

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2020.19346

## 南奥克尼群岛海域南极磷虾昼夜集群及生物学特征

李帅<sup>1,2</sup>, 邱盛尧<sup>1</sup>, 黄洪亮<sup>2</sup>, 杨嘉樑<sup>2</sup>, 李灵智<sup>2</sup>

1. 烟台大学海洋学院, 山东 烟台 264005;

2. 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

**摘要:** 南极磷虾(*Euphausia superba*)存在昼夜垂直移动现象, 且具有集群特征。本研究从虾群形态特征及生物学角度对南奥克尼群岛海域南极磷虾昼夜垂直移动习性及其集群特征进行研究。结果表明, 水平带状虾群在各时段呈主导性分布, 但在各时段比例差异显著, 曙光到黄昏时段, 水平带状虾群比例存在先降后升的变化过程, 在白天时段降到最低值, 为 65%; 黄昏到曙光时段, 水平带状虾群比例高且稳定。球状虾群保持着较为稳定的时间间隔, 分散状虾群表现出在日升到白天时间段的连续性特征。南极磷虾虾群中心深度在不同时段具有较大差异, 曙光和暮光时段是平均虾群中心深度的分界点; 南极磷虾不同虾群形态中心深度也具有差异性, 球状虾群平均虾群中心深度最大, 分散虾群次之, 水平带状虾群最小。不同时间段内虾群水温呈波动变化状态, 变化范围为-1.6~1.3 °C, 最小值出现在暮光时段, 最大值出现在夜间时段; 虾群水温和虾群中心深度呈显著的负相关关系。南极磷虾体长在不同时段存在明显差异( $P < 0.001$ ), 各时段优势体长组差异明显, 白天到下午时段优势体长组要明显高于其他时段优势体长组。

**关键词:** 南极磷虾; 时段; 虾群形态; 虾群中心深度; 虾群水温; 体长

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2020)06-0720-07

南极磷虾(*Euphausia superba*)又名大磷虾或南极大磷虾, 是地球上数量最多, 繁衍最成功的单种生物资源之一。南极磷虾多生活在南大洋 50°S 以南水域, 呈环南极分布, 主要分布在极锋以南的南极表层水体中, 密集区常出现于大陆架边缘、冰边缘及岛屿周围, 其分布也因季节和成熟阶段的不同有较大的差异<sup>[1-5]</sup>。南极磷虾存在某种形式的昼夜垂直移动现象, 且存在集群特征, 这可能与南极磷虾的索饵与抵御敌害机制有关<sup>[6-10]</sup>。研究南极磷虾集群规律对掌握其分布特征、阐明南极磷虾渔场的形成机制和资源开发利用具有重要的意义。由于南极磷虾处于南极洲及南大洋生态系统关键位置, 其生存条件的区域性及磷虾个体特殊的生活节律和脆弱性, 加之受海冰、强风、海浪、洋流等特殊海况的影响, 人工条件下难以

模拟其生活环境及集群状态, 这给南极磷虾集群规律的研究带来了很大困难。国内外学者多基于南极磷虾专业捕捞船载声学数据及 CPUE 分析研究南极磷虾的集群特征<sup>[11-14]</sup>, 但从生物学角度分析南极磷虾集群特征的研究较少。本研究基于 2018—2019 年渔季中国南极磷虾生产渔船的船载 SIMRAD EK60 声学设备, 获取南极磷虾虾群形态特征, 并分析南极磷虾集群行为和不同时段南极磷虾的生物学特征, 以期对南奥克尼群岛海域南极磷虾昼夜垂直移动习性进行研究, 并了解环境条件对南极磷虾昼夜集群规律的影响。

### 1 材料与方法

本研究以 2018—2019 年渔季南奥克尼群岛海域中国南极磷虾捕捞船“龙腾”轮声学调查数据

收稿日期: 2019-12-12; 修订日期: 2020-02-21.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC1406803).

