

文章编号: 1674-5566(2025)02-0394-09

DOI: 10.12024/jsou.20240504565

基于声学的2023年夏季西北太平洋小型中上层鱼类时空分布

吕硕¹, 童剑锋^{1,2,3,4}, 朱振宏¹, 薛铭华¹, 邱悦¹, 李柏萱¹, 刘必林^{1,2,3,4}

(1. 上海海洋大学 海洋生物资源与管理学院, 上海 201306; 2. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306; 3. 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室, 上海 201306; 4. 农业农村部大洋渔业可持续利用重点实验室, 上海 201306)

摘要: 小型中上层鱼类是西北太平洋重要的渔业资源, 其资源变动会对海洋生态系统的结构和功能造成影响, 为了解其时空分布特征和资源现状, 基于2023年声学走航调查数据, 结合拖网采样, 分析了2023年西北太平洋小型中上层鱼类夏季资源密度的时空分布情况。结果显示, 拖网采集的小型中上层种类主要有沙丁鱼(*Sardina pilchardus*)、日本鳀(*Engraulis japonicus*)、日本鲐(*Scomber japonicus*)、澳洲鲐(*Scomber australasicus*)和灯笼鱼(*Myctophidae*)等, 其平均资源密度分别为166.82、0.078、18.13、2.76和0.769 t/n mile²。研究表明, 小型中上层鱼类在低纬度海域呈现出较高的资源密度, 主要分布在黑潮和亲潮的交汇处, 大多集中在10~50 m深水层, 其单位海面面积散射系数夜晚大于白天且差异显著($P<0.001$)。本研究可为西北太平洋小型中上层鱼类资源的可持续开发和管理提供科学依据。

关键词: 小型中上层鱼类; 时空分布; 渔业声学; 西北太平洋

中图分类号: S 932.4 **文献标志码:** A

西北太平洋海域面积广阔, 是小型中上层鱼类重要的渔区, 也是中国远洋渔业的重要捕捞作业海域^[1]。因其具有黑潮和亲潮两大强西部边界流, 导致水温差形成的上升流将底部的有机物与微生物带到中上层水域, 是许多有商业价值的海洋生物的栖息和觅食地^[2]。根据联合国粮农组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)统计^[3], 2020年西北太平洋渔获产量最高, 其中, 小型中上层鱼类作为主要渔获物, 包括沙丁鱼(*Sardina pilchardus*)、日本鳀(*Engraulis japonicus*)、日本鲐(*Scomber japonicus*)、澳洲鲐(*Scomber australasicus*)和灯笼鱼(*Myctophidae*)等^[4]。大多数的小型中上层鱼类都生活在0~200 m深的海洋上层, 在连接下级营养级和上级营养级方面发挥着重要的作用, 具有生命周期短、生长速度快、高度聚集性、易受环境因素影响的特点^[5-6]。与此同时, 小型中上层鱼类相较于其他营养水平较高的物种易受捕捞或自然因素的影响, 由此而产生的波动会改变生态系统的

结构和功能, 并对整个生态系统产生重大影响^[7-8]。因此, 进一步了解它们的地理分布特征和资源的现状, 维持这些鱼类种群的资源丰度, 对渔业资源可持续利用具有重要意义^[8]。

目前, 声学技术已广泛应用于全球各个水域的渔业资源调查与评估中。王腾等^[9]利用声学映像数据分析了南海鲣(*Katsuwonus pelamis*)在灯光诱集条件下的时空分布变化规律。梁祥等^[10]对云龙水库库区鱼类资源进行声学调查, 并评估了鱼类资源量。屈泰春等^[11]利用科学鱼探仪对南极半岛附近海域的南极大磷虾资源量进行了调查, 计算了调查区域内的南极大磷虾(*Euphausia superba*)平均资源密度。然而中国在西北太平洋公海开展的声学资源调查仍然较少, 不利于全面了解该海域的渔业资源现状。与此同时, 鱼类存在昼夜迁移行为, 日落前鱼群会扩散并向上移动, 鱼类行为能力也开始减弱, 日出后鱼群聚集并开始下移, 这种行为会导致资源评估结果在昼夜出现差异^[12-13]。因此, 本研究利用2023年6月—8月

收稿日期: 2024-05-29 修回日期: 2024-10-21

基金项目: 国家重点研发计划(2023YFD2401302, 2019YFD0901401)

作者简介: 吕硕(2000—), 女, 硕士研究生, 研究方向为渔业声学、生物多样性。E-mail: Lyushuo517@163.com

通信作者: 童剑锋, E-mail: jftong@shou.edu.cn

版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University (CC BY-NC-ND 4.0)

<http://www.shhydxxb.com>

渔业声学调查数据与拖网生物采样数据,对西北太平洋小型中上层鱼类的水平和垂直分布进行评估,并探究其时空分布特征,为西北太平洋海域小型中上层鱼类资源评估及可持续开发利用和管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

