

## 2013 年冬季南乔治亚岛南极磷虾群昼夜垂直移动研究

朱国平<sup>1,2,3\*</sup>, 王 芮<sup>1</sup>, 朱小艳<sup>1</sup>, 孟 涛<sup>1</sup>, 黄洪亮<sup>4</sup>,  
徐国栋<sup>4</sup>, 张吉昌<sup>5</sup>, 许柳雄<sup>1,2,3</sup>

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;

2. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海海洋大学, 上海 210306;

3. 大洋渔业资源可持续开发省部共建教育部重点实验室, 上海海洋大学, 上海 201306;

4. 中国水产科学研究院东海水产研究所, 渔业工程研究室, 上海 200090;

5. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 渔业资源研究室, 山东 青岛 266071)

**摘要:** 关于冬季南极磷虾群昼夜垂直移动方面的研究可为探索其渔场形成机制提供基础数据, 并为其越冬策略研究提供参考。基于 2013 年冬季南乔治亚岛南极磷虾渔业调查期间收集的相关数据, 对冬季南乔治亚岛南极磷虾群昼夜垂直移动进行了研究。结果发现, 磷虾群平均深度维持在表层以下 100~300 m, 磷虾群最深出现在日升时分, 而最浅则出现在夜间时分; 7—9 月, 随时间的推移, 磷虾群所处水层呈加深趋势。夜间、白天和黄昏时段磷虾群平均深度呈现较为明显的月份差异。白天磷虾群多集中在较深水层, 夜间会上浮到较浅水层。

**关键词:** 南极磷虾; 昼夜垂直移动; 鱼场; 南乔治亚岛

**中图分类号:** S 932.8

**文献标志码:** A

南极海域蕴藏着丰富的海洋生物资源, 其中南极磷虾的生物量约为 10~30 亿。南极磷虾, 通常是指南极大磷虾 (*Euphausia superba* Dana, 简称磷虾), 为地球上资源量最大的单种生物之一, 其在渔业资源、生态研究及南大洋海洋生态系统中均有着极为重要且特殊的地位, 从而日益受到人们的关注<sup>[1]</sup>。

所有磷虾类集群均会展现出不同程度的垂直移动特性<sup>[2]</sup>, 这可能与其摄食或躲避捕食者等有关<sup>[3]</sup>。自 20 世纪 80 年代以来, 已采用不同手段对磷虾集群行为的昼夜变化进行了研究<sup>[2,4-5]</sup>。Lascara 等<sup>[6]</sup>曾利用声学数据研究了南极半岛西侧磷虾的昼夜垂直移动及集群。Taki 等<sup>[7]</sup>则利用渔业调查数据分析了斯科舍海磷虾集群昼夜垂直移动的季节性变化。朱国平等<sup>[8]</sup>利用渔用声学图像数据初步分析了南奥克尼群岛水域磷虾集群特性。但与磷虾的丰度、分布及生长等方面的

研究<sup>[9]</sup>相比, 有关斯科舍海磷虾昼夜深度分布方面的直接研究仍较为有限<sup>[10]</sup>, 尤其是冬季。相关研究也表明, 磷虾集群深度分布及昼夜垂直移动模式因环境及时间不同而存在较大的差异<sup>[10]</sup>。况且, 目前关于磷虾垂直移动与日光变化之间关系的研究较少<sup>[7]</sup>, 特别是南乔治亚岛水域。有鉴于此, 本实验首次对冬季南乔治亚岛磷虾群的昼夜垂直移动进行研究, 以为磷虾的集群特性研究提供参考, 也为磷虾渔场形成机制研究提供基础数据。

### 1 材料与方 法

#### 1.1 数据来源

调查时间为 2013 年 7 月 4 日—9 月 3 日。调查海域为南乔治亚岛东北水域 (53°44'~54°07' S, 35°26'~36°09' W) (图 1)。调查船为中国大型拖网渔船“福荣海”轮。取样工具为商业性中层

收稿日期:2014-06-17 修回日期:2015-06-19

资助项目:教育部留学回国人员科研启动基金项目;公益性行业(农业)科研专项(201203018);国家科技支撑计划项目(2013BAD13B03)

通信作者:朱国平, E-mail:gpzhu@shou.edu.cn

磷虾拖网,系四片式单船中层拖网,囊网网目尺寸为 18 mm。本次调查为渔业随机调查。作业时,按照南极海洋生物资源养护委员会 (CCAMLR) 要求,记录开始(结束)捕捞时间和位置、海底深度及拖曳深度等参数。采用的声学设备为 Simrad

