



2019 年秋冬季南设得兰群岛南极磷虾集群时空分布特征

李 帅¹, 李灵智¹, 冯 超^{1,2}, 杨嘉樑¹,
张港琛^{1,2}, 饶 欣¹, 黄洪亮^{1*}

(1. 中国水产科学研究院东海水产研究所, 农业农村部远洋与极地渔业创新重点实验室, 上海 200090;

2. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306)

摘要: 为了进一步研究南设得兰群岛附近海域南极磷虾集群时空分布特征, 基于 2019 年秋冬季 (4—7 月) 中国南极磷虾生产渔船声学调查及商业捕捞数据, 从时空两个维度对南极磷虾集群中心深度、集群所处水深水温 and 集群形态进行了分析。结果显示, 南设得兰群岛附近海域南极磷虾集群中心深度、集群所处水深水温 and 集群形态存在明显的时空差异。平均集群中心深度在 4—7 月总体呈递增趋势 (变化范围为 34.39~86.12 m), 昼夜差异较小 ($P=0.325$), 峰值时段为日升阶段 (sun rising, SRS) (64.06 m) 和夜间 (night, NIT) (65.32 m); 平均集群中心深度低值区间为 62.75°~63.75°S 和 58.25°~59.75°W, 高值区间为 61.75°~62.25°S 和 60.25°~61.75°W。平均集群所处水深水温在 4—7 月总体呈递减趋势 (变化范围为 -1.71~-1.50 °C), 昼夜集群水温差异明显, 峰值时段为 NIT (夜间) (-1.46 °C) 和暮光 (evening twilight, ETW) (-1.4 °C); 平均集群所处水深水温低值区间为 62.75°~63.75°S 和 61.25°~61.75°W, 高值区间为 61.75°~62.25°S 和 58.25°~60.75°W。集群形态 4—5 月以水平带状为主 (73.98%, 100%), 6—7 月以散点状为主 (80.85%, 94.17%); 白天 (DAY)—下午 (afternoon, AFT) 时段, 集群形态以水平带状为主, 日落 (sunset, SST)—早晨 (morning, MRN) 时段, 集群形态以散点状为主。研究表明, 南设得兰群岛附近海域南极磷虾集群中心深度, 集群水温和集群形态存在明显的时空差异, 月间差异性大于昼夜差异性, 在空间变化上具有相对一致性。

关键词: 南极磷虾; 集群; 时空分布; 南设得兰群岛

中图分类号: S 931

文献标志码: A

南极磷虾, 通常是指南极大磷虾 (*Euphausia superba*), 其数量在南极海域占有绝对优势, 是南极渔业的主要捕捞对象^[1]。南极磷虾环南极分布在南大洋 50°S 以南海域, 多出现在极锋以南的南极表层水体中, 在陆架边缘、冰边缘和岛屿周围较为集中^[2-3]。南极磷虾存在某种形式的昼夜垂直移动现象, 且具有集群的生活习性。集群行为不仅影响着南极磷虾的生长, 对其种群的分布也有

重要的影响。南极磷虾是南大洋及南极洲生态系统的关键物种, 集群行为对南极洲鱼类等生物资源结构及南大洋生态系统均有着极为重要的影响, 研究南极磷虾的集群时空特征具有重要的意义。

Daly 等^[4]认为, 在较小的尺度上, 南极磷虾自身的行为决定了集群的形成和分布, 获得饵料和躲避捕食者也被认为是形成集群的两个主要因素。Nicol^[5]认为, 南极磷虾对物理、化学和生物

收稿日期: 2021-10-19 修回日期: 2022-01-14

资助项目: 山东省重点研发计划 (2019JZZY010819); 国家重点研发计划 (2018YFC1406803); 中国水产科学研究院基本科研业务费专项 (2021TD03)

第一作者: 李帅 (照片), 从事海洋渔业资源研究, E-mail: lishuai@ecsf.ac.cn

通信作者: 黄洪亮, 从事渔具渔法与渔业工程研究, E-mail: ecshhl@163.com



等不同环境因子具有不同的集群反应。Kawaguchi 等^[6]从光照条件分析了南极磷虾的集群行为, Ross 等^[7]则从集群规模角度分析了南极磷虾的集群行为。集群作为南极磷虾的固有特性, 对商业生产意义重大。本研究基于 2019 年秋冬季(4—7月)中国南极磷虾渔船声学调查数据及商业性捕捞数据, 从南极磷虾集群中心深度、集群所处水深水温及集群形态等 3 个方面分析了南设得兰群岛附近海域南极磷虾集群的时空特征, 以期进一步了解南设得兰群岛附近海域南极磷虾集群习性, 为南大洋生态系统及南极渔业资源研究提供信息。

1 材料与方法

本研究以 2019 年秋冬季(4—7)月南设得兰群岛海域中国南极磷虾渔船“龙腾”轮声学调查数据及渔捞日志数据为基础进行。“龙腾”轮长期从事南极磷虾捕捞生产, 配备有专业船载 SIMRAD EK60 声学探鱼设备, 船长 120.70 m, 船宽 19.0 m, 最大吃水深度为 12.22 m, 总吨位 7 765 t, 主机功率为 5 296 kW。2019 年 4—7 月, 利用船载垂直探鱼仪器及网位仪对南极磷虾集群中心深度、集群所处水层水温和集群形态进行了观测记录, 共设 21 个调查站位, 调查区域分布范围为 61.75°~63.75°S, 58.25°~61.75°W (图 1)。