此次调查依托上海海洋大学“淞航”号远洋

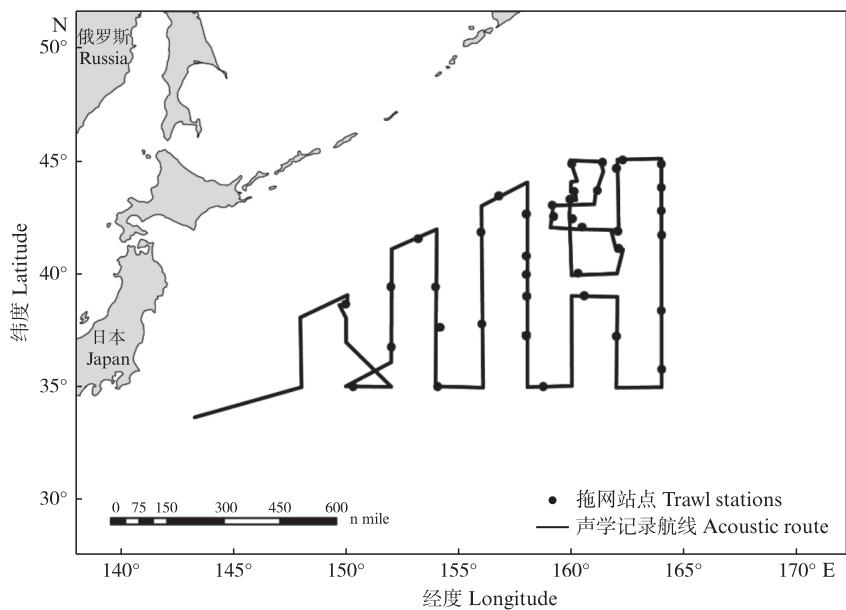


图1 声学记录航线及拖网采样站点
Fig. 1 Acoustic route and trawl stations

声学数据使用SIMRAD EK80型船载科学探鱼仪采集并在目标海域作业时不间断记录,该型探鱼仪能够同时搭载多个不同频率换能器同步进行数据采集,并具备宽频带探测功能。为保证声学调查原始数据的准确性,在海况较好的条件下采用国际通用的标准球法对探鱼仪进行了校正^[14]。本次研究使用38 kHz频率的换能器,主要技术参数如表1所示。调查走航线路共计5 589 n mile,根据AGLEN^[15]提出的声学调查线路的覆盖率计算方法,声学调查对调查区域的覆盖率为7.26,满足调查覆盖率的要求。

$$\Lambda = \frac{D}{\sqrt{A}} \times 100\% \quad (1)$$

式中: Λ 为声学调查航线覆盖率,%; D 为调查航线长度,km; A 为调查海域面积,km²。

生物学调查网具为四片式中层拖网,主尺度434 m×97.1 m(44.98 m),网具采用单囊结构,网口

渔业资源调查船于2023年6月15日—8月16日进行的不间断航程。调查船只总长85 m,满载排水量3 271.4 t。本研究主要调查区域位于日本东侧的西北太平洋海域,调查范围为35°N~45°N,147°E~164°E。其中按照随机抽样原则设置渔业资源拖网采样点39个,具体走航路线见图1。

部分采用大网目;网身部分采用机编网片;双叶网板,采用单手纲连接方式。每次拖网作业时间为1~2 h,拖网船速为4~6 kn。

表1 SIMRAD EK80 38 kHz 换能器主要参数和校准信息
Tab. 1 Main parameter settings and calibration information of SIMRAD EK80 38 kHz

换能器参数 Transducer parameters	传感器参数 Transducer setting
换能器型号 Transducer type	ES38-7C
工作频率 Operation frequency/kHz	38
发射功率 Transmitting power/W	2 000
脉冲长度 Pulse duration/ms	1.024
波束角 Beam angle/(°)	7
吸收系数 Absorption coefficient/(dB/km)	7.66
声速 Sound speed/(m/s)	1 521.7
双向波束角 Two-way beam angle/dB	-20.7
换能器增益 Transducer gain/dB	26.68
修正系数 Sacorrection factor/dB	-0.1

1.2 数据处理

本次调查所采集数据由声学数据后处理软件 Echoview 13.1 进行分析处理, 基于 Echoview 内置算法组合进行数据噪声去除和积分处理。首先将鱼探仪校正文件导入到 Echoview 中进行原始数据的校正, 根据软件中的“背景噪声去除”、“脉冲噪声去除”、“屏蔽噪声去除”等多个变量去除回声图像中的背景噪声、随机噪声等。为了防止走航过程中表层水流扰动引起的气泡干扰以及考虑拖网采样的水深范围, 重新设置积分起始水层和终止水层。因此, 积分范围为换能器表面 10~200 m 深度范围, 基本积分航程单元在水平方向上设置为 1 n mile, 垂直方向上设置为 50 m。积分阈值设定为 -70 dB, 用以屏蔽回声图像中的弱散射回波信号。以 38 kHz 回声数据进行结果分析和资源量计算。根据软件的积分处理, 可得各积分单元水体体积后向散射强度 (Volume backscatter strength, S_v) 和单位海里面积散射系数 (Nautical area scattering coefficient, NASC)。散射强度 S_v 与积分值 NASC 是指示鱼类分布的有用指数, 一般与资源量呈正相关^[16]。

由于调查期间各站数据采集时间不同, 为分析研究海域内鱼类资源的昼夜差异, 本研究根据当地的太阳高度角(一定程度上表示海面光照强度)信息判定日出和日落时间, 并以此将声学数据划分为白昼和夜晚。研究使用美国 NOAA 地球系统研究实验室(Earth System Research Lab)提供的太阳位置计算器, 根据调查船航迹对应的经纬度位置和 UTC 时间获取当地太阳高度角^[17]。

与此同时, 进行拖网生物样品采样后, 对所有渔获物进行现场的总重量测量。针对主要渔获物, 每站点随机选取 30 尾现场测量体长、体质量等生物学参考信息, 为渔业资源声学评估提供数据基础。