EK 60 (CCAMLR 南极磷虾资源评估认可的声学设备)。调查过程中,记录渔探仪屏幕上显示的磷虾群深度,具体操作方法可参考 Taki 等<sup>[7]</sup>,其中 7 月采样 254 次,8 月采样 272 次,9 月采样 24 次,共计 550 次。

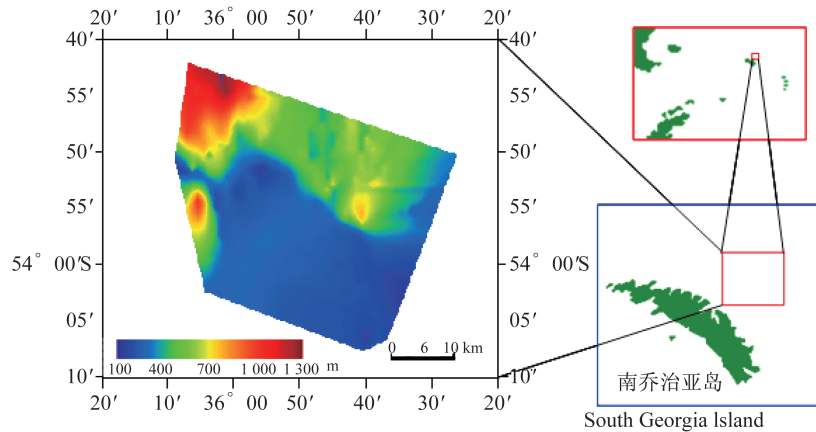


图 1 调查区域 (左图中为海底深度)

Fig. 1 Survey area (The bottom depth showed in the left part)

1.2 数据处理

南极磷虾渔业中,通常利用声学渔探仪探测并捕捞虾群。借助系在拖网上纲上的垂直扫描传感器可掌握网具离水面的深度以及进入网口的磷虾数量,渔民根据渔探仪显示器上虾群深度的变化调整拖网作业深度<sup>[7]</sup>。记录在观察员日志中的拖曳深度则表示为由海表至拖网下纲之间的深度,因此从某种角度来讲,拖曳深度可视为磷虾群在水中所处的深度。

就精细尺度而言,磷虾渔业通常针对某一单独虾群进行捕捞,也就是说,一个网次只会捕捞一个虾群。因此,网次信息会反映出单个磷虾群的相关信息<sup>[7]</sup>。为了分析磷虾群的昼夜变化,针对每一网次,依据观察员(渔捞)日志中记录的当地实际时间和捕捞位置,估算太阳中心与真地平之间的角度,然后依 Watanabe<sup>[11]</sup>的估算方法将一天划分成 10 个时段,即黎明 (DWN)、曙光 (MTW)、日升 (SRS)、早晨 (MRN)、白天 (DAY)、下午 (AFT)、日落 (SST)、暮光 (ETW)、黄昏 (DSK) 和夜间 (NIT) 等 (图 2),由此确定磷虾群在一天不同时段内的分布及其变化情况。需要指出的是,考虑到南大洋地区的季节性变化和高纬度特性,日光在时间尺度上的变化较为明显,因此需要依据 Watanabe<sup>[11]</sup>的估算方法计算每日

的时段分布,从而进一步分析各时段内磷虾群的分布特征。

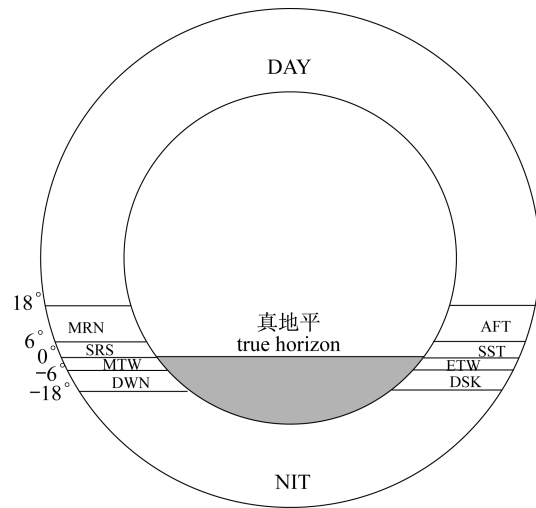


图 2 时段划分 (仿 Watanabe<sup>[11]</sup>)