作者简介: 李帅(1994-), 男, 硕士研究生, 主要从事海洋渔业资源研究. E-mail: lishuai@126.com

通信作者: 黄洪亮, 男, 研究员, 主要渔具渔法和远洋与极地渔业资源开发利用研究. E-mail: ecshhl@163.com

及商业性捕捞数据为基础进行研究(调查海域北至 60°08'08"S, 南至 60°30'00"S, 西至 46°51'07"W, 东至 45°12'09"W)。“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 7765 t, 主机功率为 5296 kW。在 2019 年 2 月 28 日至 2019 年 3 月 26 日期间, 利用船载垂直探鱼仪器及网位仪对南极磷虾虾群形态、虾群水温和虾群中心深度进行分时段观察, 并进行南极磷虾生物样品采样(图 1)。

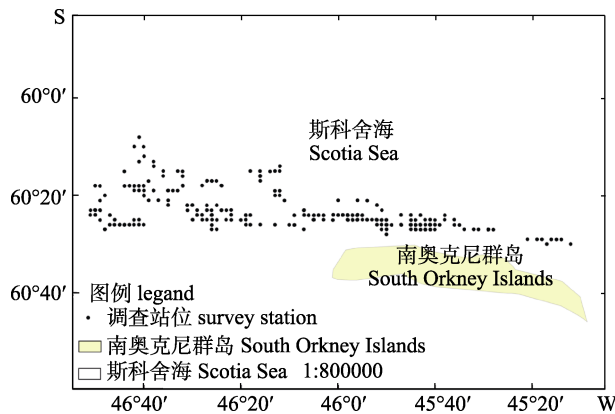


图 1 南奥克尼群岛附近海域调查站点示意图

Fig. 1 The transection survey stations in the adjacent sea area around South Orkney Islands

## 1.1 数据采集

**1.1.1 虾群数据** 南极磷虾虾群相关数据依据 2018/19 渔季“龙腾”轮生产数据获得, 主要包括拖网时间、虾群形态、虾群水温和虾群中心深度。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。南极磷虾虾群形态分为水平带状、球状及分散 3 种形态。虾群水温为瞄准捕捞南极磷虾时船载无线网位仪探测的位置层水温, 精度为 0.1 °C。虾群中心深度为根据虾群上限及下限深度的平均值, 即: (虾群水深上限+虾群水深下限)/2, 单位精确至 1 m。

**1.1.2 生物学数据** 为了从生物学角度分析南极磷虾昼夜垂直移动习性, 判断不同时段南极磷虾生物学特征, 对南极磷虾进行分时段样品采集, 每次取样  $\geq 200$  尾, 磷虾样品采用 -80 °C 冷冻保存。对所有采集样品进行了体长测定, 测量工具

为电子游标卡尺, 测量精度为 0.01 mm, 样品在中国水产科学研究院东海水产研究所农业部远洋与极地渔业创新重点实验室进行处理。

## 1.2 数据处理

**1.2.1 虾群形态及相关环境数据分析** 运用 Excel 软件对不同时段南极磷虾虾群形态、虾群中心深度和虾群水温进行处理, 并通过 OriginLab OriginPro 8.5 制作虾群中心深度、虾群水温箱式图及不同时段虾群形态分布图。利用 SPSS Statistics 22 对虾群中心深度和虾群水温进行 Bivariate 相关性检验,  $P < 0.05$  认为显著相关。

**1.2.2 体长组分析** 南极磷虾体长以 2 mm 为组距, 通过 OriginLab OriginPro 8.5 制作体长分布图, 并利用 SPSS Statistics 22 对不同时段南极磷虾体长进行单因素 ANOVA 分析, 以 0.001 作为差异显著水平,

**1.2.3 时段设定** 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 2018/19 渔季“龙腾”轮渔捞日志记录的时间和捕捞位置, 通过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<sup>[15-16]</sup>(表 1)。

