岳, 杨家驹. 东沙群岛邻近海域的深海鱼类2: 灯笼鱼目(Myctophiformes)[C]//南海海洋生物研究论文集, 北京: 科学出版社, 1983, 1: 234–255.]
- [20] Zhang J, Chen G B, Jiang Y E, et al. A preliminary study on fishery biology of elongata poatholefish *Gonostoma elongatum* in the central-southern part of the South China Sea[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2015, 34(2): 62–67. [张俊, 陈国宝, 江艳娥, 等. 南海中南部长钻光鱼渔业生物学初步研究[J]. 热带海洋学报, 2015, 34(2): 62–67.]
- [21] Gong Y Y, Chen Z Z, Zhang J, et al. Feeding habits of *Diaphus chrysorhynchus* from continental slope region in northern South China Sea in Autumn[J]. South China Fisheries Science, 2015, 11(5): 90–99. [龚玉艳, 陈作志, 张俊, 等. 南海北部陆坡海域秋季金鼻眶灯鱼的摄食习性[J]. 南方水产科学, 2015, 11(5): 90–99.]
- [22] 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 Edition, 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[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2005, 35(2): 206–212.]
- [23] Simrad. Simrad ER60 Scientific Echo Sounder Software Reference Manual[M]. Norway, Simrad Maritime AS Kongsberg, 2008: 19–31.
- [24] De Robertis A, Higginbottom I. A post-processing technique to estimate the signal-to-noise ratio and remove echosounder background noise[J]. ICES J Mar Sci, 2007, 64(6): 1282–1291.
- [25] Zhang J, Chen P M, Chen G B, et al. Study on removing background noise based on Echoview acoustic data post-processing system[J]. Progress in Fishery Sciences, 2014, 35(1): 9–17. [张俊, 陈丕茂, 陈国宝, 等. 基于Echoview 声学数据后处理系统的背景噪声扣除方法[J]. 渔业科学进展, 2014, 35(1): 9–17.]
- [26] Simmonds J, Maclellan D N. Fisheries Acoustics: Theory and Practice[M]. New York: Wiley, 2005: 1–379.
- [27] Francois R E, Garrison G R. Sound absorption based on ocean measurements: Part II: boric acid contribution and equation for total absorption[J]. J Acoust Soc Am, 1982, 72(6): 1879–1890.
- [28] Foote K G. Averaging of fish target strength functions[J]. J Acoust Soc Am, 1980, 67(2): 504–515.
- [29] Foote K G. Fish target strengths for use in echo integrator surveys[J]. J Acoust Soc Am, 1987, 82(3): 981–987.
- [30] Fock H O, Ehrich S. Deep-sea pelagic nekton biomass estimates in the North Atlantic: horizontal and vertical resolution of revised data from 1982 and 1983[J]. J Appl Ichthyol, 2010, 26(26): 85–101.
- [31] Yasuma H, Sawada K, Takao Y, et al. Swimbladder condition and target strength of myctophid fish in the temperate zone of the Northwest Pacific[J]. ICES J Mar Sci, 2010, 67(1): 135–144.
- [32] Yasuma H, Takao Y, Sawada K, et al. Target strength of the lanternfish, *Stenobrachius leucopsarus* (family Myctophidae), a fish without an airbladder, measured in the Bering Sea[J]. ICES J Mar Sci, 2006, 63(4): 683–692.
- [33] Bernardes R, Wongtschowski C. Length-weight relationship of small pelagic fish species of the southeast and South Brazilian Exclusive Economic Zone[J]. Naga, 2000, 23(4): 30–32.
- [34] Yasuma H, Sawada K, Ohshima T, et al. Target strength of mesopelagic lanternfishes (family Myctophidae) based on

