

2011 年夏秋季南奥克尼群岛水域南极磷虾集群时空分布^{*}

朱国平^{1,2,3,4} 朱小艳² 夏 辉² 李莹春² 许柳雄^{1,2,3,4**}

(¹国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 210306; ²上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306; 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农业部大洋渔业资源环境科学观测实验站, 上海海洋大学, 上海 201306)

摘 要 基于 2011 年度夏秋季中国南极磷虾渔业科学观察员在大型拖网加工船“开欣轮”上收集的影像资料(作业水域为南奥克尼群岛周边海域, 时间为 2011 年 3 月 6 日—4 月 21 日), 对该水域南极磷虾集群的时空分布特征进行了分析。结果表明: 南极磷虾群在南奥克尼群岛西北部海域出现的次数较为集中, 主要出现在 60°00'S—60°15'S, 45°30'W—46°30'W 区域内; 不同水层中, 磷虾群主要呈块状分布, 0~50 m 和 50~100 m 水层集群类型极为相似 ($PSI=92.3$), 散点状、块状和带状磷虾群在 0~50 m 水层出现比例最高, 且块状磷虾群和带状磷虾群在各水层中的分布极为相似 ($PSI=94.4$); 1:00—18:00 南极磷虾群出现频率较高, 随后比例开始下降, 19:00—20:00 出现频率最低。

关键词 南极磷虾; 集群; 时空分布; 南奥克尼群岛

中图分类号 Q954.53; S917 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2013)4-0912-08

Spatiotemporal distribution patterns of Antarctic krill aggregations around the South Orkney Islands in austral summer-autumn 2011. ZHU Guo-ping^{1,2,3,4}, ZHU Xiao-yan², XIA Hui², LI Ying-chun², XU Liu-xiong^{1,2,3,4**} (¹National Distant-water Fisheries Engineering Research Center, Shanghai 201306, China; ²College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; ³The Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Shanghai Ocean University, Ministry of Education, Shanghai 201306, China; ⁴Scientific Observing and Experimental Station of Oceanic Fishery Resources, Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2013, 32(4): 912–919.

Abstract: Based on the video records collected by the Chinese scientific observers of Antarctic krill fishery abroad the large-scale factory trawler “KAIXIN”, which operated around the South Orkney Islands in the austral summer-autumn 2011 (March 6 to April 21, 2011), this paper analyzed the spatiotemporal distribution patterns of the Antarctic krill aggregations in the water areas of the Islands. The Antarctic krill aggregation were concentrated in the northwestern water areas of the Islands, and limited mostly at 60°00'S–60°15'S and 45°30'W–46°30'W. In different water layers, the aggregations were dominated in patched distribution. The percentage similarity index (PSI) analysis showed that there was a high similarity of 92.3 between the 0–50 m and 50–100 m water layers. The scattered, patched, and belted aggregations had the highest proportion of occurrence in 0–50 m water layer, and the patched and belted aggregations had a very similar distribution pattern in different water layers ($PSI=94.4$). The time segment with higher occurrence of Antarctic krill aggregations was from 1:00 to 18:00, and the occurrence decreased gradually to the lowest level from 19:00 to 20:00. This study could provide basic data for better un-

* 公益性行业(农业)科研专项(201203018)、国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2012AA092302)、农业部南极海洋生物资源开发与利用项目(D-8003-09-0158)、国家海洋局极地科学重点实验室开放基金项目(KP201210)和上海海洋大学“海鸥计划”项目(B-5003-11-0023)资助。

** 通讯作者 E-mail: lxxu@shou.edu.cn

收稿日期: 2012-09-25 接受日期: 2013-01-08

derstanding the formation mechanism of Antarctic krill fishing ground, and the operational references for exploiting Antarctic krill resources.

Key words: Antarctic krill; aggregation; spatiotemporal distribution; South Orkney Islands.