表 1 本研究中的时间段命名说明

Tab. 1 Instructions 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 结果与分析

### 2.1 虾群形态时间分布

通过观察南奥克尼群岛不同时段虾群形态, 分析南极磷虾虾群的时间特征。结果表明, 在所

有观察网次中, 虾群形态出现比例和主导顺序为水平带状(80%)、分散形态(17%)和球状虾群(3%)。在观察时段中, 虾群形态均以水平带状为主, 比例均超过 50%。在 DWN、MTW、AFT 和 DSK 时段, 虾群形态均为水平带状, 在 DAY 时段, 水平带状虾群比例最低, 占 65%。在所有观察时段中, 球状虾群出现频率最低, 仅 NIT、MRN 和 ETW 3 个时段出现, 占比分别为 7%、8%和 14%。分散虾群出现时段较为集中且连续, 多出现在 NIT、SRS、MRN、DAY 和 SST 时段, 在白天比例最高, 为 35%(图 2)。

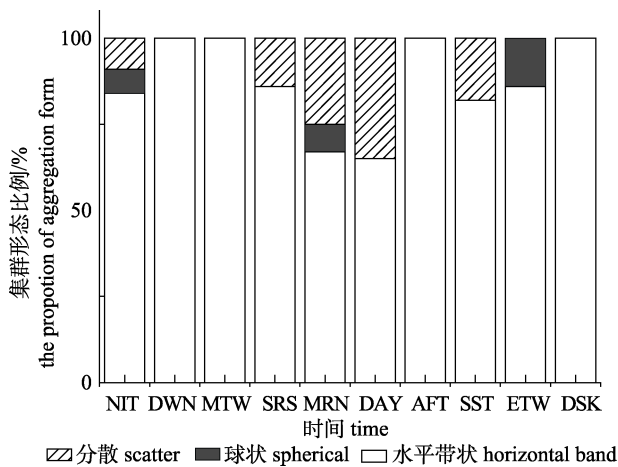


图 2 南奥克尼群岛附近海域南极磷虾虾群形态时间分布  
时间段名称缩写见表 1。

Fig. 2 Form of Antarctic krill aggregations in different time in the adjacent sea area near South Orkney Islands  
The abbreviations of the time division are shown in table 1.

## 2.2 虾群中心深度变化

对南极磷虾虾群中心深度随时间的变化进行了分析, 分析结果表明, 虾群中心深度范围为 5~144.5 m, 最小虾群中心深度出现在 NIT 时段, 最大虾群中心深度出现在 DSK 时段。平均中心深度以 MTW 和 ETW 时段为分界点, 出现两个峰值, 分别为 54.63 m 和 47.75 m; 在 SST 时段达到最小值, 为 33.23 m (图 3)。

## 2.3 虾群水温变化

对不同时间段虾群水温进行分析, 结果表明, 虾群水温变化范围为 -1.6~1.3 °C, 虾群水温最低值出现在 ETW 时段, 最大值出现在 NIT 时段。平均虾群水温在 MTW、MRN 和 SST 时段出现峰值,

分别为 0.32 °C、0.32 °C 和 0.28 °C; 平均虾群水温最低值出现在 SRS 时段, 为 0.04 °C (图 4)。

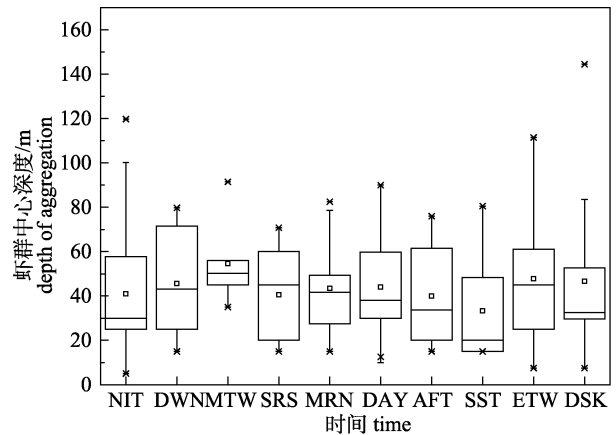


图 3 南奥克尼群岛附近海域南极磷虾  
虾群中心深度时间分布  
时间段名称缩写见表 1。

Fig. 3 The depth of Antarctic krill aggregations in different time in the adjacent sea area near South Orkney Islands  
The abbreviations of the time division are shown in table 1.