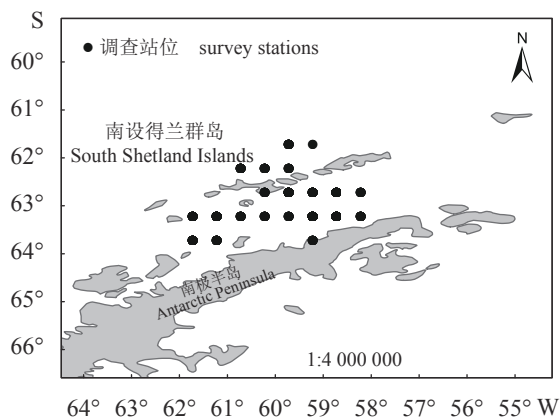


图 1 南极南设得兰群岛附近海域调查站位示意图
Fig. 1 Survey stations in the adjacent area around the South Shetland Islands, Antarctica

1.1 数据采集

渔业数据主要包括拖网时间和经纬度、集群中心深度、集群所处水深水温和集群形态。声学探鱼仪探测频率选择固定频率 120 kHz, 探测深度

范围为 0~200 m, 时间间隔为 25 min。集群中心深度为集群上限及下限深度的平均值, 即(集群水深上限+集群水深下限)/2, 单位精确为 1 m。集群所处水深水温为瞄准捕捞南极磷虾时船载无线网位仪探测的水层水温, 精度为 0.1 °C。南极磷虾集群形态分为水平带状、块状及散点状等 3 种形态, 分类依据参考朱国平等^[8]。

1.2 数据分析

为了分析南极磷虾集群时空分布特征, 利用单因素方差分析对调查海域不同时间和空间集群中心深度和集群所处水深水温进行显著性检验, 以 0.05 作为差异显著性水平。南极磷虾集群数据采集航线复杂, 为了从空间角度分析南设得兰群岛附近海域南极磷虾集群特征并考虑数据处理的方便性, 对调查海域按照经纬度 0.5°×0.5°的空间分辨率进行栅格化处理。

由于南极特殊的地理位置, 其昼夜变化存在明显的地域性特征, 根据 2019 年秋冬季“龙腾”轮作业时间和捕捞位置, 计算太阳中心与真地平之间的角度估算每日时段分布, 然后依 Watanabe 的估算方法将一天划分成 10 个时段^[9-10] (表 1)。

表 1 本研究中的时间段命名说明

Tab. 1 Specifications of time division in the study

| 中文表述 Chinese expression | 英文表述 English expression | 缩写 abbreviation |
|----------------------------|----------------------------|--------------------|
| 夜间 | night | NIT |
| 黎明 | dawn | DWN |
| 曙光 | morning twilight | MTW |
| 日升 | sun rising | SRS |
| 早晨 | morning | MRN |
| 白天 | day | DAY |
| 下午 | afternoon | AFT |
| 日落 | sunset | SST |
| 暮光 | evening twilight | ETW |
| 黄昏 | dusk | DSK |

2 结果

2.1 集群中心深度时空变化

对南设得兰群岛南极磷虾月间集群中心深度进行单因素方差分析, 结果发现, 月间集群中心深度差异显著 ($P < 0.05$)。4 月, 集群中心深度变化范围为 5~85 m, 平均值为 (34.39±18.66) m; 5 月, 集群中心深度变化范围为 12.5~185 m, 平均值为

(56.38±29.50) m; 6 月, 集群中心深度变化范围为 10~235 m, 平均值为 (86.12±50.96) m; 7 月, 集群中心深度变化范围为 22.5~225 m, 平均值为 (79.03±47.04) m。对南设得兰群岛南极磷虾昼夜不同时段集群中心深度进行单因素方差分析, 结果

显示, 昼夜不同时段集群中心深度差异不明显 ($P=0.325$), 南极磷虾平均中心深度以 SRS 和 NIT 时段为分界点, 出现两个峰值, 分别为 64.06 和 65.32 m; 在 MTW 和 AFT 时段达到最小值, 分别为 53.50 和 48.30 m (图 2)。

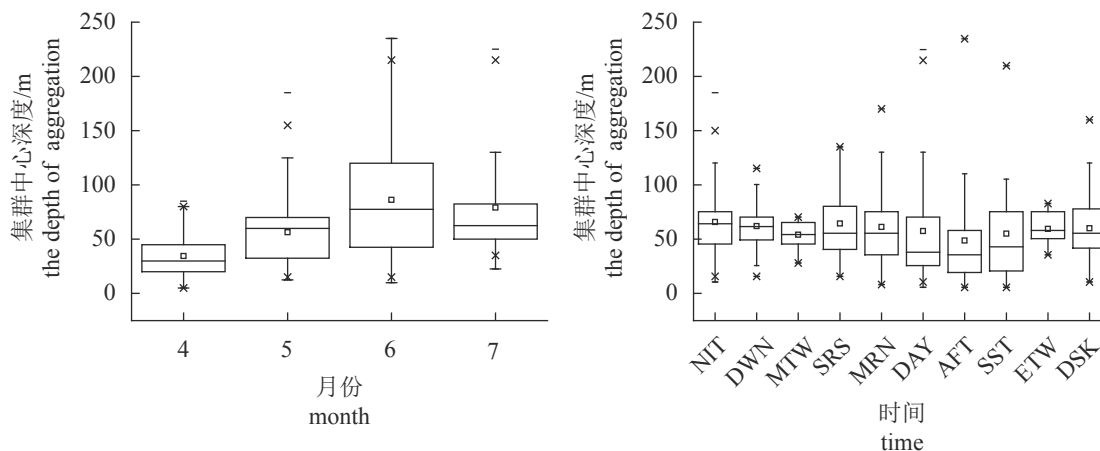


图 2 南极磷虾集群中心深度时间分布

x. 异常值, □. 均值, -. 最小值或最大值, 下同

Fig. 2 Depth of *E. superba* aggregations in different time

x. outliers, □. mean, -. minimum or maximum, the same below

对南设得兰群岛南极磷虾不同空间集群中心深度进行单因素方差分析, 结果表明集群中心深度空间差异显著 ($P<0.05$)。调查海域内, 从经向分布来看, 南极磷虾平均集群中心深度变化范围为 38.35~138.24 m, 最低值出现在 62.75°S, 最高值出现在 61.75°S; 从纬向分布来看, 南极磷虾平均集群中心深度变化范围为 38.77~97.52 m, 最低值出现在 58.25~58.75°W, 最高值出现在 60.25~60.75°W (图 3)。