1.3 资源量计算

按照多种类海洋渔业资源声学的评估方法, 以渔获物作为积分值分配的主要依据, 并计算调查海域内第 i 物种的数量密度 (Number density, $\rho_{i,N}$) 和资源密度 (Resource density, $\rho_{i,R}$), 公式分别为^[18-19]

$$\rho_{i,N} = c_i \frac{S_A}{4\pi \bar{\sigma}_{bs}} \quad (2)$$

$$\rho_{i,R} = \rho_{i,N} \bar{w}_i \times 10^{-6} \quad (3)$$

式中: c_i 为第 i 物种渔获物的数量百分比, 由生物采样数据获得; S_A 为海里面积散射系数 NASC 值, $\text{m}^2/\text{n mile}^2$; \bar{w}_i 为第 i 物种鱼类的平均体质量, g ; $\bar{\sigma}_{bs}$ 为所有声学评估鱼类的平均后向散射截面积 (Backscattering cross-section), m^2 , 其计算公式为

$$\bar{\sigma}_{bs} = \sum_{i=1}^n c_i 10^{\frac{S_i}{10}} \quad (4)$$

$$S_i = 20\lg L_i + b_{20,i} \quad (5)$$

式中: n 为声学评估的鱼类种类数; S_i 为第 i 物种的目标强度; L_i 为第 i 物种的平均体长; $b_{20,i}$ 为第 i 物种的目标强度参数。每种鱼的 b_{20} 均参考前人研究设置^[20], 将日本鮰、澳洲鮰、沙丁鱼、日本鳀、灯笼鱼和其他鱼种的 b_{20} 分别设置为 -70.9、-70.9、-74.1、-71.8、-68.0 和 -72.0 dB。

为了解调查海域生物资源在不同水深的分布情况, 将整个积分航程各水层的 NASC 和 S_v 做均值化处理。其中 NASC 求算术平均值, S_v 的均值通过线性值计算得出:

$$\bar{S}_v = 10\lg \frac{\sum_{i=1}^n 10^{S_i/10}}{n} \quad (6)$$

2 结果

2.1 主要种类组成及其基础生物学特性

本次调查拖网渔获物的主要种类可分为日本鮰、澳洲鮰、沙丁鱼、日本鳀、灯笼鱼和其他鱼种 6 类, 其中, 灯笼鱼种类主要有汤氏角灯鱼 (*Ceratoscopelus townsendi*)、巨眶灯鱼 (*Diaphus gigas*)、华丽眶灯鱼 (*Diaphus perspicillatus*)、粗鳞灯笼鱼 (*Myctophum asperum*) 和加利福尼亚标灯鱼 (*Symbolophorus californiensis*) 等。日本鮰、澳洲鮰、沙丁鱼、日本鳀、灯笼鱼的合计渔获质量占本次调查中总渔获质量的 75% 以上。

渔获物中随机选取部分鱼类进行现场生物学参数测量, 其中包括日本鮰 409 尾、澳洲鮰 229 尾、沙丁鱼 446 尾、日本鳀 66 尾、灯笼鱼 225 尾和其他鱼类 858 尾, 各鱼类生物学信息见表 2。在本航次所有拖网渔获物中, 日本鮰、澳洲鮰、沙丁鱼、日本鳀、灯笼鱼的各产量占总渔获量的比例分别为 9.31%、1.43%、85.59%、0.04%、0.37%, 各数量占总资源数量的比例分别为 3.38%、0.77%、90.94%、0.11%、3.15%。

表2 拖网渔获物中主要种类组成信息
Tab. 2 Composition information of main species in the trawl catches

种类 Species	渔获质量 Catch mass/kg	渔获尾数 Catch quantity/尾	体质量 Body mass/g	平均体质量 Mean body mass/g	体长 Body length/mm	平均体长 Mean body length/mm
日本鲐 <i>Scomber japonicus</i>	698.5	7 209	3.0~446.2	96.90	45~306	168.56
澳洲鲐 <i>Scomber australasicus</i>	107.0	1 648	23.5~106.4	64.93	93~261	158.07
沙丁鱼 <i>Sardina pilchardus</i>	6 423.2	193 820	1.2~105.6	33.14	4~20	122.70
日本鳀 <i>Engraulis japonicus</i>	3.1	241	1.0~36.7	12.84	2~134	82.48
灯笼鱼 Myctophidae	27.7	6 701	0.4~10.5	4.41	45~90	61.95
其他 Others	244.8	3 507	1.3~3 775.0	69.80	37~600	129.80

2.2 渔业资源密度声学评估

根据拖网渔获中各鱼种数量比例对积分值 NASC 进行分配可知,在整个调查海域内,所有物种平均 NASC 为 $459.43 \text{ m}^2/\text{n mile}^2$, 日本鲐平均 NASC 为 $15.53 \text{ m}^2/\text{n mile}^2$; 澳洲鲐平均 NASC 为 $3.54 \text{ m}^2/\text{n mile}^2$; 沙丁鱼平均 NASC 为 $417.81 \text{ m}^2/\text{n mile}^2$; 日本鳀平均 NASC 为 $0.51 \text{ m}^2/\text{n mile}^2$; 灯笼鱼平均 NASC 为 $14.47 \text{ m}^2/\text{n mile}^2$, 剩余其他鱼类平均 NASC 为 $7.58 \text{ m}^2/\text{n mile}^2$ 。