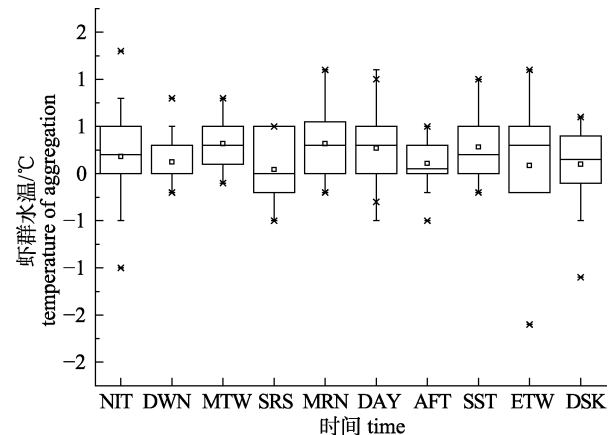


图 4 南奥克尼群岛附近海域南极磷虾群水温时间分布  
时间段名称缩写见表 1。

Fig. 4 The temperature of Antarctic krill aggregations in different time in the adjacent sea area near South Orkney Islands  
The abbreviations of the time division are shown in table 1.

## 2.4 虾群形态中心深度差异

对南奥克尼群岛南极磷虾不同虾群中心深度进行分析, 球状虾群平均虾群中心深度最大, 分散虾群次之, 水平带状虾群最小。球状虾群平均虾群中心深度变化范围为 25~119.75 m, 平均值为 58.53 m; 分散虾群平均虾群中心深度变化范围为 15~100.25 m, 平均值为 56.44 m; 水平带状虾群平均虾群中心深度变化范围为 5~144.5 m, 平均值为 39.35 m (图 5)。

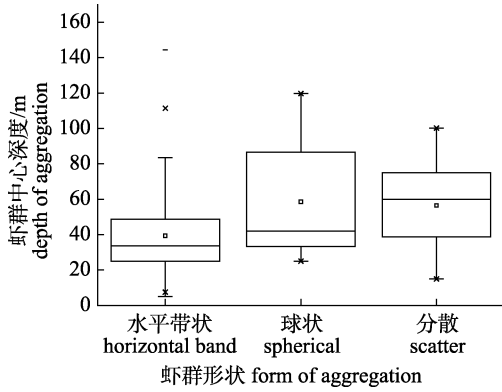


图 5 南奥克尼群岛附近海域南极磷虾  
虾群形态中心深度分布

Fig. 5 The depth of different Antarctic krill aggregations in the adjacent sea area near South Orkney Islands

### 2.5 南极磷虾虾群生物学特征

为了探讨南极磷虾昼夜集群状态下生物学特

征变化, 对 NIT、DWN、DAY、AFT、SST 和 DSK 6 个时段南极磷虾体长进行单因素 ANOVA 分析, 发现不同时段间磷虾体长具有显著差异( $P < 0.01$ , 表 2)。在所观察时段中, 最大体长出现在 DAY 时段中, 为 61.27 mm, 最小体长出现在 DSK 时段中, 为 32.42 mm, DAY 时段平均体长最大, 为 50.46 mm。在 NIT 时段, 优势体长组为 44~54 mm, 所占比重为 77.60%; DWN 时段, 优势体长组为 40~52 mm, 所占比重为 82.02%; 在 DAY 时段, 优势体长组为 46~56 mm, 所占比重为 77.25%; 在 AFT 时段, 优势体长组为 46~54 mm, 所占比重为 76%; 在 SST 时段, 优势体长组为 44~50 mm, 所占比重为 70%; 在 DSK 时段, 优势体长组为 38~48 mm, 所占比重为 77.33%(图 6)。

表 2 南奥克尼群岛附近海域南极磷虾不同时段体长差异分析结果

Tab. 2 The variation analysis of Antarctic krills in the adjacent sea area near South Orkney Islands