2.2 集群所处水深水温时空变化

对南设得兰群岛南极磷虾月间集群所处水深水温进行单因素方差分析, 结果表明月间集群所处水深水温差异显著 ($P<0.05$)。4 月集群所处水深水温变化范围为 -2.4~-0.6 °C, 平均值为 (-1.50±0.68) °C; 5 月集群所处水深水温变化范围为 -2.2~-0.8 °C, 平均值为 (-1.67±0.46) °C; 6 月集群所处水深水温变化范围为 -2.4~-0.3 °C, 平均值为 (-1.56±0.85) °C; 7 月集群所处水深水温变化范围

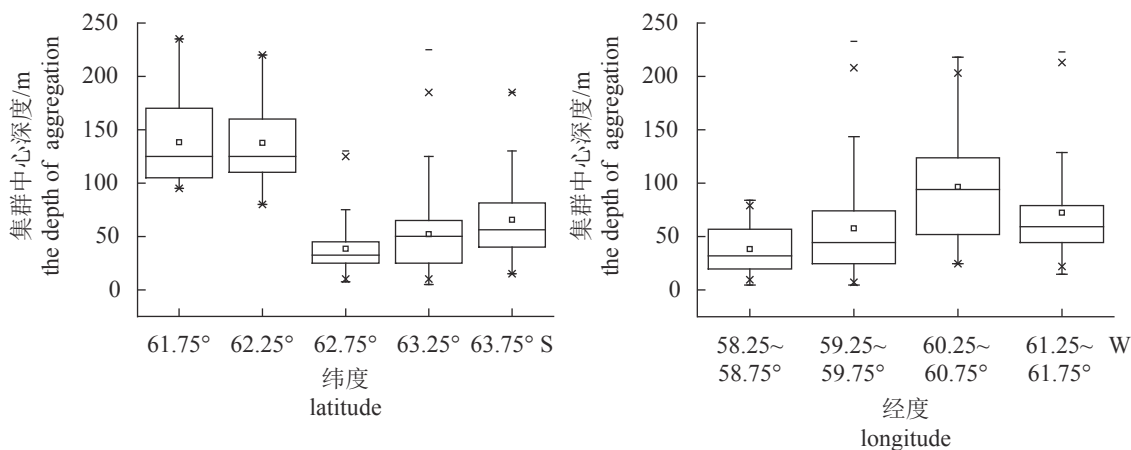


图 3 南极磷虾集群中心深度空间分布

Fig. 3 Spatial distribution in depth of *E. superba* aggregations

为 $-2.2\sim-0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，平均值为 $(-1.71\pm 0.30)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。对南设得兰群岛南极磷虾昼夜不同时段集群水温进行单因素方差分析，结果表明昼夜集群所处水深水温差异显著($P<0.05$)。集群所处水深水温变化范围为 $-2.4\sim-0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，最小值出现在 DAY、AFT 和

DSK 时段，最大值出现在 DAY 时段。平均集群所处水深水温在 NIT 和 ETW 时段出现峰值，分别为 -1.46 和 $-1.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；最低值出现在 DSK 和 SST 时段，分别为 $-1.72\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $-1.69\text{ }^{\circ}\text{C}$ (图 4)。

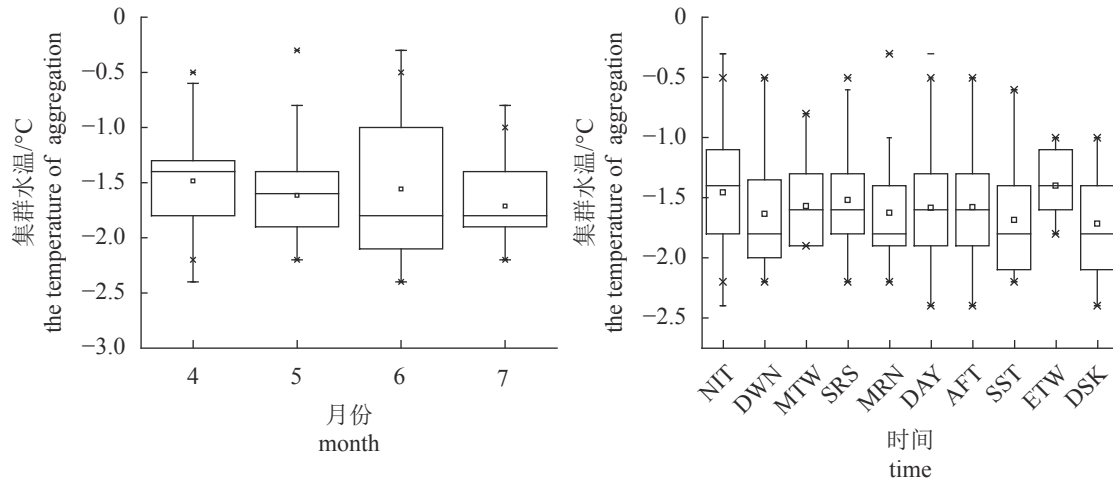


图 4 南极磷集群所处水深水温时间分布

Fig. 4 Temperature of *E. superba* aggregations at different time

对南设得兰群岛南极磷虾不同空间集群所处水深水温进行单因素方差分析，结果表明集群所处水深水温空间差异显著($P<0.05$)。调查海域内，从经向分布来看，南极磷虾平均集群所处水深水温变化范围为 $-1.80\sim-0.78\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，最低值出现在 63.75°S ，最高值出现在 62.25°S ；从纬向分布来看，南极磷虾集群所处水深水温平均值变化范围为 $-1.78\sim-1.40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，最低值出现在 $61.25^{\circ}\sim 61.75^{\circ}\text{W}$ ，最高值出现在 $60.25^{\circ}\sim 60.75^{\circ}\text{W}$ (图 5)。