- swimbladder morphology[J]. ICES J Mar Sci, 2003, 60(3): 584–591.
- [35] Smoker W, Percy W G. Growth and reproduction of the lanternfish *Stenobrachius leucopsarus*[J]. J Fish Board Can, 1970, 27(7): 1265–1275.
- [36] Davison P C, Koslow J A, Kloser R J. Acoustic biomass estimation of mesopelagic fish: Backscattering from individuals, populations, and communities[J]. ICES J Mar Sci, 2015, 72(5): 94–105.
- [37] Torgersen T, Kaartvedt K. *In situ* swimming behaviour of individual mesopelagic fish studied by split-beam echo target tracking[J]. ICES J Mar Sci, 2001, 58(1): 346–354.
- [38] Mamylov V S. Results of ‘*in situ*’ target strength measurements at 38 kHz for major commercial species in the North Atlantic[R]. Murmansk, 1988: 3–18.
- [39] Fock H O, Ehrich S. Deep-sea pelagic nekton biomass estimates in the North Atlantic: horizontal and vertical resolution of revised data from 1982 and 1983[J]. J Appl Ichthyol, 2010, 25(1): 85–101.
- [40] Acuna E S. Biology of the myctophid fish, *Diaphus theta* Eigenmann and Eigenmann 1890, off the Oregon coast[D]. Corvallis: Oregon State University, 1983: 1–68.
- [41] Sawada K, Uchikawa K, Matsuura T, et al. *In situ* and *ex situ* target strength measurement of mesopelagic lanternfish, *Diaphus theta* (family Myctophidae)[J]. J Mar Sci Technol, 2011, 19(3): 302–311.
- [42] Kloser R J, Williams A, Koslow J A. Problems with acoustic target strength measurements of a deepwater fish, orange roughy (*Hoplostethus atlanticus*, Collett)[J]. ICES J Mar Sci, 1997, 54(1): 60–71.
- [43] Koslow J A. Pelagic biomass and community structure over the mid-continental slope off southeastern Australia based upon acoustic and midwater trawl sampling[J]. Mar Ecol Prog, 1997, 146(1–3): 21–35.
- [44] Valinassab T, Pierce G J, Johannesson K. Lantern fish (*Benthosema pterotum*) resources as a target for commercial exploitation in the Oman Sea[J]. J Appl Ichthyol, 2007, 23(5): 573–577.
- [45] Catul V, Gauns M, Karuppasamy P K. A review on mesopelagic fishes belonging to family Myctophidae[J]. Rev Fish Biol Fish, 2011, 21(3): 339–354.
- [46] Peña M, Olivar M P, Balbín R, et al. Acoustic detection of mesopelagic fishes in scattering layers of the Balearic Sea (western Mediterranean)[J]. Can J Fish Aquat Sci, 2014, 71(8): 1186–1197.
- [47] Chen Z R. Studies on the lantern fishes (Myctophidae) from the central waters of the South China Sea (in Chinese)[C]. Contributions on Marine Biological Researches of the South China Sea. Beijing: Science Press, 1983, 1: 199–216. [陈真然. 南海中部海域灯笼鱼科的研究[C]. 南海海洋生物研究论文集, 北京: 科学出版社, 1983, 1: 199–216.]
- [48] Liu S G, Tang Y, Chen G B, et al. Vertical distribution and diurnal movement of the deep scattering layer in the South China Sea[J]. Advances in Marine Science, 2015, 33(2): 10–20. [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): 10–20.]
- [49] Cornejo R, Koppelman R. Distribution patterns of mesopelagic fishes with special reference to *Vinciguerria lucetia* Garman 1899 (Phosichthyidae: Pisces) in the Humboldt Current Region off Peru[J]. Mar Biol, 2006, 149(6): 1519–1537.
- [50] Davison P. The specific gravity of mesopelagic fish from the northeastern Pacific Ocean and its implications for acoustic backscatter[J]. ICES J Mar Sci, 2011, 68(10): 2064–2074.
- [51] Kaartvedt S, Staby A, Aksnes D L. Efficient trawl avoidance by mesopelagic fishes causes large underestimation of their biomass[J]. Mar Ecol Prog, 2012, 456(2): 1–6.
- [52] Behrenfeld M J, Falkowski P G. Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration[J]. Limnol Oceanogr, 1997, 42(1): 1–20.
- [53] Fonda J W, Jagannathan S, Watkins S E. Global-scale predictions of community and ecosystem properties from simple ecological theory[J]. Proc Royal Soc B: Biol Sci, 2008, 275(1641): 1375–1383.
- [54] Li X B, Chen C Q, Shi P, et al. Estimation of primary production of South China Sea from 1998 to 2002 by remote sensing and its spatio-temporal variation mechanism[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2006, 25(3): 57–62. [李小斌, 陈楚群, 施平, 等. 南海 1998—2002 年初级生产力的遥感估算及其时空演化机制[J]. 热带海洋学报, 2006, 25(3): 57–62.]
- [55] Qiu Y S, Zeng X G, Chen T, et al. The South China Sea Fisheries Resources and Fisheries Management[M]. Beijing: China Ocean Press, 2008: 1–255. [邱永松, 曾晓光, 陈涛, 等. 南海渔业资源与渔业管理[M]. 北京: 海洋出版社, 2008: 1–255.]
- [56] 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. [赵宪勇, 陈毓桢, 李显森, 等. 多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论文集. 北京: 海洋出版社, 2002: 341–353.]
- [57] 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: 60–85.