经计算,调查海域内声学评估的小型中上层鱼类平均数量密度为 $5 \times 10^6 \text{ 尾/n mile}^2$, 平均资源密度为 $194.90 \text{ t/n mile}^2$ 。根据表 2 中各主要鱼类产量比例和平均体质量可得,日本鲐资源密度为 18.13 t/n mile^2 , 澳洲鲐资源密度为 2.77 t/n mile^2 , 沙丁鱼资源密度为 $166.82 \text{ t/n mile}^2$, 日本鳀资源密度为 0.07 t/n mile^2 , 灯笼鱼资源密度为 0.77 t/n mile^2 , 其他鱼类资源密度 6.38 t/n mile^2 。

2.3 资源密度空间分布

2.3.1 水平分布

使用 NASC 和资源密度来表示小型中上层鱼类的分布情况,本次调查海域内 $10\sim200 \text{ m}$ 时每海里的 NASC 和资源密度分布如图 2 和图 3 所示。调查海域平均 NASC 为 $508.22 \text{ m}^2/\text{n mile}^2$, 其中最大值为 $12 559.39 \text{ m}^2/\text{n mile}^2$, 位于 34°N 和 144°E 附近。从声学密度的空间分布上可以看

出,鱼类声学积分值 NASC 与资源密度基本一致,NASC 值高的海域,资源密度也相对较高。在纬度方向上,高资源密度值主要集中在 $33^\circ\text{N}\sim35^\circ\text{N}$ 和 $36^\circ\text{N}\sim38^\circ\text{N}$ 海域,在经度方向上,高资源密度值则主要集中在 $143^\circ\text{E}\sim148^\circ\text{E}$ 和 $152^\circ\text{E}\sim155^\circ\text{E}$ 海域。

2.3.2 垂直分布

西北太平洋平均 NASC 和 S_v 在垂直方向上的变化趋势如图 4。二者随水深变化趋势相同,均随水深的增加而降低,NASC 在 $10\sim50 \text{ m}$ 水层最大,为 $190.08 \text{ m}^2/\text{n mile}^2$, S_v 在 $10\sim50 \text{ m}$ 水层同样为最高,达到 -59.98 dB ,表明该海域小型中上层鱼类大多聚集在 $10\sim50 \text{ m}$ 的水层中,其次为 $50\sim100 \text{ m}$ 水层,两者 NASC 相差 $18.78 \text{ m}^2/\text{n mile}^2$ 。同时,在 $10\sim50 \text{ m}$ 水层后生物聚集逐渐减少。

2.4 资源密度昼夜分布

图 5 为 2023 年 6 月 15 日到 8 月 1 日白昼和夜晚中上层小型鱼类声学积分值 NASC 的分布情况。对白昼和夜晚的 NASC 进行 Mann-Whitney U 非参数检验分析,结果表明,该海域鱼类 NASC 昼夜差异显著 ($P<0.001$)。白昼鱼类 NASC 为 $0.03\sim6 778.92 \text{ m}^2/\text{n mile}^2$, 平均值为 $365.15 \text{ m}^2/\text{n mile}^2$; 夜晚 NASC 为 $0.02\sim12 729.77 \text{ m}^2/\text{n mile}^2$, 平均值为 $625.46 \text{ m}^2/\text{n mile}^2$ 。在 NASC 最大值方面,夜晚最大值远大于白昼,并且夜晚 NASC 平均值是白昼的 1.71 倍。