南极磷虾为地球上资源量最大的单种生物之一(朱国平等, 2011),也是目前世界上资源量较大的甲壳类浮游动物(Siegel, 1988; Siegel *et al.*, 1998),可用于药物、鱼类产品和水产养殖饲料等方面(Everson, 2000; 孙松和严小军, 2001)。作为南极海洋生态系统中的“健种”,南极磷虾在生态上和商业上均是南极海域极其重要的物种之一(Everson 2000; Nicol & Foster, 2003),其一方面为南极地区顶级捕食者——企鹅、鲸鱼和海豹等的捕食对象,同时也摄食其他浮游动植物。作为渔业的捕捞对象,南极磷虾最大密度分布在大西洋区,特别是威德尔海、南奥克尼群岛北部的斯科舍海和南设得兰群岛周围以及南桑维奇群岛西部水域(黄洪亮等, 2007),但因纬度优势,南奥克尼群岛水域渔业作业受冰山和浮冰影响较南设得兰群岛水域小,因此一直是前苏联等国家南极磷虾渔业主要渔场之一。

尽管南极磷虾的研究可追溯到 80 年前,但关于其生物学和生态学的诸多重要方面仍存在大量的不确定性(Nicol, 2006; 朱国平, 2011),这在很大程度上限制了南极磷虾商业性生产和生态学研究。南极磷虾具有集群的习性,而不同的集群类型也直接影响着商业性生产。同时,研究磷虾的集群模式及群集行为可为磷虾生态学研究及其渔业管理提供科学依据,磷虾集群的声学调查对于理解磷虾生物量的空间分布模式及判断潜在渔场非常重要(Kasatkina *et al.*, 2002)。南极半岛,尤其是南奥克尼群岛和南设得兰群岛水域为南极磷虾渔业的主要渔场(Atkinson *et al.*, 2001; Reiss *et al.*, 2008),但目前关于该水域南极磷虾集群分布及其特征的研究较少。为了更准确地掌握南奥克尼群岛周围水域南极磷虾集群的时空分布情况,本文基于 2011 年度南极磷虾渔业科学观察员收集的探鱼仪影像资料,国内首次对该水域南极磷虾集群的类型及其时空分布特征进行了分析,旨在了解该水域南极磷虾资源的时空分布,并为南极磷虾渔场形成机制研究提供科学依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 调查海域和时间

基于农业部南极海洋生物资源渔业调查项目,

本研究数据取自于在南奥克尼群岛海域作业的上海开创远洋渔业有限公司的大型拖网加工船“开欣轮”。调查时间为 2011 年 3 月 6 日—4 月 21 日,调查水域为 60°00'S—61°15'S, 45°00'W—47°30'W (以 15'×30'将调查区域划分成 25 个分区,图 1)。

1.2 调查渔船及使用网具

调查渔船为上海水产(集团)公司的大型尾滑道拖网加工船“开欣轮”,其船舶主尺度参数如下(表 1)所示。调查网具为四片式单囊中层拖网,并配备 V 型网板,每块网板空气中重 2000 kg。

1.3 数据采集

调查过程中,利用高清数码照相机(型号:Sony HDR CX550E)全程拍摄南极磷虾渔业生产中的探鱼仪影像(型号为 Furuno Scanbeam Sounder FCV-10,显示器尺寸为 14 英寸,最大深度为 6000 m,输出功率为 10 kW,操作频率为 24 kHz),并带回实验室分析。实验室中,观察影像中是否存在南极磷虾群,同时记录虾群出现的位置(经、纬度)、深度、形状和时间等参数。