Preliminary study on the nautical area scattering coefficient and distribution of mesopelagic fish species in the central-southern part of the South China Sea

ZHANG Jun, JIANG Yan'e, CHEN Zuozhi, GONG Yuyan, CHEN Guobao

South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences; Key Laboratory of South China Sea Fishery Resources Exploitation & Utilization, Ministry of Agriculture; Scientific Observing and Experimental Station of South China Sea Fishery Resources & Environments, Ministry of Agriculture, Guangzhou 510300, China

Abstract: Two acoustical surveys were conducted using a Simrad EK60 scientific echosounder (38 kHz split-beam transducer) in the Nansha, Zhongsha, and Xisha areas during spring 2013 and 2014 to explore the abundance and spatiotemporal distribution of mesopelagic fish species in the central-southern part of the South China Sea. The abundance and distribution were estimated using the echo-integration method based on acoustic data and mid-water trawl samples. We identified 79 fish and squid species in 60 genera, 37 families, 16 orders, and 3 classes in the Zhongsha and Xisha areas during spring 2014. Osteichthyes was the most abundant (65 species), followed by Coleoidea (13 species), and Chondrichthyes was only represented by one species. Stomiidae, Myctophidae, and Gonostomidae (Osteichthyes) were the most abundant families and were represented by 20, 13, and 6 species, respectively. The nautical area scattering coefficient (NASC, m^2/nmi^2) of mesopelagic fish in the Nansha area was much lower than that in the Zhongsha and Xisha areas, and the former presented more obvious ascending intensity at night. The NASC composition of fish living in 10–200 m depth range at night was not different from that of fish living in 200–1000 m during the day in the Nansha area in spring of 2013, but the difference was significant in the Zhongsha and Xisha areas in spring of 2014. The NASC composition values of fish living in 200–1000 m during the day for the different latitude scopes in the Nansha, Zhongsha, and Xisha areas were significantly different. The NASC of mesopelagic fish in the central-southern part of the South China Sea was $(2387 \pm 601) \text{ m}^2/\text{nmi}^2$. We estimated the abundance of mesopelagic fish in the central-southern part of the South China Sea to be (82 ± 21) million tons based on the existing mesopelagic fish target strength parameters and the median value. These results indicate that the NASC of mesopelagic fish in the central-southern part of the South China Sea was 29.2% higher than the global average. Mesopelagic fish are a potential major strategic fishery resource and are very important for China to develop.

Key words: mesopelagic fish; nautical area scattering coefficient; spatial-temporal distribution; acoustical estimation; South China Sea

Corresponding author: CHEN Zuozhi. E-mail: zzchen2000@163.com