Fig. 2 Classification of time period in a day (Reproduced from Watanabe<sup>[11]</sup>)

为了分析不同月份同一时段磷虾群的垂直分布情况,本实验利用 Kruskal-Wallis (K-W) 检验 (3 个或 3 个以上样本) 或 Kolmogorov-Smirnov (K-S) 检验 (2 个样本) 分析同一时段不同月份磷虾群分布之间是否存在显著性差异 ( $P = 0.05$ )。对于同一月份不同时段磷虾群分布之间是否存在

显著性差异,同样利用 K-W 检验进行分析。利用百分比相似性指数 (PSI) 估算比例的相似性<sup>[12]</sup>,具体计算公式参见朱国平等<sup>[8]</sup>。通常认为,当 PSI 值  $\geq 80$  时,即认为两者之间相似<sup>[13]</sup>。K-W 检验和 K-S 检验在 SPSS 17.0 软件中运行,其他统计结果则利用 EXCEL 分析。

## 2 结果

### 2.1 昼夜移动的月份差异

从整体上来看,7—9 月磷虾群昼夜垂直移动呈现出类似的模式。鉴于 9 月数据量较小,仅就 7—8 月昼夜移动情况进行分析。磷虾群平均深度维持在表层以下 100~300 m,夜间虾群所处深度为所有时段最浅;随着时间的推移,磷虾群逐渐下潜,至日升时磷虾群达最深水层,此后磷虾群又开始向上移动(图 3)。早晨至黄昏,磷虾群的深度相对稳定,基本维持在表层以下 150~200 m 处。

从月份差异上来看,夜间( $\chi^2 = 24.722, P < 0.001$ )、白天( $\chi^2 = 7.020, P = 0.030 < 0.05$ )和黄

昏( $Z = 1.916, P = 0.001 < 0.05$ )时段磷虾群平均深度呈现较为明显的月份差异,而其它时段磷虾群平均深度则不存在显著性的月份差异(表 1)。

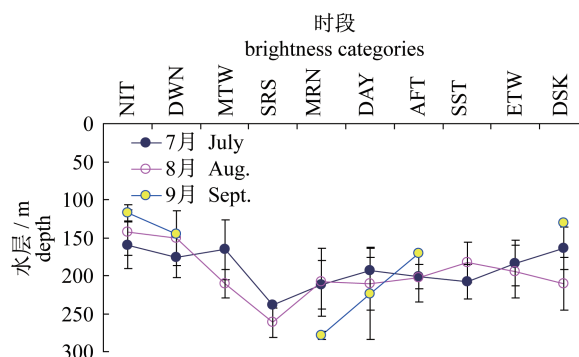


图 3 2013 年 7—9 月南乔治亚岛磷虾群昼夜垂直移动 (竖线表示  $\pm 1$  标准差)

Fig. 3 Diel vertical migration of Antarctic krill aggregation in the South Georgia Island from July to September 2013 (The vertical bar indicates  $\pm 1$  standard deviation)

表 1 2013 年 7—9 月南乔治亚岛各时段磷虾群平均深度月份差异性检验  
Tab. 1 Examination of the monthly differences on average depth of Antarctic krill aggregation in the different periods from July to September 2013

时段 time	虾群平均深度 average depth			K-W test(7—9 月)		K-S test(7—8 月)	
	7 月 July	8 月 Aug.	9 月 Sept.	$\chi^2$	P	Z	P
夜间 NIT	159.6	143.0	117.7	24.722	0.000 *	1.681	0.007 *
黎明 DWN	175.9	150.9	145.0			1.129	0.156
曙光 MTW	165.7	211.0				1.220	0.102
日升 SRS	239.0	261.8					
早晨 MRN	212.1	208.6	278.8	5.123	0.077		
白天 DAY	193.9	210.5	223.4	7.020	0.030 *	1.502	0.022 *
下午 AFT	201.7	202.2	170.0			0.527	0.944
日落 SST	208.0	182.5				0.913	0.375
暮光 ETW	183.8	194.6				0.540	0.932
黄昏 SDK	164.1	210.5	130.0			1.916	0.001 *