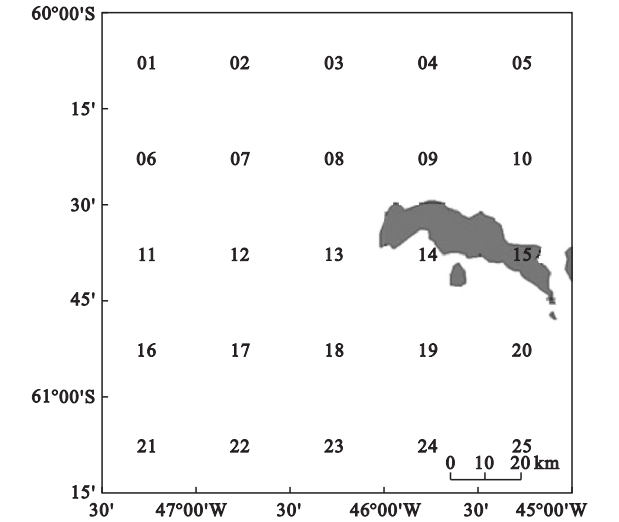


图 1 调查水域示意图

Fig. 1 Survey area

表 1 渔船主尺度

Table 1 Main dimensions of fishing vessels

船名	总长/船宽 (m)	吨位 (t)	主机马力 (kW)	航速 (kn)	日加工能力 (t)
开欣	104.41/16	4407	2576×2	13	126

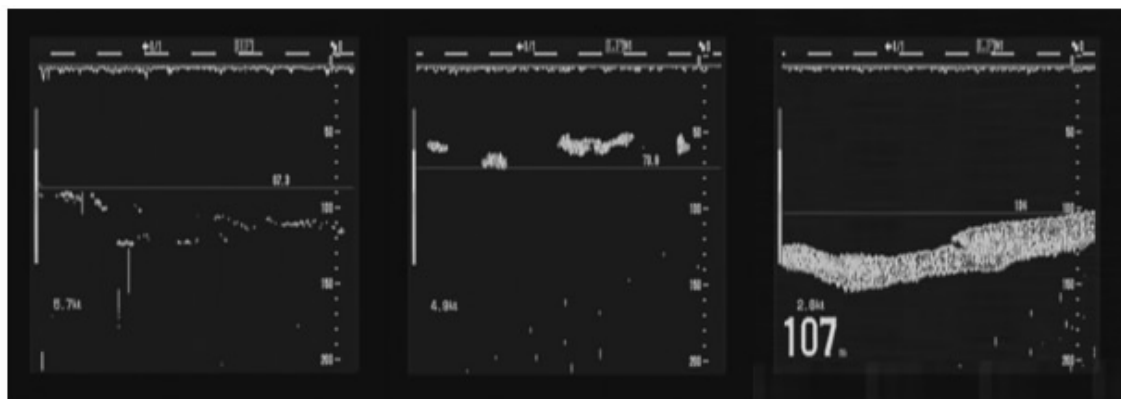


图2 南极磷虾集群特征

Fig. 2 Aggregation characteristics of Antarctic krill

左,散点状;中,块状;右,带状。

位置:探鱼仪影像中南极磷虾群出现时的经度和纬度。

深度:探鱼仪影像中南极磷虾群出现时所在的水层。

形状:关于南极磷虾集群结构(形状),由于磷虾集群结构在协调性和无组织性之间不断变化,目前尚未得到统一(Hamner *et al.*, 1983; Hamner & Hamner, 2000; Tarling *et al.*, 2009),但大多数学者基本上认同Siegel和Kalinowski(1994)的划分方法,即将南极磷虾集群划分成超级狹集、狹集、分层及无组织形式等(Watkins, 2000)。本次调查过程中,并未发现有超级狹集出现,故将所获得的集群类型依散点状、块状和带状进行划分。散点状指磷虾群较为分散的出现在探鱼仪的显示屏上(图2左),类似于Siegel和Kalinowski(1994)的无组织形式虾群;块状指磷虾群聚集成斑块出现(图3中),类似于Siegel和Kalinowski(1994)的虾群狹集;带状指磷虾群中磷虾较多,呈条形出现(图4右),类似于Siegel和Kalinowski(1994)的带状虾群。块状和带状虾群均为调查船的捕捞目标,并以此证实这些群为南极磷虾群,而非其他生物,但散点状因其密度较低,未以拖网捕捞,故本研究依据海上生产实践及随机性调查假定该形状也为南极磷虾个体组成。

时间:以南极磷虾群首端出现在探鱼仪显示屏右侧为开始时间,至磷虾群末端出现在右侧为结束时间。以1 h为间隔,将0:00—24:00划分成24个时段,记录每个时段内磷虾群出现次数。

1.4 分析方法

1.4.1 水平分布 将记录数据分为散点状、块状和

带状三组,通过每组中南极磷虾出现时的经度和纬度说明该组南极磷虾的水平分布情况。以15'×30'将调查区域划分成25个分区(图1),分别计算各小区内磷虾群的出现情况,并进一步计算各分区磷虾群所占比例及出现比例(朱国平等, 2011),对每个分区的磷虾分布情况进行百分比相似性分析。

利用百分比相似性指数(percentage similarity index, *PSI*)估算各比例的相似性(Whittaker, 1975)。具体计算公式如下:

$$PSI = \sum_{k=1}^s \min(P_{ik}, P_{jk})$$

式中,*PSI*为不同分区或水层间集群类型的相似性, P_{ik} 为第*i*个分区或水层中集群类型*k*所占的比例, P_{jk} 为第*j*个分区或水层中集群类型*k*所占的比例,*s*为集群类型个数。通常认为,当*PSI*值≥80时,即认为两者之间相似(Newman, 1987)。