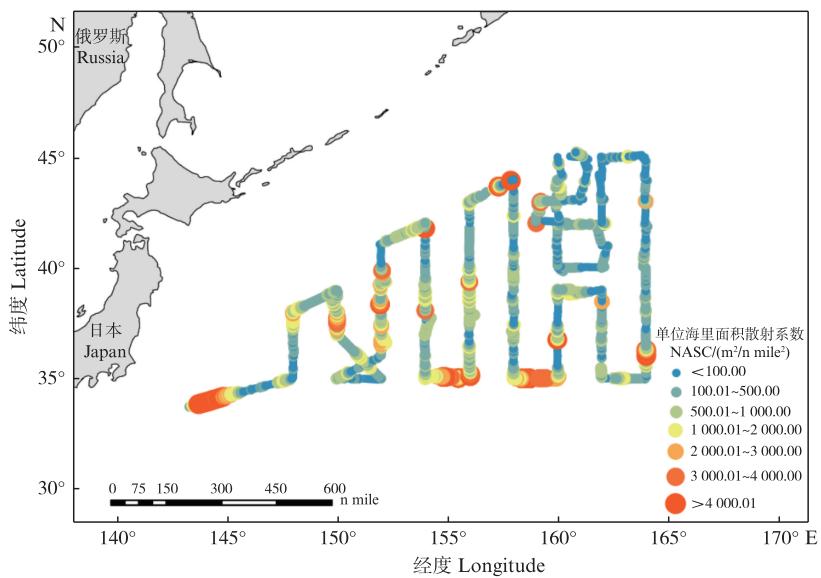


图2 调查海域声学NASC值分布图
Fig. 2 Distribution of NASC values in the survey area

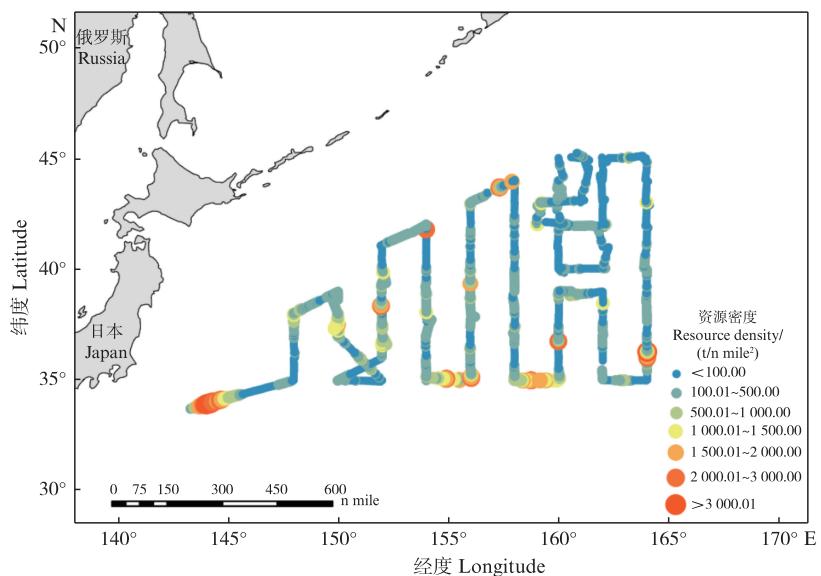


图3 调查海域资源密度分布图
Fig. 3 Distribution of resource density in the survey area

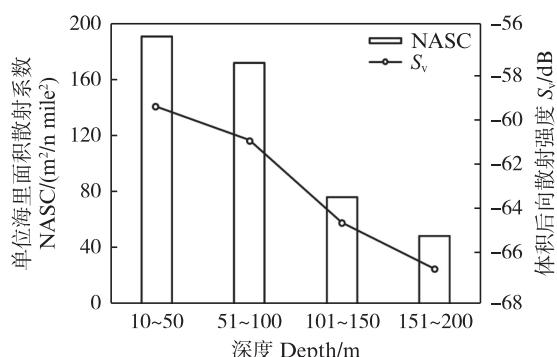


图4 调查海域内体积后向散射强度及NASC随水深变化
Fig. 4 Variation of S_v and NASC with depth in the survey area

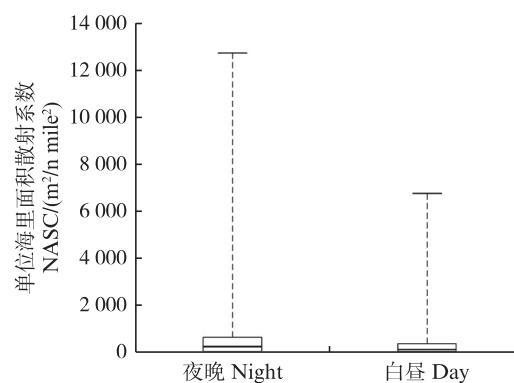


图5 西北太平洋小型中上层鱼类平均NASC的昼夜差异
Fig. 5 Diel differences in mean NASC of small pelagic fish in the Northwest Pacific Ocean

3 讨论与分析

3.1 主要渔获物种组成和资源密度

小型中上层鱼类具有很高的经济价值,在海洋生态系统中发挥着至关重要的作用^[21]。渔业声学方法可以提供较为准确的资源密度估计和空间分布特征分析,为渔业资源评估提供更全面的科学依据^[22]。因此,本研究利用拖网生物学数据,将声学积分值进行分配,计算西北太平洋的资源密度水平分布和每个水层的垂直分布。

本研究拖网采样上岸的小型中上层鱼类主要有日本鲐、澳洲鲐、沙丁鱼、日本鳀、灯笼鱼,其中沙丁鱼为本次调查的优势种,其次是日本鲐,与2021年西北太平洋所得渔获物具有相似的调查结果^[23]。与张立^[24]2015年使用声学方法对西北太平洋夏季鱼类资源的调查鱼类资源量较为接近但存在一定差异,特别是沙丁鱼。这可能是由于本研究拖网采样中沙丁鱼占比最多造成的。此外,本研究所得的小型中上层鱼类资源量分布与实际拖网调查的各站点渔获量分布具有差异,这是由于拖网采样选取的水层范围与声学调查不同,渔获物也会被网具选择,具体取决于网目尺寸、拖网开口和拖曳速度,对结果造成一定的影响^[25]。同时,鱼群也会受调查船噪声的影响产生逃避行为,导致鱼类群落资源量评估产生差异^[26]。

3.2 资源密度水平分布特征及其与环境的关系

本次渔业声学调查发现,在水平空间上,资源密度高值主要出现在低经度和低纬度的海域。在太平洋西侧,存在高温、高盐的黑潮及其支流和低温、低盐的亲潮^[27]。其中黑潮和亲潮交汇区对渔业资源影响较为显著^[28]。该区域营养丰富,温度适宜,含有大量的浮游动植物和小型鱼类,具有较高的生产力^[29]。与此同时,本研究资源密度在黑潮上方的冷水区较低,而在下方的温暖区较高,可能是由于大部分鱼类倾向于生活在水温较暖的水域^[4]。资源密度高值易出现在暖涡附近^[30]。因此,黑潮和亲潮引起的冷涡和暖涡也可能是造成资源密度差异的原因^[31]。有研究^[32]表明,黑潮的主要渔获物以暖温种类为主,亲潮则以温性种类为主。而沙丁鱼、日本鲐、澳洲鲐等均为暖温性小型中上层鱼类,有较大的概率出现在黑潮。