注: \* 显示样本间存在显著性差异

Notes: \* means the significant difference

### 2.2 各时段分水层磷虾群分布

以 10 m 为间隔对水深进行划分。由于 9 月数据量较小,仅就 7—8 月各时段分水层磷虾群分布情况进行分析(图 4)。

就 7 月而言,夜间时,磷虾群主要集中于 130~180 m(55.2%, 括号中为在所有水层中所占的比例,下同)水层处;黎明时,磷虾群主要集中于 170~210 m(64.7%)水层处;曙光时,磷虾群主要集中于 160~210 m(71.4%)水层处;日升

时,所有磷虾群均集中于 230~240 m 水层处;早晨时,磷虾群主要集中于 180~210 m(50.0%)水层处;白天时,磷虾群主要集中在 170~210 m(62.9%)水层处;下午和日落时,磷虾群主要集中于 190~200 m(60.0%和 40.0%)水层处;暮光时,磷虾群主要集中于 170~180 m(50.0%)水层处;黄昏时,磷虾群主要集中于 140~200 m(81.3%)水层处。

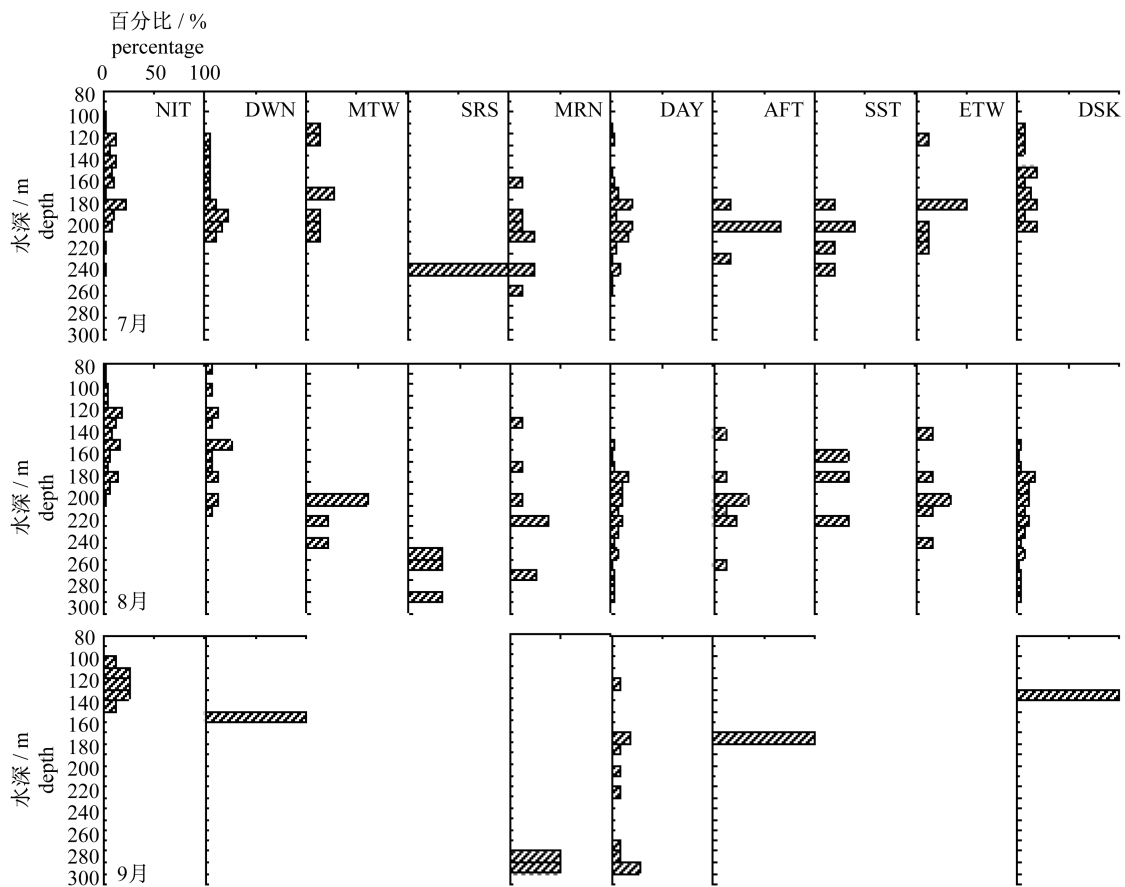


图 4 2013 年 7—9 月各时段分水层磷虾群分布

Fig. 4 The distribution of Antarctic krill aggregation by depth in different periods during July to September 2013