方差来源 variation resource	平方和 quadratic sum	自由度 df	平均值平方 mean square	F	显著性检验 P
组之间 between groups	11409.718	5	2281.944	136.169	0.000
在组内 within groups	33047.218	1972	16.758	—	—
总计 total	44456.935	1977	—	—	—

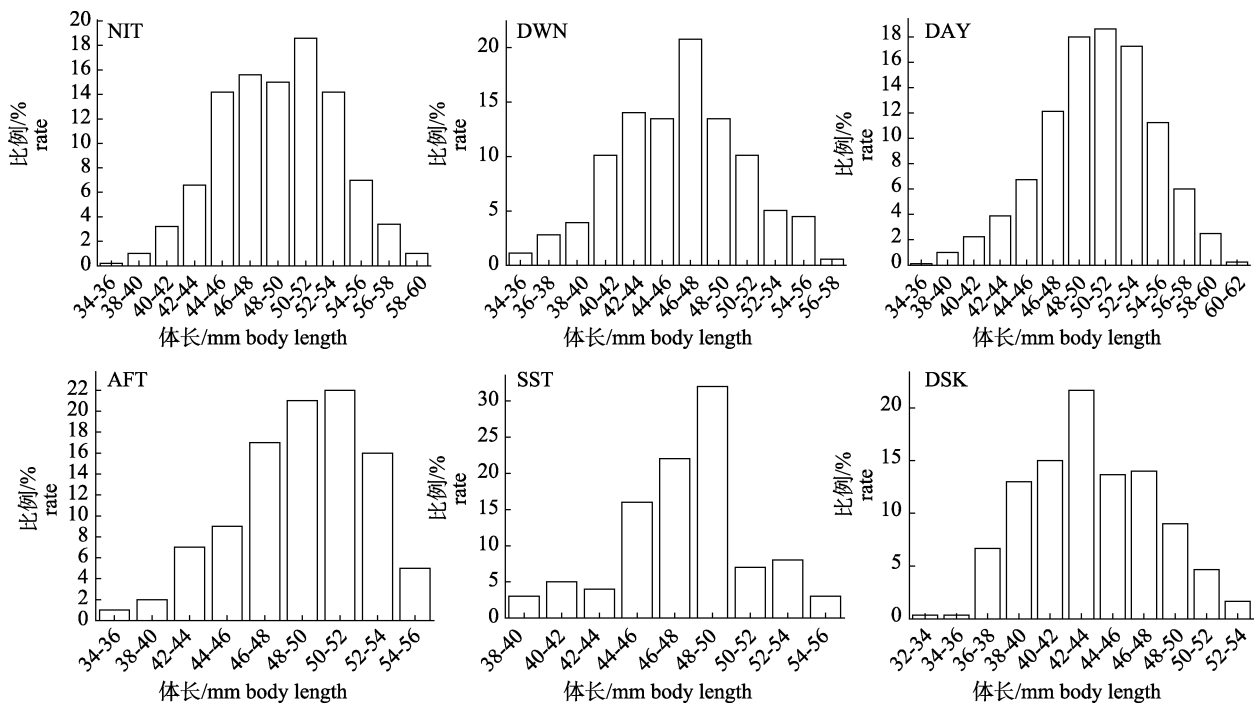


图 6 南奥克尼群岛附近海域南极磷虾不同时段体长分布  
时段名称缩写见表 1。

Fig. 6 The length distribution of Antarctic krill aggregations in different time in the adjacent sea area near South Orkney Islands  
The abbreviations of the time division are shown in table 1.