2.3 集群形态时空变化

4—7 月，南设得兰群岛南极磷虾集群形态结果表明，不同月份的集群形态存在差异，但总体上以水平带状和散点状为主。4 月，水平带状比例为 73.98%，散点状比例为 26.02%；5 月，全部为水平带状，比例为 100%；6 月，水平带状比例为 19.15%，散点状比例为 80.85%；7 月，水平带状比例为 5.83%，分散状比例为 94.17%。南设得兰群岛不同时段集群形态差异显著，集群形态出现的比例顺序为散点状(59.98%)，水平带状(40.02%)。DAY—AFT 时段，集群形态以水平带状为主，比例均超过 50%。SST—MRN 时段，集群形态以散点状为主，比例均超过 50%(图 6)。

调查海域内，从经向分布来看，南极磷虾集

群形态在 62.75°S 区间以水平带状为主(70.93%)，在其他纬度区间均以散点状为主。 61.75°S 区间内散点状磷虾集群比例为 100%， 62.25°S 区间比例为 96.83%， 63.25°S 区间比例为 60.47%， 63.75°S 区间比例为 79.76%。从纬向分布来看， $58.25^{\circ}\sim 58.75^{\circ}\text{W}$ 区间南极磷虾集群形态以水平带状为主(63.1%)； $59.25^{\circ}\sim 59.75^{\circ}\text{W}$ 区间以散点状为主(54.77%)； $60.25^{\circ}\sim 60.75^{\circ}\text{W}$ 区间以散点状为主(94.17%)； $61.25^{\circ}\sim 61.75^{\circ}\text{W}$ 区间以散点状为主(87.97%)(图 7)。

3 讨论

3.1 集群中心深度时空分布特征

南极磷虾集群中心深度是研究其集群行为的重要因素，Nast^[11]和 Kalinowski^[12]认为，南极磷虾集群基本出现在 0~150 m 水层，但由于调查海域环境差异和调查方式不同，对南极磷虾集群中心深度的研究也有所差异。Cox 等^[13]通过 1997—1999 年南乔治亚岛夏季声学调查数据分析，认为南极磷虾集群的平均深度为 87.77 m。Tarling 等^[14]则认为南极磷虾集群的平均深度为 43.18 m，平均厚度为 6.87 m。但 Ross 等^[7]认为南极磷虾集群的规模较为稳定，其平均长度大多为 100 m，平均厚度大多为 15 m。但一些学者则认为南极磷

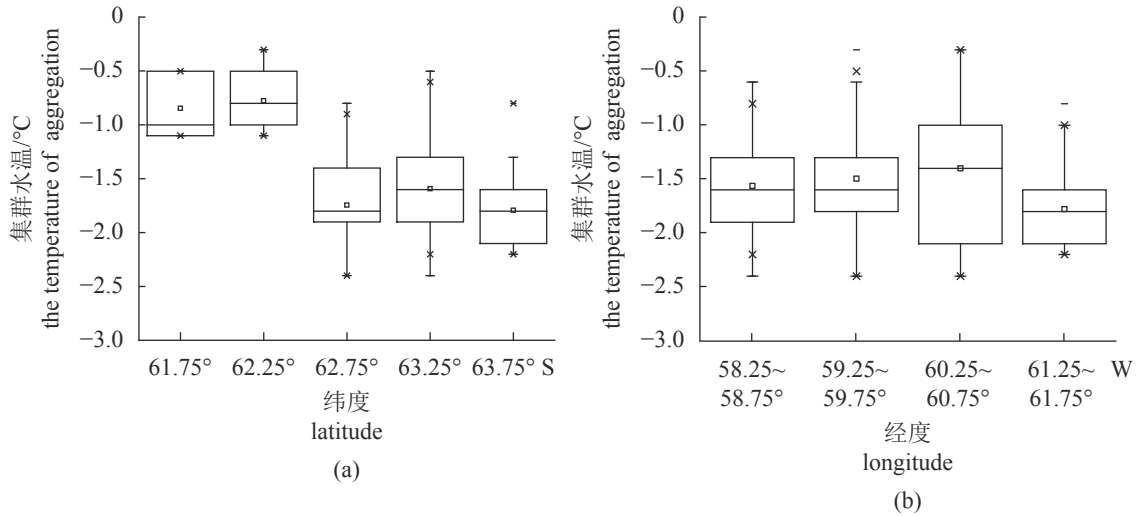


图 5 南极磷虾集群所处水深水温随纬度 (a) 和经度 (b) 的变化

Fig. 5 Variability in temperature at the depth of *E. superba* aggregations with latitude (a) and longitude (b)