8 月,夜间时,磷虾群主要集中于 110 ~ 150 m (53.0%) 水层处;曙光时,磷虾群主要集中于 190 ~ 200 m (60.0%) 水层处;日升时,磷虾群主要集中于 240 ~ 260 m (66.7%) 水层处;早晨时,磷虾群主要集中于 210 ~ 220 m (37.5%) 水层处;白天和黄昏时,磷虾群均集中于 170 ~ 220 m (59.6% 和 59.8%) 水层处;下午时,磷虾群主要集中于 190 ~ 220 m (66.7%) 水层处;暮光,磷虾群主要集中于 190 ~ 210 m (50.0%) 水层处。其他时段磷虾群于各水层中分布较为分散。

从整体上看,7—9 月各时段分水层磷虾群分布,随着月份的变化,大部分时段中,磷虾群所集中水层呈向下移动趋势。百分比相似性分析结果也显示,7 月和 8 月,同一时段内磷虾群深度分布均不具有相似性 (PSI = 0 ~ 71.9)。

### 2.3 磷虾群平均深度的昼夜变化

7 月白天,磷虾群多出现于 190 m 以下水层,80 ~ 135 m 以浅水深出现较少;而夜间磷虾群出现在水深 80 ~ 190 m 分布较多,190 m 以下水深

出现较少。8 月白天,磷虾群均处于 135 m 以下水层,135 m 水深以上水层无磷虾群出现;而夜间磷虾群出现在水深 80 ~ 190 m,190 m 以深水层无磷虾群出现(图 5)。

整体来说,白天磷虾群多集中在较深水层,夜间则会上升浮到较浅水层,且夜间磷虾群出现范围相对扩散。

## 3 讨论

### 3.1 昼夜垂直移动

长期以来,研究人员就认识到日光变化在磷虾集群昼夜垂直移动中起到的作用<sup>[14]</sup>,因此磷虾集群行为的昼夜变化已为一些学者所研究<sup>[2,15-17]</sup>。有研究表明,包括南极磷虾在内的 75% 磷虾种类均存在着某种形式的昼夜垂直移动现象<sup>[2]</sup>。磷虾通常夜间垂直移动至海表<sup>[18-20]</sup>,但这种模式并未有统一的结论,如磷虾昼夜均保持明显的聚集状况<sup>[21]</sup>,或者仅在白天出现在海表<sup>[22]</sup>。但可以确定的是,集群中的所有磷虾个体

至少在一定程度上会表现出垂直移动<sup>[2]</sup>,这些昼夜移动和游泳可能与索饵或抵御敌害等机制有关<sup>[3]</sup>。Ritz<sup>[3]</sup>曾推断,与不展现社群行为(social behavior)的磷虾相比,展现社群行为的磷虾所表