### 3 讨论

#### 3.1 虾群形态时间差异

朱国平等<sup>[17]</sup>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, 本研究调查时间与其基本一致。本研究发现, 南极磷虾虾群形态存在较为明显的昼夜变化, 水平带状虾群在各时段呈主导性分布, 但在各时段比例差异显著, 表现出明显的昼夜变化特征。MTW 到 DSK 时段, 水平带状虾群比例存在先降后升的变化过程, 在 DAY 时段降到最低值; DSK 到 MTW 时段, 水平带状虾群比例较为稳定, 且比例较高。分散状虾群和球状虾群出现比例低于水平带状, 球状虾群保持着较为稳定的时间间隔, 分散状虾群则表现出时间上的连续性特征。朱国平等<sup>[6]</sup>认为, 5:00~6:00 散点状磷虾群出现频率最高(7.5%); 块状磷虾在 6:00~7:00 出现频率最高(7.8%); 带状磷虾在 2:00~3:00 出现频率最高(7.2%)。不同虾群形态在不同时段也表现出一定的变化特征, 水平带状和球状虾群的时间分布特征基本与其符合。Taki 等<sup>[12]</sup>和朱国平等<sup>[15]</sup>也认为, 磷虾集群也呈现出显著的昼夜移动特征, 摄食行为和逃避敌害是大磷虾集群形成的主要原因, 因此, 可以尝试从南极磷虾摄食和敌害生物分布角度研究南极磷虾集群规律。

#### 3.2 虾群中心深度与温度差异

南极磷虾集群不仅与其自身生理特性有关, 生存环境中海流、温度等也是重要的影响因素<sup>[18]</sup>。目前, 由于区域环境条件和调查方式的差异, 南极磷虾虾群中心深度有所差异, 基本上多出现在 0~150 m 水层<sup>[19-20]</sup>。本研究发现, 虾群中心深度随着其昼夜垂直移动的变化, 在不同时段具有较大差异。MTW 和 ETW 时段是平均虾群中心深度的分界点, 达到一天中最高值。MTW 到 SST 时段, 虾群平均中心深度逐渐变小, ETW 时段后, 虾群中心深度又逐渐变小。虾群中心深度变化可能与虾群形态有关。SRS 到 ETW 时段, 水平带状虾群比例存在先降后升的变化过程, 分散状态比例明显增加。虾群中心深度存在昼夜变化, 除与

南极磷虾自身昼夜节律有关系外, 也可能与适应光照条件和摄食条件变化有关<sup>[21-22]</sup>。对南奥克尼群岛南极磷虾不同虾群中心深度进行分析, 结果表明, 南极磷虾不同虾群形态中心深度也具有差异性, 球状虾群平均虾群中心深度最大, 分散虾群次之, 水平带状虾群最小。朱国平等<sup>[17]</sup>认为, 时段和海底深度是显著影响磷虾群深度的两个因子, 本研究中得出的虾群形态时间差异也基本与其一致。

温度条件是影响南极磷虾分布的重要因素, 通过分析虾群水温变化, 一定程度上可以反映出南极磷虾的虾群特征。通过对不同时间段虾群水温进行分析, 虾群水温呈波动变化状态, 存在明显的时段差异性。虾群中心温度变化可能与虾群中心深度有关, 通过对虾群中心温度和虾群中心深度进行 Bivariate 相关性检验, 结果表明, 虾群水温和虾群中心深度呈显著的负相关关系。南极磷虾虾群昼夜差异与摄食或躲避敌害、光照强度、环境因素以及昼夜节律等有关<sup>[21, 23-24]</sup>, 朱国平等<sup>[15]</sup>研究表明, 海底深度对磷虾群的影响效应呈现出相反的趋势。虾群中心温度与虾群中心深度上的负相关关系一定程度上反映出南极磷虾虾群规律。

#### 3.3 南极磷虾捕捞时段的体长差异

为了从南极磷虾生物学特征角度探讨南极磷虾昼夜集群规律, 对不同时段南极磷虾体长进行单因素 ANOVA 分析, 结果表明南极磷虾体长在不同时段存在明显差异。从分析结果可以看出, 各时段优势体长组差异明显, DAY 到 AFT 时段优势体长组要明显高于其他时段优势体长组。摄食行为和逃避敌害是南极磷虾虾群形成的主要原因<sup>[9-10]</sup>, 较大群体更容易在海表集群可能与其自身较强的抵御机制有关。朱国平等<sup>[15]</sup>研究认为, 磷虾群最深水层出现的时段较为接近, 但最浅水层出现的时段有一定的差异, 磷虾通常在黑暗的夜间摄食较强, 而白天较弱, 但摄食对象的不同也会影响南极磷虾的垂直移动。在本研究中, DAY 到 AFT 时段均在白天, 而此时段虾群中心深度较浅, 说明磷虾虾群栖息深度与个体大小存在差异, 大个体磷虾群栖息深度受外部环境的干扰相对较小。