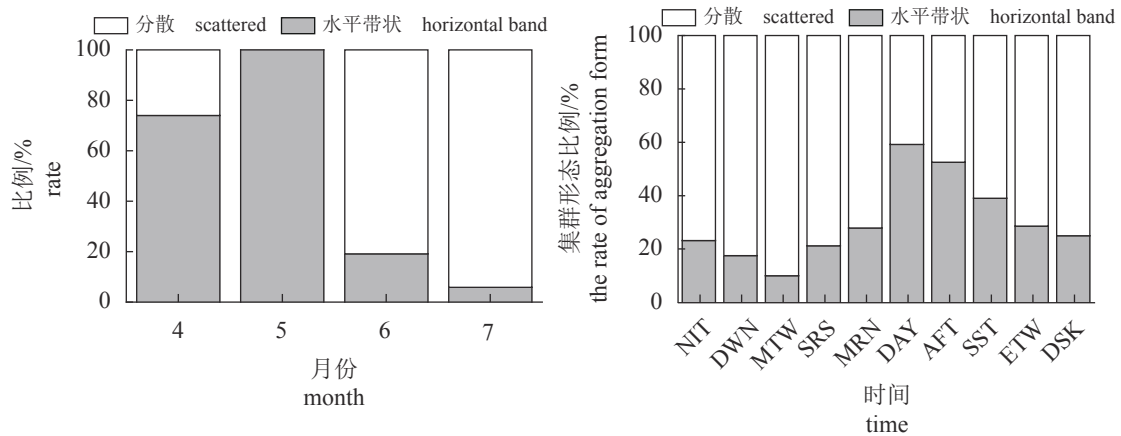


图 6 南极磷虾集群形态时间分布

Fig. 6 Form of *E. superba* aggregations at different time

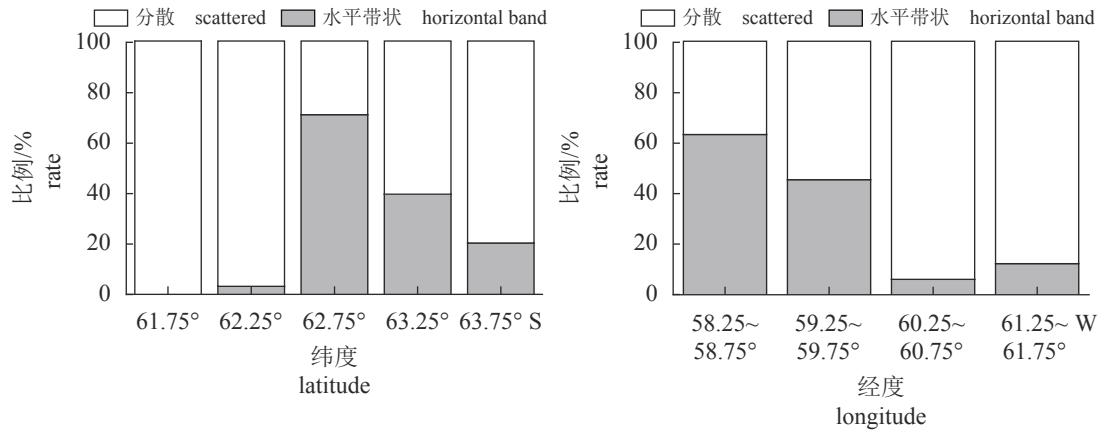


图 7 南极磷虾集群形态空间分布

Fig. 7 Spatial distribution of *E. superba* aggregations form

虾不同集群形态的深度有所不同,朱国平等^[9]利用商业捕捞数据分析了南极磷虾不同水层的集群形态,认为散点状、块状和带状磷虾集群在0~50 m水层,出现比例最高,且块状和带状磷虾集群在各水层中的分布极为相似。目前,国内对南极磷虾集群中心深度的时空分布特征研究较少,仅朱国平等^[8]对2011年夏秋季南奥克尼群岛水域南极磷虾集群时空分布进行了研究。本研究从时空两个维度对南极磷虾集群中心深度进行了分析,结果发现,南设得兰群岛附近海域南极磷虾集群中心深度存在明显的月间差异。4—6月,南设得兰群岛附近海域南极磷虾平均集群中心深度持续增加,6月达到最大深度86.12 m,至7月又下降为79.03 m,但仍高于4—5月。4—7月,平均集群中心深度总体上随着时间推移呈递增趋势。本研究得出的南极磷虾集群中心深度与朱国平等^[8]的研究结果较为相近,南极磷虾集群中心深度的月间变化可能与其自身特性和海洋环境因素有关。

朱国平等^[15]采用声学方法对南极海域布兰斯菲尔德海峡南极磷虾的昼夜垂直移动规律及影响因素进行了研究,认为随着月份的推移,磷虾群平均深度总体呈现出加深的趋势,并分析得出光强和海底深度是影响磷虾群深度变化的两个主要因素。南极磷虾有集群的习性,且有不同程度的垂直移动特性^[16]。本研究对南极磷虾昼夜集群中心深度进行了分析,结果表明南极磷虾平均集群中心深度差异较小。集群中心深度以SRS和NIT时段为分界点,达到一天中的最高值,分别为64.06和65.32 m。SRS—AFT时段,南极磷虾集群中心深度逐渐变小。AFT—NIT时段,南极磷虾集群中心深度逐渐增加,达到最大值。NIT—MTW时段,集群中心深度逐渐降至最低值。MTW—SRS时段,集群中心深度逐渐增加达到一天中最高值。南极磷虾集群中心深度的昼夜变化可能与其自身昼夜节律有关,但也可能与适应光照条件和摄食条件变化有关^[17-19]。值得注意的是,南极磷虾集群中心深度昼夜差异较小,一定程度上能够说明在此次调查时间内,其集群深度相对稳定,这可能与调查海域水深和捕捞行为有关。Kalinowski^[12]在南乔治亚岛外海发现,白天磷虾聚集在约50 m,而夜间则遍布于150 m以浅水层。本研究结果与其基本相近。但朱国平等^[15]通过研究2016年秋季布兰斯菲尔德海峡南极磷虾集群昼夜垂直移动特征认为,白天磷虾集群多集中在较深水层,夜间