3.3 资源密度垂直和昼夜分布特征

根据本研究数据显示,10~50 m水层平均NASC和散射强度明显高于更深的水层,说明小型中上层鱼类大多聚集在10~50 m水层,与YU等^[33]利用eDNA技术研究小型中上层鱼类的空间分布具有相似的结论。这主要是由于回声散射层受水温影响明显,表层水温高于深层。浮游动物倾向于生活在水温较高的海域,表层充足的光照带来了丰富的溶解氧,有利于浮游动物生存^[34]。与此同时,鱼类受光线、温度、溶解氧等各方面因素影响,会出现生物昼夜垂直迁移活动(Diel vertical migration, DVM)与集群尺度的昼夜变化^[35]。DVM最常见的现象是,浮游生物在黄昏时上升到水面,并在黎明时下降到更深的水域。这种迁徙模式被认为反映了生物觅食与避免捕食者之间的权衡,特别是在阳光照射的光区^[36-37]。本研究的采样季节在夏季,出现了夜晚的NASC大于白昼的现象,张丽媛等^[12]研究也得出了相同的结果。另外,根据拖网渔获物组成发现,白昼拖网渔获中以沙丁鱼和鲐鱼等有鳔鱼类为主,个体散射强度较高;夜晚则以灯笼鱼等小型生物为主,个体散射强度较弱。但由于夜晚NASC高于白昼,因此可以认为夜晚活动于中上水层的弱散射生物资源密度大于白昼。

3.4 不足与展望

使用声学方法研究渔业资源的时空分布时,大多是采用回声积分值来进行的,其中积分值的高低直接反映了水生生物资源量的多少,从而影响资源的时空分布特征结果。对浮游动物等非目标生物的声学特征了解较少,不能在回声积分前将其回声信号有效去除,也会对最终的时空分布结果造成干扰。本研究的目标强度值是根据各鱼种国内外相关研究建立的目标强度-体长经验公式计算得出。在这些公式中, b_{20} 是一个关键参数,不同鱼类在不同声学频率下的 b_{20} 不同,需要通过目标强度测定实验或模型拟合求得。然而即便是同一种鱼,其 b_{20} 受到研究海域环境因素、个体不同生长阶段及所用声学设备等的影响,测得的结果亦会存在差异^[38]。因此,后续研究中必须对西北太平洋不同鱼种展开系统的目标强度测定工作,以获取更加准确的 b_{20} ,提高各物种在不同区域资源量分布的准确性。另外,本研究设置起始积分水层为海表10 m以下,该区域视为声学盲区,导致

海表的小型中上层鱼类不在回波积分的范围内,因而对资源密度计算结果造成一定的偏差^[39]。与此同时,由于昼夜存在差异,未来可以将白天和晚上分别进行拖网采样,同时将声学数据也按照昼夜分开处理,计算两者的资源量,更准确了解其资源分布昼夜分布特征。

作者声明本文无利益冲突。

参考文献:

- [1] 王靓. 西北太平洋主要小型中上层鱼类资源量对大尺度气候-海洋环境变化的响应研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2021.
- WANG L. Study on the response of major small pelagic fish resource in the Northwest Pacific to large scale climate-marine environmental changes [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2021.
- [2] 杨超. 西北太平洋公海远东拟沙丁鱼种群生物学特征及资源评估[D]. 上海: 上海海洋大学, 2023.
- YANG C. Biological characteristics and resource assessment of *Sardinops melanostictus* in the Northwest Pacific [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2023.
- [3] FAO. The state of world fisheries and aquaculture 2022. Towards Blue Transformation[M]. Rome: FAO, 2022.
- [4] ZHU Z H, TONG J F, XUE M H, et al. Assessing the influence of abiotic factors on small pelagic fish distribution across diverse water layers in the Northwest Pacific Ocean through acoustic methods [J]. Ecological Indicators, 2024, 158: 111563.
- [5] 卞晓东, 万瑞景, 单秀娟, 等. 莱州湾中上层小型鱼类早期资源量动态及其外在驱动因素[J]. 中国水产科学, 2022, 29(3): 446-468.
- BIAN X D, WAN R J, SHAN X J, et al. Preliminary analysis on recruitment variation and the exogenous driving factors to early life stages of small pelagic fishes in the Laizhou Bay [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2022, 29(3): 446-468.
- [6] 石永闯, 陈新军. 小型中上层海洋鱼类资源评估研究进展[J]. 海洋渔业, 2019, 41(1): 118-128.
- SHI Y C, CHEN X J. A review of stock assessment methods on small pelagic fish [J]. Marine Fisheries, 2019, 41(1): 118-128.
- [7] PALOMERA I, OLIVAR M P, SALAT J, et al. Small pelagic fish in the NW Mediterranean Sea: an ecological review [J]. Progress in Oceanography, 2007, 74 (2/3): 377-396.
- [8] HILBORN R, BURATTI C C, DÍAZ ACUÑA E, et al. Recent trends in abundance and fishing pressure of agency-assessed small pelagic fish stocks [J]. Fish and Fisheries, 2022, 23(6): 1313-1331.
- [9] 王腾, 张鹏, 李杰, 等. 基于声学映像的南海灯罩网渔业中鲣的时空分布[J]. 中国水产科学, 2021, 28 (1): 79-89.
- WANG T, ZHANG P, LI J, et al. Distribution of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) associated with a light falling-net in the South China Sea [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2021, 28(1): 79-89.
- [10] 梁祥, 薛绍伟, 武智, 等. 云龙水库鱼类资源声学评估[J]. 西南农业学报, 2021, 34(9): 2057-2062.
- LIANG X, XUE S W, WU Z, et al. Acoustic assessment of fish resources in Yunlong Reservoir [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2021, 34 (9) : 2057-2062.
- [11] 屈泰春, 陈帅, 黄洪亮, 等. 南极大磷虾声学调查数据噪声处理与资源密度评估[J]. 极地研究, 2014, 26 (4): 451-459.
- QU T C, CHEN S, HUANG H L, et al. Removal of echo integration noise and estimation of the abundance of Antarctic krill [J]. Chinese Journal of Polar Research, 2014, 26(4): 451-459.
- [12] 张丽媛, 杨剑虹, 熊清海, 等. 基于水声学的阳宗海鱼类行为特征及其资源评估[J]. 南方水产科学, 2024, 20 (1): 110-119.
- ZHANG L Y, YANG J H, XIONG Q H, et al. Hydroacoustic estimates of fish abundance and behavior characteristics in Yangzonghai Lake [J]. South China Fisheries Science, 2024, 20(1): 110-119.
- [13] ZWOLINSKI J, MORAIS A, MARQUES V, et al. Diel variation in the vertical distribution and schooling behaviour of sardine (*Sardina pilchardus*) off Portugal [J]. ICES Journal of Marine Science, 2007, 64(5): 963-972.
- [14] DEMER D A, BERGER L, BERNASCONI M, et al. Calibration of acoustic instruments [R]. Denmark: ICES Cooperative Research Report, 2015.
- [15] AGLEN A. Random errors of acoustic fish abundance estimates in relation to the survey grid density applied [J]. FAO Fisheries Report, 1983(300): 293-298.
- [16] 张俊, 陈国宝, 陈作志, 等. 南沙南部陆架海域渔业资源声学评估[J]. 南方水产科学, 2015, 11(5): 1-10.
- ZHANG J, CHEN G B, CHEN Z Z, et al. Acoustic estimation of fishery resources in southern continental shelf of Nansha area [J]. South China Fisheries Science, 2015, 11(5): 1-10.
- [17] 黄二辉, 杨燕明, 文洪涛, 等. 北半球夏季中高纬海洋声散射层分布研究[J]. 海洋学报, 2019, 41(7): 52-64.
- HUANG E H, YANG Y M, WEN H T, et al. Research on the distribution of sound scattering layer in the middle and high latitudes ocean of the Northern Hemisphere in autumn [J]. Haiyang Xuebao, 2019, 41(7): 52-64.