1.4.2 垂直分布 以50 m为间隔,即划分为0~50 m、50~100 m、100~150 m和150~200 m等4个水层,分别计算同一水层各磷虾群类型分布及同一类型磷虾群在不同水层的分布状况,并进行百分比相似性分析。

1.4.3 时间分布 通过散点状、块状和带状南极磷虾群出现频率随时间的变化说明南极磷虾的时间分布情况。

2 结果与分析

2.1 水平分布

2.1.1 散点状 25个分区中共有7个分区出现了散点状磷虾群,其主要分布于南奥克尼群岛北部水

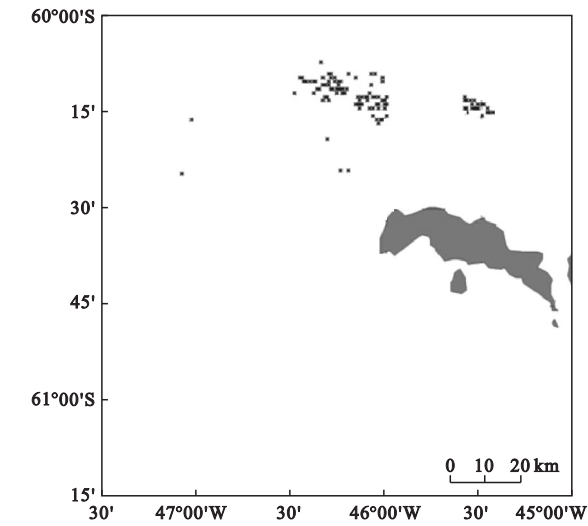


图3 南奥克尼群岛水域散点状南极磷虾群分布示意图
Fig. 3 Spatial distribution of scattered aggregation for Antarctic krill in the South Orkney Islands

域(60°10'S—60°25'S,45°26'W—47°05'W),其中第3分区内共发现89个散点状磷虾群,出现比例最高,占有所有分区的66.9%;其次为第4分区,共发现24个磷虾群,出现比例为18.1%;其他分区磷虾群数量均相对较低,均不足10%。在观察到磷虾群的分区中,散点状磷虾群出现比例最低的区域为第9和第10分区,仅为0.8%(图3)。

2.1.2 块状 25个分区中有16个分区出现块状磷虾群,主要出现在南奥克尼群岛西北部水域,西南部水域有少许分布(图4)。其中,第3分区内共发现470个磷虾群,出现比例最高,为60.3%;第4分区内共发现99个磷虾群,出现比例较高,为

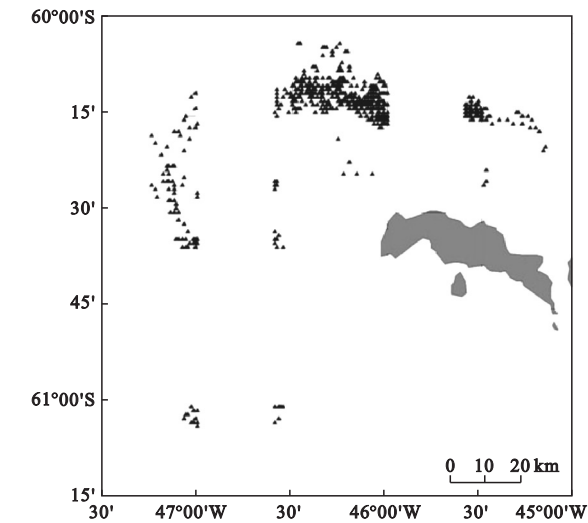


图4 南奥克尼群岛水域块状南极磷虾群分布示意图
Fig. 4 Spatial distribution of patched aggregation for Antarctic krill in the South Orkney Islands

12.7%;其他区域磷虾群数量相对较低。在观察到磷虾群的分区中,块状磷虾群出现比例最低的区域为第16分区,仅为0.1%。

2.1.3 带状 25个分区中有15个分区出现带状南极磷虾群,其分布类似于块状,主要出现在南奥克尼群岛西北部水域,西南部磷虾群出现比例较低(图5)。其中第3分区内共发现344个磷虾群,出现比例最高(61.9%);第4分区内共发现56个磷虾群,出现比例较高,为10.1%。其他区域磷虾群数量相对较低。在观察到磷虾群的分区中,带状磷虾群出现比例最低的区域为第17分区,仅为0.2%。