会上浮到较浅水层,这可能与调查海域环境要素和调查时间差异有关。

本研究从经向和纬向对南设得兰群岛附近海域南极磷虾集群中心深度进行了分析,从经向分布来看,61.75°~62.25°S (138.24和137.55 m)区间集群中心深度明显大于62.75°~63.75°S (38.35、52.07和65.48 m)区间;从纬向分布来看,60.25°~61.75°W (97.52和73.1 m)区间集群中心深度明显大于58.25°~59.75°W (38.77和58.47 m)区间。朱国平等^[19]利用海上渔业调查数据分析得出,南奥克尼群岛水域磷虾集群主要出现在60°00'~60°30' S, 46°30'~47°30' W,本研究结果中纬度分布与其相近。南极磷虾集群中心深度高纬度小于低纬度地区,可能与南极磷虾的摄食与海冰分布有关。Zhou等^[20]认为,集群和垂直迁移行为应与当地的捕食者及冰层覆盖面积有一定关系,冰层覆盖区有较多的摄食保障,并为南极磷虾提供避害屏障。这也在一定程度上解释了南极磷虾集群中心深度高纬度小于低纬度地区。

3.2 集群所处水深水温时空分布特征

温度条件是影响南极磷虾分布的重要因素,杨文杰等^[21]进行了南极磷虾的适温效应试验,李帅等^[22]则通过暂养实验分析南极磷虾对温度的适应性。朱国平等^[19]利用渔业调查数据和卫星水温数据对南极磷虾时空分布及其与表温之间的关系进行了分析。本研究通过对南设得兰群岛不同月间和昼夜不同时段南极磷虾集群所处水深水温进行分析,结果表明集群所处水深水温存在明显的月间和昼夜差异性($P<0.05$)。南极磷虾平均集群所处水深水温总体上随时间推移呈逐渐降低趋势,这种变化趋势可能与南极所处季节有关。朱国平等^[19]对夏季南奥克尼群岛西部水域南极磷虾资源时空分布及其与表温之间的关系进行了研究,认为磷虾群主要出现在表温为1.4~1.5 °C或表温距平-0.1~-0.2 °C范围内,而表温在1.2 °C或表温距平在-0.2 °C以下时,磷虾群出现的概率较低。南极磷虾昼夜垂直移动习性与其环境变化有紧密的关系,本研究中南极磷虾聚集时的水温在MTW—SST时段,温度变化较小,而在SST—MTW时段,集群所处水深水温变化较大,这可能与南极磷虾集群深度有关。

本研究从经向和纬向对南设得兰群岛附近海域南极磷虾集群所处水深水温进行了分析,从经

向分布来看, 61.75°~62.25°S (-0.84 和 -0.78 °C) 区间集群所处水深水温明显高于 62.75°~63.75°S (-1.74、-1.59 和 -1.80 °C) 区间; 从纬向分布来看, 58.25°~60.75°W (-1.56、-1.50 和 -1.40 °C) 区间集群所处水深水温明显高于 61.25°~61.75°W (-1.78 °C) 区间。目前对于集群所处水深水温的空间变化特征, 多为分析海域表温与南极磷虾集群的相关关系, 阮超等^[23] 基于渔业数据, 分析了 2010—2014 年南设得兰群岛附近海域南极磷虾渔场时空分布及其与表温的关系, 分析结果认为, 南设得兰群岛的东北部海域 (61°~64°S、58°~60°W) 南极磷虾渔场较为集中, 本研究结果与其较为相近。

3.3 集群形态时空分布特征

集群形态是研究南极磷虾集群的重要方面, 朱国平等^[24] 利用渔业数据对南设得兰群岛海域的南极磷虾集群类型进行了相关研究。樊伟等^[25] 认为, 南大洋磷虾集群类型、规模以及分布具有显著的季节和年际变化。本研究发现, 南极磷虾集群形态存在明显的时空差异。就时间差异而言, 南极磷虾集群形态存在较为明显的月间变化和昼夜变化。4—7 月南极磷虾集群形态差异显著, 集群形态为分散集群和水平带状集群。水平带状在 4—7 月均有分布, 所占比例 5 月最高, 7 月最低。分散状比例在 5 月无分布, 7 月所占比例明显高于其他月份。南设得兰群岛附近海域南极磷虾集群形态存在较为明显的昼夜变化, 在 DAY—AFT 时段, 集群形态以水平带状为主, 比例均超过 50%。SST—MRN 时段, 集群形态以分散状为主, 比例均超过 50%, 分散状集群则表现出时间上的连续性特征。朱国平等^[24] 认为, 块状小型集群的时空分布较广, 夜间与白天均占有较高比例 (>30%), 小型集群更易出现在白天, 而大型集群则更多出现在深夜。由于集群类型划分的差异性, 及调查时间的不同, 研究结果具有一定的差异。研究显示, 磷虾集群类型存在着多种形式, 迄今为止, 对南极磷虾集群结构因为划分方法不同而有所差异^[26]。朱国平等^[15] 根据 2016 年 3—4 月调查数据分析认为, 南极磷虾具有集群的习性, 南极磷虾集群模式与其昼夜垂直移动有着密切的关系, 这在本研究中也得到一定的印证。

就空间分布而言, 调查海域内, 从经向分布来看, 南极磷虾集群形态在 62.75°S 区间以水平带状为主 (70.93%), 在其他纬度上均以分散状为主。

从纬向分布来看, 南极磷虾集群形态在 58.25°~58.75°W 区间以水平带状为主 (63.1%), 在 59.25°~61.75°W 区间则以分散状为主 (>50%), 万树杰等^[27] 以磷虾集群作为对象, 利用地理统计学方法分析并探讨了不同尺度下南极磷虾资源丰度的空间异质性特征。朱国平等^[24] 认为布兰斯菲尔德海峡的磷虾分布密度明显高于周围水域。Ichii 等^[28] 提出, 海洋中环流、地形条件、摄食条件以及产卵环境等均会影响南极磷虾的分布。在今后的研究中, 对于南设得兰群岛附近海域南极磷虾集群的影响因素, 需要结合多种环境因子和南极磷虾自身特性进行研究。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