#### 4 结论

南极磷虾 3 种虾群形态中, 水平带状虾群在各时段呈主导性分布, 但在各时段比例差异显著, 曙光到黄昏时段, 水平带状虾群比例存在先降后升的变化过程, 在白天时段降到最低值, 为 65%; 黄昏到曙光时段, 水平带状虾群比例高且稳定。球状虾群保持着较为稳定的时间间隔, 分散状虾群表现出在日升到白天时间段的连续性特征。

南极磷虾虾群中心深度在不同时段具有较大差异, 曙光和暮光时段是平均虾群中心深度的分界点; 南极磷虾不同虾群形态中心深度也具有差异性, 球状虾群平均虾群中心深度最大, 分散虾群次之, 水平带状虾群最小。

不同时间段内虾群水温呈波动变化状态, 变化范围为 $-1.6\sim 1.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 最小值出现在暮光时段, 最大值出现在夜间时段; 虾群水温和虾群中心深度呈显著的负相关关系。

南极磷虾体长在不同时段存在明显差异( $P < 0.001$ ), 各时段优势体长组差异明显, 白天到下午时段优势体长组要明显高于其他时段优势体长组。

#### 参考文献:

- [1] Huang H L, Chen X Z, Feng C L. Status of *Euphausia superba* resource exploration[J]. Fishery Modernization, 2007, 34(1): 48-51. [黄洪亮, 陈雪忠, 冯春雷. 南极磷虾资源开发现状分析[J]. 渔业现代化, 2007, 34(1): 48-51.]
- [2] Shen X S, Han X L, Zhang H Y, et al. Research progress and industrial utilization of Antarctic krill in China[J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(5): 1181-1184, 1191. [沈晓盛, 韩小龙, 张海燕, 等. 我国对南极磷虾的开发研究及其产业化利用现状[J]. 现代食品科技, 2013, 29(5): 1181-1184, 1191.]
- [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] Wu W P, Xie Y L. Antarctic krill and krill fishery[J]. Modern Fisheries Information, 2010, 25(1): 10-13. [吴伟平, 谢营樑. 南极磷虾及磷虾渔业[J]. 现代渔业信息, 2010, 25(1): 10-13.]
- [5] Ashjian C J, Davis C S, Gallager S M, et al. Distribution of larval krill and zooplankton in association with hydrography in Marguerite Bay, Antarctic Peninsula, in austral fall and winter 2001 described using the Video Plankton Recorder[J]. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 2008, 55(3-4): 455-471.
- [6] 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. [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.]
- [7] Mauchline J. The biology of mysids and euphausiids[M]//Advances in Marine Biology. Amsterdam: Elsevier, 1980, 18: 13-369.
- [8] Siegel V, Kalinowski J. Krill demography and small-scale processes: A review[M]//Southern Ocean Ecology: The BIOMASS Perspective. Cambridge: Cambridge University Press, 1994: 145-163.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] Lascara C M, Hofmann E E, Ross R M, et al. Seasonal variability in the distribution of Antarctic krill, *Euphausia superba*, west of the Antarctic Peninsula[J]. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 1999, 46(6): 951-984.
- [12] Taki K, Hayashi T, Naganobu M. Characteristics of seasonal variation in diurnal vertical migration and aggregation of Antarctic krill (*Euphausia superba*) in the Scotia Sea, using Japanese fishery data[J]. CCAMLR Science, 2005, 12: 163-172.
- [13] Wang T, Zhu G P, Tong J F, et al. Acoustic estimation of *Euphausia superba* in the South Orkney Islands in austral spring 2017[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2019, 26(2): 333-341. [王腾, 朱国平, 童剑锋, 等. 南极南奥克尼群岛 2017 年春季南极磷虾资源声学评估[J]. 中国水产科学, 2019, 26(2): 333-341.]
- [14] Wang T, Tong J F, Zhu G P, et al. *Euphausia superba* swarm characteristics in the South Orkney Islands by the echogram of acoustic survey[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2018, 25(6): 1317-1324. [王腾, 童剑锋, 朱国平, 等. 基于声学映像的南奥克尼群岛海域南极磷虾集群特征[J]. 中国水产科学, 2018, 25(6): 1317-1324.]
- [15] 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. [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.]
- [16] 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.
- [17] 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 Fish-