对25个分区散点状、块状和带状磷虾群所占比例进行分析(表2)可知,共有16个分区有磷虾群出现,主要出现在第3、4、6和11分区。总的来讲,块状磷虾群比例在大部分(75%)分区中占优,且第1分区中均为块状磷虾群,只有第5、6、9和16分区中的带状磷虾群比例占优。从各分区分布来看,散点状磷虾群比例均最低,其分布比例最高的分区为第5分区(23.3%),大多数(72%)分区中无散点状磷虾群分布。

由相似性分析可知,16个有磷虾群出现的分区中,仅41.7%的分区间存在相似性($PSI=80.0\sim100.0$),其余分区间均不具相似性($PSI=36.7\sim79.5$),其中相似性最高的分区为第11和第22分区($PSI=100.0$),而第1和第5分区之间相似性最低($PSI=36.7$)。

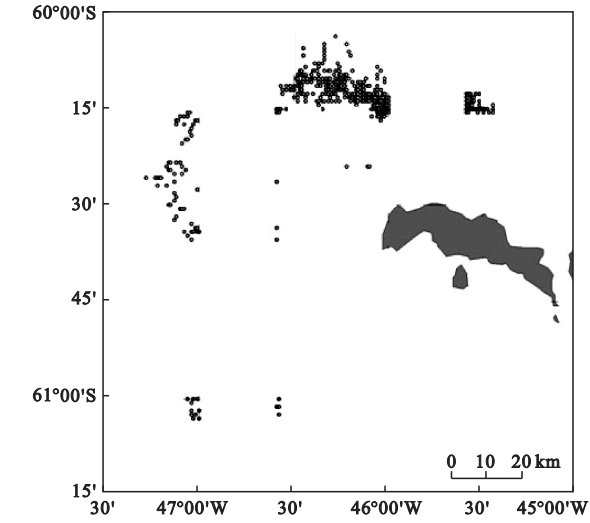


图5 南奥克尼群岛水域带状南极磷虾分布示意图
Fig. 5 Spatial distribution of belted aggregation for Antarctic krill in the South Orkney Islands

表2 不同分区各形状磷虾群所占比分布 (%)
Table 2 Proportion of different type of Antarctic krill aggregations in the subareas

经度 W	纬度 S	分区	散点	块状	带状
47°00′—47°30′	60°00′—60°15′	1	0	100	0
46°30′—47°00′	60°00′—60°15′	2	0	60	40
46°00′—46°30′	60°00′—60°15′	3	9.9	52	38.1
45°30′—46°00′	60°00′—60°15′	4	13.4	55.3	31.3
45°00′—45°30′	60°00′—60°15′	5	23.3	36.7	40
47°00′—47°30′	60°15′—60°30′	6	2.2	46.7	51.1
46°30′—47°00′	60°15′—60°30′	7	0	75	25
46°00′—46°30′	60°15′—60°30′	8	9	54	37
45°30′—46°00′	60°15′—60°30′	9	6.7	40	53.3
45°00′—45°30′	60°15′—60°30′	10	4.6	81.8	13.6
47°00′—47°30′	60°30′—60°45′	11	0	54.5	45.5
46°30′—47°00′	60°30′—60°45′	12	0	76.9	23.1
47°00′—47°30′	60°45′—61°00′	16	0	25	75
46°30′—47°00′	60°45′—61°00′	17	0	80	20
47°00′—47°30′	61°00′—61°15′	21	0	53.8	46.2
46°30′—47°00′	61°00′—61°15′	22	0	54.5	45.5

2.2 垂直分布

由表3可知,4个水层集群类型分布表现出一致性,即块状磷虾群分布占优,带状分布次之,散点状最少,且随着水深的增加,块状磷虾群所占比逐渐增加,而带状磷虾群所占的比例却出现相反的趋势。同时还可以发现,0~50 m、50~100 m和100~150 m水层之间的磷虾群分布均具有较高的相似性,而150~200 m水层与其他3个水层之间的磷虾群分布均无相似性($PSI=68.7\sim79.5$)。