现出的垂直移动模式并不相同。过去一些学者对磷虾的昼夜垂直移动模式进行了研究,但其集群和昼夜垂直移动所表现出的季节性差异仍不明确<sup>[19]</sup>。

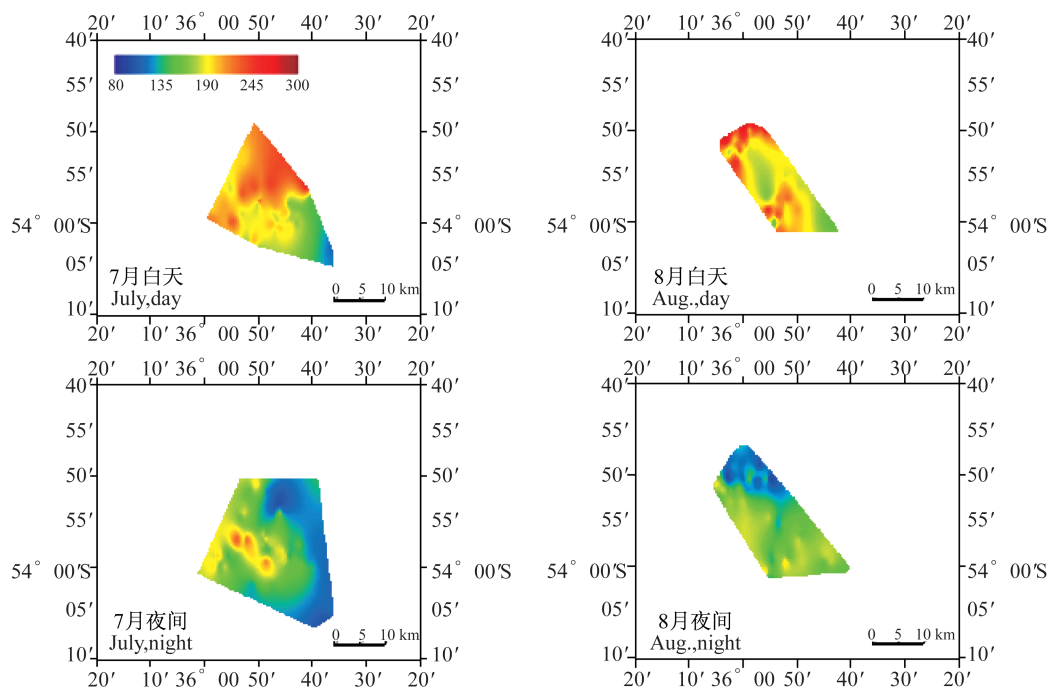


图5 2013年7—8月白天和夜晚磷虾群的平均深度水平分布

Fig. 5 The horizontal distribution on average depth of Antarctic krill aggregation in the day and night from July to August 2013

基于平均拖曳深度的昼夜变化,Taki等<sup>[7]</sup>发现,磷虾集群呈现显著的昼夜垂直移动,南设得兰群岛和南奥克尼群岛水域夏季和冬季白天磷虾群所处深度最深而夜间最浅,但在南乔治亚岛水域冬季则并没有这种昼夜模式出现,最深出现在曙光时分,而最浅则出现在暮光时分。本研究结果显示,南乔治亚岛冬季夜间磷虾群居于水深最浅的位置,随着时间的推移,磷虾群逐渐下潜,至日升时磷虾群达最深水层,此后磷虾群又开始向上移动。这与Taki等<sup>[7]</sup>关于南乔治亚岛磷虾群的研究不同,且通过比较可以发现,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则有一定的差异,可能由以下2个原因造成,首先,磷虾通常在黑暗的夜间摄食较强,而白天较弱。Williams等<sup>[23]</sup>表示,诸如桡足类等浮游动物会在一天的某个时间段内垂直移动至较深的水层,而磷虾的垂直移动也可能与这些小型浮游动物的移动有关。也就是说,食物对象的不同会造成磷虾

昼夜垂直移动模式出现差异。其次,Taki等<sup>[7]</sup>的研究时间较本研究提前,因此两者差异可能与作业的月份及年份不同有关,本研究使用了2013年7月和8月的数据,而Taki等<sup>[7]</sup>使用的则是1980—2003年的整合资料,主要为8月和9月的数据,6—7月的数据并不完全,考虑到磷虾群存在着年际变化,因此不排除Taki等<sup>[7]</sup>采用整合资料所开展的研究可能掩盖了潜在存在的垂直移动现象。从某种意义上讲,本研究更符合近年来南乔治亚岛磷虾群的昼夜变化。但应该指出的是,利用系在拖网上网上的垂直扫描传感器作为磷虾群运动的“质点”指标,也存在不确定性。磷虾群的大小和形状存在着差异,对于外形相似但大小不同的磷虾群,若假定进入网口的磷虾群位置不变,则垂直扫描传感器的位置变化可视为磷虾群的位置变化;对于外形不同的磷虾群,以垂直扫描传感器的位置替代磷虾群的位置会出现误差,尤其是磷虾群不是以固定的方式和形状进入

网口。

Everson<sup>[4]</sup>发现,在南乔治亚岛外洋浮动站位,磷虾呈现规律的昼夜垂直移动。白天,磷虾散布于约 50~150 m 水层,而夜间这些磷虾群则贴近表层或驻留在海表。南乔治亚岛近海区调查的结果类似于外洋浮动站位,但仍有些差异,即白天有些时段磷虾群会上升至表层附近,但该海区磷虾群一天内大部分时间仍聚集在 150 m 以深的水层。相比而言,近岸调查的结果则显著不同。磷虾群白天多居于 75 m 以深水层,而下午后半段则呈现出两个明显的集群,至黄昏时混合在一起并扩散开来。夜间,磷虾群散布在表层至约 150 m 之间的水层。本研究中,南乔治亚岛水域冬季磷虾群白天多居于 135 m 以下的深水层,而夜间会上浮至较浅水层,且夜间磷虾群出现范围相对扩散。尽管两者之间仍有一定的差异,但依据现有的研究结果<sup>[18,24-25]</sup>可知,相比于白天,夜间磷虾群更偏爱于停留在海表。