- [18] 赵宪勇, 陈毓桢, 李显森, 等. 多种类海洋渔业资源声学评估技术和方法探讨[J]. 海洋学报, 2003, 25(s1): 192-202.
- ZHAO X Y, CHEN Y Z, LI X S, et al. Acoustic estimation of multi-species marine fishery resources [J]. *Haiyang Xuebao*, 2003, 25(s1): 192-202.
- [19] SIMMONDS J, MACLENNAN D N. *Fisheries acoustics: theory and practice* [M]. New York: John Wiley & Sons, 2005.
- [20] 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: 385-392.
- JIA X P, LI Y Z, LI C H, et al. *Fisheries ecological environment and fishery resources in the exclusive economic zone and continental shelf of the South China Sea* [M]. Beijing: Science Press, 2004: 385-392.
- [21] PECK M A, ALHEIT J, BERTRAND A, et al. Small pelagic fish in the new millennium: a bottom-up view of global research effort [J]. *Progress in Oceanography*, 2021, 191: 102494.
- [22] YIN X Q, YANG D T, DU R R. Fishery resource evaluation in Shantou seas based on remote sensing and hydroacoustics[J]. *Fishes*, 2022, 7(4): 163.
- [23] 薛铭华. 西北太平洋鲐鱼声散射特征及在声学资源评估中的应用[D]. 上海: 上海海洋大学, 2022.
- XUE M H. Scattering characteristics of chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the Northwest Pacific Ocean and the use in stock assessment [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2022.
- [24] 张立. 西北太平洋渔业资源声学评估[D]. 厦门: 国家海洋局第三海洋研究所, 2017.
- ZHANG L. Acoustic assessment of fishery resources in the Northwest Pacific Ocean [D]. Xiamen: Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, 2017.
- [25] 郭禹, 章守宇, 程晓鹏, 等. 马鞍列岛海域渔业资源声学评估[J]. 水产学报, 2020, 44(10): 1695-1706.
- GUO Y, ZHANG S Y, CHENG X P, et al. Acoustic estimation of fisheries resources off Ma'an Archipelago[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2020, 44(10): 1695-1706.
- [26] 汤勇. 中国渔业资源声学评估研究与进展[J]. 大连海洋大学学报, 2023, 38(2): 185-195.
- TANG Y. Research advance in fisheries resources assessment by using the acoustic technology in China: a review[J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2023, 38(2): 185-195.
- [27] 张培超, 张孝民, 徐炳庆, 等. 黑潮、亲潮及其交汇区水温与秋刀鱼资源丰度的关系[J]. 渔业研究, 2021, 43(6): 562-570.
- ZHANG P C, ZHANG X M, XU B Q, et al. Relationship between the water temperature of the Kuroshio, Oyashio and Kuroshio-Oyashio transition zone and *Cololabis saira* resource abundance [J]. *Journal of Fisheries Research*, 2021, 43(6): 562-570.
- [28] 刘思源, 张衡, 杨超, 等. 西北太平洋远东拟沙丁鱼与日本鲭种群动态特征及其与环境因子关系研究进展[J]. 大连海洋大学学报, 2023, 38(2): 357-368.
- LIU S Y, ZHANG H, YANG C, et al. Relationship between stock dynamics and environmental variability for Japanese sardine (*Sardinops sagax*) and chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the Northwest Pacific Ocean: a review[J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2023, 38(2): 357-368.
- [29] 梁绪虹, 王丛丛, 刘洋, 等. 基于环境DNA技术的黑潮-亲潮交汇区夏季鱼类物种多样性分析[J]. 上海海洋大学学报, 2024, 33(4): 911-926.
- LIANG X H, WANG C, LIU Y, et al. Fish diversity analysis of the Kuroshio-Oyashio Confluence Region in summer based on environmental DNA technology [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2024, 33(4): 911-926.
- [30] XUE M H, TONG J F, TIAN S Q, et al. Broadband characteristics of zooplankton sound Scattering layer in the Kuroshio-Oyashio confluence region of the Northwest Pacific Ocean in Summer of 2019[J]. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2021, 9(9): 938.
- [31] AOKI I, INAGAKI T. Acoustic observations of fish schools and scattering layers in a Kuroshio warm-core ring and its environs[J]. *Fisheries Oceanography*, 1992, 1(2): 137-142.
- [32] 王雅萌, 陈新军, 陈苑, 等. 黑潮和亲潮生态系统中上层渔获量变动趋势及影响因素分析[J]. 海洋渔业, 2022, 44(2): 164-177.
- WANG Y M, CHEN X J, CHEN P, et al. Variation trend and influencing factors of catch in mid-pelagic species of Kuroshio and Oyashio ecosystems [J]. *Marine Fisheries*, 2022, 44(2): 164-177.
- [33] YU Z S, WONG M K S, INOUE J, et al. Environmental DNA in the Kuroshio reveals environment-dependent distribution of economically important small pelagic fish [J]. *Frontiers in Marine Science*, 2023, 10: 1121088.
- [34] 李开枝, 任玉正, 柯志新, 等. 南海东北部陆坡区中上层浮游动物的垂直分布[J]. 热带海洋学报, 2021, 40(2): 61-73.
- LI K Z, REN Y Z, KE Z X, et al. Vertical distributions of epipelagic and mesopelagic zooplankton in the continental slope of the northeastern South China Sea [J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2021, 40(2): 61-73.
- [35] 屈泰春, 冯春雷, 李灵智, 等. 塞拉利昂海域雨季深海声学散射层生物垂直迁移现象分析[J]. 海洋渔业, 2023, 45(4): 434-446.
- QU T C, FENG C L, LI L Z, et al. Diel vertical migrations of organisms in deep scattering layers in rainy