从磷虾群的水层分布特征来看,随着水深的增加,3种类型的磷虾群分布均呈逐渐降低的趋势(表4)。块状磷虾群和带状磷虾群各水层分布极为相似($PSI=94.4$),散点状磷虾群和带状磷虾群各水层分布也具有较高的相似性($PSI=82.8$),0~50 m水层的磷虾分布显著高于50~100 m水层,而散点状和带状磷虾群各水层分布则不具相似性($PSI=77.9$)。

2.3 时间分布

由图6可知,6:00—7:00,磷虾群出现频率最

表3 同一水层中各类型磷虾群比例分布 (%)
Table 3 Proportion of different type of Antarctic krill aggregations by water layer

深度 (m)	散点	块状	带状	总计
0~50	5.8	54.4	39.8	100.0
50~100	13.4	54.6	32.0	100.0
100~150	13.0	65.2	21.8	100.0
150~200	0.0	85.7	14.3	100.0

表4 同一类型磷虾群各水层比例分布 (%)
Table 4 Proportion of three type of Antarctic krill aggregations in different water layers

类型	0~50 m	50~100 m	100~150 m	150~200 m	总计
散点	59.3	34.1	6.6	0.0	100.0
块状	75.6	19.0	4.5	0.9	100.0
带状	81.2	16.4	2.2	0.2	100.0

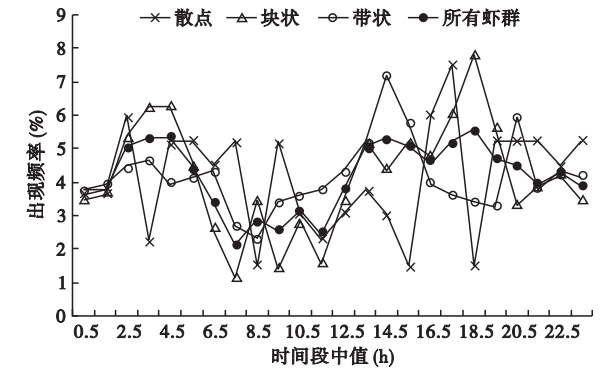


图6 南奥克尼群岛水域南极磷虾群出现频率随时间的变化
Fig. 6 Temporal variation on occurrence frequency of aggregations for Antarctic krill in the South Orkney Islands

高,约占出现总数的5.6%;2:00—3:00、15:00—16:00及16:00—17:00出现频率次之,分别占出现总数的5.3%。总得来看,19:00—翌日0:00为磷虾群出现频率较低的时间段(13.1%),出现频率较高的时段为1:00—7:00及14:00—18:00,分别占30.91%和20.2%。

在3种磷虾群类型中,5:00—6:00散点状磷虾群出现频率最高(7.5%);块状磷虾群在6:00—7:00出现频率最高(7.8%);带状磷虾群2:00—3:00出现频率最高,约占出现总数的7.2%。南极磷虾群在各个时间段均有出现,其出现频率波动较大,各形状磷虾群出现频次峰值基本上在早晨。

3 讨论

3.1 时间尺度

海洋生物在多种空间尺度上呈块状分布或具异质性,这是较为普遍的现象(Haury *et al.*, 1978; Murhpy *et al.*, 1988; Mangel & Beddington, 1994)。对于磷虾而言,集群通常以块状的形式呈现(Watkins, 2000),且其分布具有显著的季节和年际变化特点(樊伟等,2010)。Gareth等(2008a, 2008b)研究得出,南极磷虾的分布范围呈现为许多小而紧密相连的斑块状。朱国平等(2011)利用海上渔业调

查数据,并结合卫星获取的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,认为:南奥克尼群岛水域磷虾群主要出现在 $60^{\circ}00'S-60^{\circ}30'S, 46^{\circ}30'W-47^{\circ}30'W$ 范围内;2:00—18:00 为南极磷虾群出现频率较高的时段,随后南极磷虾群出现比例开始下降,22:00—2:00 降至最低。这与本研究的结论基本相似,但也存在一定的差异,原因可能有以下 2 个方面:与调查的年份、月份不同有关,本研究调查时间为 3—4 月,而朱国平等(2011)调查时间为 1 月,南极磷虾多变的时空分布特征也导致不同研究结果存在较大的差异,同时也造成该资源的评估结果存在较大的不确定性(Budziński *et al.*, 1985);与调查时的环境因素(如水温,食物来源等)不同有关,本文并没有考虑这些因子的影响,有一定的不足。