- eries of China, 2018, 42(10): 1541-1549. [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.]
- [18] Nicol S. Krill, currents, and sea ice: *Euphausia superba* and its changing environment[J]. *BioScience*, 2006, 56(2): 111-120.
- [19] Kalinowski J. Vertical migration of krill in the region of South Georgia February–March 1976[J]. *Polskie Archiwum Hydrobiologii*, 1978, 25: 573-583.
- [20] 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.
- [21] Godlewska M. Vertical migrations of krill (*Euphausia superba* Dana)[J]. *Polskie Archiwum Hydrobiologii*, 1996, 43: 9-63.
- [22] Gaten 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.
- [23] Ritz D A. Social aggregation in pelagic invertebrates[M]// *Advances in Marine Biology*. Amsterdam: Elsevier, 1994, 30: 155-216.
- [24] 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.

## Characteristics of diel aggregation and biology of Antarctic krill (*Euphausia superba*) in the Southern Orkney Islands

LI Shuai<sup>1,2</sup>, QIU Shengyao<sup>1</sup>, HUANG Hongliang<sup>2</sup>, YANG Jialiang<sup>2</sup>, LI lingzhi<sup>2</sup>

1. School of Ocean, Yantai University, Yantai 264005, China;

2. 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

**Abstract:** Antarctic krill (*Euphausia superba*) is one of the largest single species of biological resource on the planet. It lives mostly in the waters south of 50° S in the Southern Ocean, and is distributed around the Antarctic. Studying the behavior patterns of Antarctic krill clusters is of great significance for understanding their distribution characteristics, the formation mechanism of Antarctic krill fishing grounds, and resource utilization. As Antarctic krill occupies a key position in Antarctica and the Southern Ocean ecosystem, the regionality of its living conditions, special rhythms, and vulnerability, have made it difficult to study the rules governing its aggregation. Antarctic krill uses the phenomenon of diel vertical migration and aggregation. In this study, diel aggregation and Antarctic krill biology were studied in the waters of the South Orkney Islands. The results show that the horizontal band which refers to the pattern of aggregation has a dominant distribution in each time period, but that the proportion of horizontal band in each time period is significantly different. From dawn to dusk, the proportion of the horizontal band decreased first, and then increased, reaching the lowest value in the daytime period (65%). From dusk to morning twilight, the proportion of the horizontal band was high and stable. Spherical distribution maintains a relatively stable time interval, and scattered distribution is a continuous feature from sunrise to the daytime. The central depth of the Antarctic krill aggregation varies greatly during different time periods; morning twilight and evening twilight are the dividing points of the average aggregation center depth. The central depth of Antarctic krill is also different in terms of aggregation. The average central depth of the spherical distribution is the largest, followed by scattered distribution. Alternately, the average central depth of the horizontal band is the least. The temperature of aggregation fluctuates in different time periods, ranging from -1.6 °C to 1.3 °C. The minimum value appears during the evening twilight period, and the maximum value appears at night. The temperature of aggregation and the central depth of the Antarctic krill show a significant negative correlation. The body length of Antarctic krill is significantly different in different time periods ( $P < 0.001$ ), and the dominant body length in different time periods is significantly different, with the dominant body length between daytime and afternoon being significantly higher than in other time periods.

**Key words:** *Euphausia superba*; time division; form of aggregation; depth of aggregation; temperature of aggregation; body length

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