- season off Sierra Leone [J]. *Marine Fisheries*, 2023, 45(4): 434-446.
- [36] DYPVIK E, RØSTAD A, KAARTVEDT S. Seasonal variations in vertical migration of glacier lanternfish, *Benthosema glaciale* [J]. *Marine Biology*, 2012, 159(8): 1673-1683.
- [37] VAN HAREN H, COMPTON T J. Diel vertical migration in deep sea plankton is finely tuned to latitudinal and seasonal day length [J]. *PLoS One*, 2013, 8(5): e64435.
- [38] 侯宇伟, 刘世刚, 李渊, 等. 基于声学方法的2019年夏季南海中南部重要中上层经济鱼类资源评估 [J]. *海洋渔业*, 2022, 44(3): 267-279.
- [39] HOU Y W, LIU S G, LI Y, et al. Acoustic assessment of commercially important pelagic fish resources in the central and southern South China Sea in the summer of 2019 based on acoustic research [J]. *Marine Fisheries*, 2022, 44(3): 267-279.
- 曾雷, 陈国宝, 于杰. 南澳岛海域渔业资源声学评估与空间分布 [J]. *南方水产科学*, 2018, 14(2): 26-35.
- ZENG L, CHEN G B, YU J. Acoustic assessment of fishery resources and spatial distribution in Nan'ao Island area [J]. *South China Fisheries Science*, 2018, 14(2): 26-35.

Spatiotemporal distribution characteristics of small pelagic fish in the Northwest Pacific Ocean in summer of 2023 based on acoustics methods

LYU Shuo¹, TONG Jianfeng^{1,2,3,4}, ZHU Zhenhong¹, XUE Minghua¹, QIU Yue¹, LI Boxuan¹, LIU Bilin^{1,2,3,4}
(1. College of Marine Living Resource Sciences and Management, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai 201306, China; 3. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306, China; 4. Key Laboratory of Sustainable Utilization of Oceanic Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China)

Abstract: Small pelagic fish are important fishery resources in the Northwest Pacific, and their resource fluctuations can have a significant impact on the structure and function of the marine ecosystem. In order to understand their spatial and temporal distribution characteristics and resource status, this study is based on the 2023 acoustic survey data, combined trawl sampling to analyze the spatial and temporal distribution of small pelagic fish resources in the Northwest Pacific in summer 2023. The results showed that trawl catch species mainly included European pilchard (*Sardina pilchardus*), Japanese anchovies (*Engraulis japonicus*), Chub mackerels (*Scomber japonicus*), Australian mackerels (*Scomber australasicus*), and lanternfish (Myctophidae) with average resource densities of 166.82 t/n mile², 0.078 t/n mile², 18.13 t/n mile², 2.76 t/n mile² and 0.769 t/n mile², respectively. The study showed that small pelagic fish exhibited higher resource densities in low-latitude waters, primarily at the confluence of the Kuroshio Current and Oyashio Current. Vertically, they were mostly concentrated in the 10–50 m water layer. The nautical area scattering coefficient in night was significantly higher than daytime ($P<0.001$). This research provides valuable scientific insights for sustainable development and management strategies for small pelagic fish resources in the Northwest Pacific Ocean.

Key words: small pelagic fish; spatiotemporal distribution; fishery acoustics; Northwest Pacific Ocean