### 3.2 垂直移动幅度

冬季,南乔治亚岛水域磷虾群平均深度的昼夜范围处于 0~161 m。从整体上看,7—9 月大部分时段中,随着月份的变化,磷虾群所集中水层呈现向下移动的趋势。这与 Taki 等<sup>[7]</sup>得出的夏季和初秋季节磷虾群所在水层平均深度较浅,仲秋逐步加深,至冬季到达最大值的结论较为一致。

Godlewska<sup>[20]</sup>表示,夏季磷虾呈现出最大尺度的垂直移动,春季和秋季的垂直移动幅度最小,但其并没有就冬季磷虾垂直移动进行过研究。Godlewska<sup>[20]</sup>认为,浮游植物是磷虾的主要食物来源,因此海表叶绿素浓度与磷虾垂直移动幅度存在着相关性。在食物条件较好的情况下,磷虾会增加垂直移动活动,相反就会减低垂直移动活动以节省能耗。但冬季垂直移动幅度明显小于夏季或秋季<sup>[7]</sup>。此时,由于浮游植物浓度较低,磷虾以其他食物来源,如冰藻<sup>[26]</sup>、海底碎屑<sup>[27]</sup>和浮游动物<sup>[28]</sup>等作为补充食物,甚至还出现同类相食的状况<sup>[29]</sup>。另外,除了浮游植物浓度以外,一些环境因子也会影响磷虾的垂直移动幅度。鉴于此,本实验将会结合环境因子和食物来源等外界条件的变化进一步对南极磷虾群昼夜垂直移动进行研究。

感谢辽宁大连海洋渔业有限公司及“福荣

海”轮船长和船员在取样过程中给予的大力配合。感谢执行南极海洋生物资源开发利用项目的科学观察员在海上数据收集过程中所付出的辛勤劳动。本研究部分得到了农业部海洋生物资源开发利用项目的资助。

### 参考文献:

- [1] Zhu G P. Population biology of Antarctic krill *Euphausia superba*. I: Age, growth and mortality [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2011, 35 (5): 862 - 868. [朱国平. 南极磷虾种群生物学研究进展 I: 年龄、生长与死亡. *水生生物学报*, 2011, 35 (5): 862 - 868]
- [2] Mauchline J. The biology of mysids and euphausiids [J]. *Advances in Marine Biology*, 1980, 18: 1 - 681.
- [3] Ritz D A. Social aggregation in pelagic invertebrates [J]. *Advances in Marine Biology*, 1994, 30: 155 - 216.
- [4] Everson I. Variations in vertical distribution and density of krill swarms in the vicinity of South Georgia [J]. *Memoirs of National Institute of Polar Research*; Special issue, 1983, 27: 84 - 92.
- [5] Siegel V, Kalinowski J. Krill demography and small-scale processes: a review. *Southern Ocean ecology: the BIOMASS perspective* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1994: 145 - 163.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] Zhu G P, Zhu X Y, Xia H, et al. Spatiotemporal distribution of Antarctic krill aggregations around the South Orkney Islands in austral summer-autumn 2011 [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 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. *生态学杂志*, 2013, 32 (4): 912 - 919]
- [9] Atkinson A, Siegel V, Pakhomov E A, et al. *Oceanic*