参考文献 (References):

- [1] Nicol S, Endo Y. Krill fisheries: development, management and ecosystem implications[J]. *Aquatic Living Resources*, 1999, 12(2): 105-120.
- [2] 戴立峰, 张胜茂, 樊伟. 南极磷虾资源丰度变化与海冰和表温的关系[J]. *极地研究*, 2012, 24(4): 352-360.
Dai L F, Zhang S M, Fan W. The abundance index of Antarctic krill and its relationship to sea ice and sea surface temperature[J]. *Chinese Journal of Polar Research*, 2012, 24(4): 352-360 (in Chinese).
- [3] Trathan P N, Brierley A S, Brandon M A, et al. Oceanographic variability and changes in Antarctic krill (*Euphausia superba*) abundance at South Georgia[J]. *Fisheries Oceanography*, 2003, 12(6): 569-583.
- [4] Daly K L, Macaulay M C. Influence of physical and biological mesoscale dynamics on the seasonal distribution and behavior of *Euphausia superba* in the Antarctic marginal ice zone[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1991, 79: 37-66.
- [5] Nicol S. Krill and currents-physical and biological interactions influencing the distribution of *Euphausia superba*[J]. *Ocean and Polar Research*, 2003, 25(4): 633-644.
- [6] Kawaguchi S, Candy S G, King R, et al. Modelling growth of Antarctic krill. I. Growth trends with sex, length, season, and region[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2006, 306: 1-15.
- [7] Ross R M, Quetin L B, Lascara C M. Distribution of Antarctic krill and dominant zooplankton west of the

- Antarctic Peninsula[M]//Ross R M, Hofmann E E, Quetin L B. Foundations for ecological research west of the Antarctic Peninsula. Washington: American Geophysical Union, 1996: 199-217.
- [8] 朱国平, 朱小艳, 夏辉, 等. 2011年夏秋季南奥克尼群岛水域南极磷虾集群时空分布[J]. 生态学杂志, 2013, 32(4): 912-919.
Zhu G P, Zhu X Y, Xia H, *et al.* Spatiotemporal distribution patterns of Antarctic krill aggregations around the South Orkney Islands in austral summer-autumn 2011[J]. Chinese Journal of Ecology, 2013, 32(4): 912-919 (in Chinese).
- [9] 朱国平, 王芮, 朱小艳, 等. 2013年冬季南乔治亚岛南极磷虾群昼夜垂直移动研究[J]. 水产学报, 2015, 39(8): 1242-1249.
Zhu G P, Wang R, Zhu X Y, *et al.* Diel vertical migration of Antarctic krill aggregation in South Georgia Island in the austral winter season of 2013[J]. Journal of Fisheries of China, 2015, 39(8): 1242-1249 (in Chinese).
- [10] Watanabe Y. A set of brightness categories for examining diel change of catch efficiency of saury larvae and juveniles by a neuston net[J]. Bulletin of Japanese Society of Fisheries Oceanography, 1990, 54(3): 237-241.
- [11] Nast F. The vertical distribution of larval and adult krill (*Euphausia superba*) on a time station south of Elephant Island, South Shetlands[J]. Meeresforschung, 1979, 27: 103-118.
- [12] Kalinowski J. Vertical migration of krill in the region of South Georgia, February-March 1976[J]. Polish Archives of Hydrobiology, 1978, 25(3): 573-583.
- [13] Cox M J, Watkins J L, Reid K, *et al.* Spatial and temporal variability in the structure of aggregations of Antarctic krill (*Euphausia superba*) around South Georgia, 1997-1999[J]. ICES Journal of Marine Science, 2011, 68(3): 489-498.
- [14] Tarling G A, Klevjer T, Fielding S, *et al.* Variability and predictability of Antarctic krill swarm structure[J]. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 2009, 56(11): 1994-2012.
- [15] 朱国平, 杨洋, 王芮, 等. 采用声学方法研究2016年秋季布兰斯菲尔德海峡南极磷虾群昼夜垂直移动特征及其影响因素[J]. 水产学报, 2018, 42(10): 1541-1549.
Zhu G P, Yang Y, Wang R, *et al.* Diel vertical migration of Antarctic krill (*Euphausia superba*) swarm in the Bransfield Strait during austral autumn 2016 inferred from acoustic data and its relations to environmental factors[J]. Journal of Fisheries of China, 2018, 42(10): 1541-1549 (in Chinese).
- [16] Mauchline J. The biology of mysids and euphausiids[J]. Advances in Marine Biology, 1980, 18(1): 1-681.
- [17] Godlewska M. Vertical migrations of krill (*Euphausia superba* Dana)[J]. Polskie Archiwum Hydrobiologii, 1996, 43(1): 9-63.
- [18] Gatén E, Tarling G, Dowse H, *et al.* Is vertical migration in Antarctic krill (*Euphausia superba*) influenced by an underlying circadian rhythm?[J]. Journal of Genetics, 2008, 87(5): 473-483.
- [19] 朱国平, 冯春雷, 吴强, 等. 夏季南奥克尼群岛西部水域南极磷虾资源时空分布及其与表温之间的关系[J]. 海洋环境科学, 2011, 30(5): 636-639.
Zhu G P, Feng C L, Wu Q, *et al.* Spatial-temporal distribution of *Euphausia superba* in western Southern Orkney Islands and relation to sea surface temperature in austral summer fishing season[J]. Marine Environmental Science, 2011, 30(5): 636-639 (in Chinese).
- [20] Zhou M, Dorland R D. Aggregation and vertical migration behavior of *Euphausia superba*[J]. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 2004, 51(17-19): 2119-2137.
- [21] 杨文杰, 朱国平, 胡桂森, 等. 南极磷虾的适温效应试验[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(2): 235-238.
Yang W J, Zhu G P, Hu G S, *et al.* Experiment on optimum temperature effect of Antarctic krill[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2015, 43(2): 235-238 (in Chinese).
- [22] 李帅, 邱盛尧, 黄洪亮, 等. 人工条件下温度变化对南极大磷虾个体腹足摆动和生存状态的影响[J]. 海洋渔业, 2020, 42(3): 304-314.
Li S, Qiu S Y, Huang H L, *et al.* Effect of temperature variations on pleopod wiggling and survival state of *Euphausia superba* individuals under artificial conditions[J]. Marine Fisheries, 2020, 42(3): 304-314 (in Chinese).
- [23] 阮超, 张衡, 崔雪森, 等. 南设得兰群岛附近海域南极磷虾渔场时空分布及其与表温的关系[J]. 生态学杂志, 2016, 35(9): 2435-2441.
Ruan C, Zhang H, Cui X S, *et al.* Spatial-temporal distribution of Antarctic krill fishing ground and their rela-

- tionship with sea surface temperature in waters around the South Shetland Islands[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2016, 35(9): 2435-2441 (in Chinese).
- [24] 朱国平, 李慧婷, 李焯, 等. 2018年夏秋季南设得兰群岛周边水域南极磷虾集群类型及其影响因素[J]. *生态学杂志*, 2020, 39(4): 1265-1272.
- Zhu G P, Li H T, Li Y, *et al.* Antarctic krill (*Euphausia superba*) aggregation types and affecting factors around the South Shetland Islands, Antarctic during austral summer-autumn 2018[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2020, 39(4): 1265-1272 (in Chinese).
- [25] 樊伟, 伍玉梅, 陈雪忠, 等. 南极磷虾的时空分布及遥感环境监测研究进展[J]. *海洋渔业*, 2010, 32(1): 95-101.
- Fan W, Wu Y M, Chen X Z, *et al.* Progress in spatio-temporal distribution of Antarctic krill and environment survey of remote sensing[J]. *Marine Fisheries*, 2010, 32(1): 95-101 (in Chinese).
- [26] Watkins J L, Murray A W A. Layers of Antarctic krill, *Euphausia superba*: are they just long krill swarms?[J]. *Marine Biology*, 1998, 131(2): 237-247.
- [27] 万树杰, 朱国平. 2018年夏季南奥克尼群岛南极磷虾资源丰度多尺度空间异质性[J]. *水产学报*, 2021, 45(5): 716-725.
- Wan S J, Zhu G P. Multi-scale analysis on spatial heterogeneity for abundance of Antarctica krill (*Euphausia superba*) in the South Orkney Islands in summer 2018[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2021, 45(5): 716-725 (in Chinese).
- [28] Ichii T, Katayama K, Obitsu N, *et al.* Occurrence of Antarctic krill (*Euphausia superba*) concentrations in the vicinity of the South Shetland Islands: relationship to environmental parameters[J]. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 1998, 45(8): 1235-1262.

Temporal and spatial distribution characteristics of Antarctic krill (*Euphausia superba*) aggregations in South Shetland Islands in autumn and winter of 2019

LI Shuai¹, LI Lingzhi¹, FENG Chao^{1,2}, YANG Jialiang¹,
ZHANG Gangchen^{1,2}, RAO Xin¹, HUANG Hongliang^{1*}

(1. Key Laboratory of Oceanic and Polar Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs,
East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China;

2. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: To further study the temporal and spatial distribution characteristics of Antarctic krill (*Euphausia superba*) aggregations in the waters near the South Shetland Islands, based on the acoustic surveys of Chinese *E. superba* production fishing vessels and commercial fishing data in the 2018/2019 fishing seasons, the center depth, water temperature and morphology of *E. superba* aggregations were analyzed. The results showed that there were significant temporal and spatial differences in the depth of *E. superba* aggregations center, the temperature at the depth of Antarctic krill aggregations and aggregations morphology in the waters near the South Shetland Islands ($P < 0.05$). The average aggregations center depth, whose variation range was 34.39 to 86.12 m, showed an increasing trend from April to July, the difference between day and night was small ($P = 0.325$), and the peak periods were sun rising (SRS) and night (NIT), which were 64.06 and 65.32 m respectively. The low value range of average aggregations center depth was 62.75°–63.75°S and 58.25°–59.75°W, and the high value range was 61.75°–62.25°S and 60.25°–61.75°W. The average temperature at the depth of *E. superba* aggregations, whose variation range was -1.71 to -1.50 °C, showed a decreasing trend from April to July. The peak period was NIT and evening twilight (ETW), which were -1.46 °C and -1.40 °C respectively. The low value range of average aggregations water temperature was 62.75°–63.75°S and 61.25°–61.75°W, and the high value range was 61.75°–62.25°S and 58.25°–60.75°W. The cluster shape was mainly stripped from April to May and scattered from June to July. The cluster shape was mainly horizontal band from day to afternoon (AFT), and the cluster shape was mainly scattered from sunset (SST) to morning (MRN). The results showed that there were obvious temporal and spatial differences in the depth of *E. superba* cluster center, cluster water temperature and cluster shape in the waters near the South Shetland Islands. The difference between months was greater than that between day and night, and had relative consistency in spatial variation.

Key words: *Euphausia superba*; aggregation; temporal and spatial distribution; South Shetland Islands

Corresponding author: HUANG Hongliang. E-mail: ecshhl@163.com

Funding projects: Shandong Province Key R & D Program Project (2019JZZY010819); National Key R & D Program (2018YFC1406803); Funded Project for Fundamental Scientific Research Business Expenses of Chinese Academy of Fishery Sciences (2021TD03)