- circumpolar habitats of Antarctic krill [J]. Marine Ecology Progress Series, 2008, 362: 1 - 23.
- [10] Cresswell K A, Tarling G A, Thorpe S E, *et al.* Diel vertical migration of Antarctic krill (*Euphausia superba*) is flexible during advection across the Scotia Sea [J]. Journal of Plankton Research, 2009, 31(10): 1265 - 1281.
- [11] 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.
- [12] Whittaker R H. Communities and ecosystems [M]. New York: Macmillan, 1975, 386 pp.
- [13] Newman R M. Comparison of encounter model predictions with observed size - selectivity by stream trout [J]. Journal of the North American Benthological Society, 1987, 6(1): 56 - 64.
- [14] Ringelberg J. Changes in light-intensity and diel vertical migration: a comparison of marine and freshwater environments [J]. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 1995, 75(1): 15 - 25.
- [15] Mauchline J R, Fisher L R. The biology of euphausiids [J]. Advances in Marine Biology, 1969, 7: 1 - 454.
- [16] Siegel V, Kalinowski J. Krill demography and small - scale processes: a review [M] // Sayed S Z. Southern ocean ecology: the BIOMASS perspective. Cambridge: Cambridge University Press, 1994: 145 - 163.
- [17] Everson I. Diurnal variation in mean volume backscattering strength of an Antarctic krill (*Euphausia superba*) patch [J]. Journal of Plankton Research, 1982, 4(1): 155 - 162.
- [18] Demer D A, Hewitt R P. Bias in acoustic biomass estimates of *Euphausia superba* due to diel vertical migration [J]. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 1995, 42(4): 455 - 475.
- [19] Ross R M, Quetin L B, Lascara C M. Distribution of Antarctic krill and dominant zooplankton west of the Antarctic Peninsula [J]. Antarctic Research Series, 1996: 199 - 217.
- [20] Godlewska M. Vertical migrations of krill (*Euphausia superba* Dana) [J]. Polskie Archiwum Hydrobiologii, 1996, 43(1): 9 - 63.
- [21] Watkins J L, Buchholz F, Priddle J, *et al.* Variation in reproductive status of Antarctic krill swarms; evidence of size-related sorting mechanism [J]. Marine Ecology Progress Series, 1992, 82: 163 - 174.
- [22] Marr J W S. The natural history and geography of the Antarctic krill [R]. Discovery Reports, 1962, 32: 33 - 464.
- [23] Williams G D, Meijers A J S, Poole A, *et al.* Late winter oceanography off the Sabrina and BANZARE coast (117 - 128°E), East Antarctica [J]. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 2011, 58(9): 1194 - 1210.
- [24] Loeb V J, Shulenberger E. Vertical distributions and relations of euphausiid populations off Elephant Island, March 1984 [J]. Polar Biology, 1987, 7(6): 363 - 373.
- [25] Fraser W R, Pitman R L, Ainley D G. Seabird and fur seal responses to vertically migrating winter krill swarms in Antarctica [J]. Polar Biology, 1989, 10(1): 37 - 41.
- [26] Marschall H P. The overwintering strategy of Antarctic krill under the pack-ice of the Weddell Sea [J]. Polar Biology, 1988, 9(2): 129 - 135.
- [27] Kawaguchi K, Ishikawa S, Matsuda O. The overwintering strategy of Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana) under the coastal fast ice off the Ongul Islands in Lutzow-Holm Bay, Antarctica [J]. Memoirs of National Institute of Polar Research, Special issue, 1986, 44: 67 - 85.
- [28] Hopkins T L, Lancraft T M, Torres J J, *et al.* Community structure and trophic ecology of zooplankton in the Scotia Sea marginal ice zone in winter (1988) [J]. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 1993, 40(1): 81 - 105.
- [29] Nishino Y, Kawamura A. Winter gut contents of Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana) collected in the South Georgia area [J]. Proceedings of the NIPR Symposium on Polar Biology, 1994, 7: 82 - 90.

## Diel vertical migration of Antarctic krill aggregation in South Georgia Island in the austral winter season of 2013

ZHU Guoping<sup>1,2,3\*</sup>, WANG Rui<sup>1</sup>, ZHU Xiaoyan<sup>1</sup>, MENG Tao<sup>1</sup>, HUANG Hongliang<sup>4</sup>,  
XU Guodong<sup>4</sup>, ZHANG Jichang<sup>5</sup>, XU Liuxiong<sup>1,2,3</sup>

(1. *College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;*

2. *National Distant-water Fisheries Engineering Research Center, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;*

3. *Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fishery Resources, Shanghai Ocean University, Ministry of Education, Shanghai 201306, China;*

4. *Fisheries Engineering Division, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China;*

5. *Fishery Resources Division, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China)*

**Abstract:** The knowledge of diel vertical migration (DVM) of Antarctic krill aggregation (AKA) in the winter season will provide basic data to study the forming mechanism of fishing ground and provide the reference to study the overwintering strategy. Based on the data collected by the fishery survey on Antarctic krill population in the South Georgia Island during the austral winter 2013, the present study analyzes the DVM of AKA in the South Georgia Island. The results show average depth of AKA maintains 100 m to 300 m under sea surface, and the deepest and shallowest depths the of AKA occur at sunrise and night respectively. The average depth of AKA is deepening from July to September. The average depths of AKA show a significant monthly difference at night, in the day and at dusk. AKA often occurs in the deeper layer in the day and stays at surface at night.

**Key words:** Antarctic krill; diel vertical migration; fishing ground; South Georgia Island

**Corresponding author:** ZHU Guoping. E-mail: gpzhu@shou.edu.cn