3.2 垂直尺度

本研究发现,各水层中南极磷虾群分布相似,在 100 m 水深以内磷虾群出现较多,0~50 m、50~100 m 和 100~150 m 水层之间的磷虾群分布均具有较高的相似性,而 150~200 m 水层与其他 3 个水层之间的磷虾群分布无相似性。Nast(1979)在象岛南部的一个站点观察到,夜间磷虾集群的平均深度为 20 m,而白天的平均水层则达到了 136 m。Kalinowski(1978)在南乔治亚岛外海发现,白天磷虾猬集约在 50 m,而夜间则遍布于 150 m 以浅水层。Everson(1984)也表示,白天开阔水域磷虾在 0~100 m 水层呈现出非常明显的垂直移动。所有这些研究均表明,南极磷虾集群多出现在 0~150 m 水层,而 150 m 以深水层则很少出现磷虾集群,这点也得到了本研究的印证。应该认识到,南极磷虾集群模式通常与其昼夜垂直移动有着密切的关系,而迄今为止,南极磷虾垂直移动的规律尚存在诸多疑问(Siegel & Kalinowski, 1994)。各水层南极磷虾集群模式不同也反映了所有因素,包括内在因素(繁殖和生理需求等)以及外界因素(海流、地形特征和光照等)并非独立产生作用,而可能是存在这相互联系,从而使南极磷虾集群成为一个复杂而动态的过程。

3.3 集群诱因

Zhou 和 Dorland(2004)对南极磷虾的集群和垂直迁移行为进行了研究,认为可通过观察它们的丰度和游泳速度来研究磷虾集群与昼夜迁移行为,其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。冰层可以保护南极磷虾逃避捕食

者(企鹅等)的袭击,在没有诸如食物或捕食者等的外部环境刺激下,南极磷虾就会显示出它们集群行为的特性。Ichii 等(1998)提出,海洋中的水流循环、摄食环境以及产卵环境会影响南极磷虾的分布。海洋特性(水流循环、锋面等)再加上良好的饵料条件是导致磷虾可能聚集在一起的诱因,而地形特征(即岛屿或陆架坡折)则可以让南极磷虾暂时停留,若此地还存在丰富的食物来源(特别是春夏季浮游植物大量繁殖时),磷虾就会形成稳定的高密度集群。本文中块状磷虾群比例在大部分分区中占优,余下的分区中带状磷虾群比例占优,在所有分区中散点状磷虾群比例均最低;不同水层中,均块状磷虾群分布占优,带状分布次之,散点状最少。可以看出,南极磷虾常常高密度聚集(形成块状分布),其所占比例较大。另一方面,本研究的调查时间为 3—4 月,正是南极磷虾的产卵季节,其产卵需要充足的食物来源,因此这种现象极可能与南极磷虾的摄食、产卵行为有关,但要很好地解释其行为,还需要将各种环境因子综合考虑做进一步的研究工作。

3.4 展望

本研究中南极磷虾群的 3 种分布类型由采集视频资料得到,影像中形状的不同与船速有一定关系,因为探鱼仪采用声波生成影像,船速大小对扫成的影像会产生一定的影响,船速的变化使采集得到的磷虾群形状数据产生一定误差,也使得结果存在一定的不确定性,这点需要在今后的研究中予以完善。另外,影像中会出现一些假象,并不排除这些图像为散状的虾群、鱼群、浮游生物群或其他生物群形成,也可能是杂波所致,但由于设备条件限制等因素,无法确认其产生原因及排除此因素对其分布的影响,但随着船上科学探鱼仪(如 SimRad EK-60)的配置,希望这方面的因素将在今后的研究中得到进一步的完善。同时,本研究中 25 个分区中,有 9 个分区无磷虾群出现,可能因为渔船根据水平探鱼仪的显示结果确定作业区域,采取瞄准捕捞的策略而致这些区域并无作业点出现,这为今后开展该海域的南极磷虾资源评估带来一定的不确定性。

本研究仅利用从调查期间的探鱼仪影像得到的数据分析南极磷虾群的水平、垂直及时间分布特征,未考虑其他环境因素对其时空分布的影响,而与其他甲壳类浮游动物一样(徐兆礼等,2006),外界环境条件对其分布存在着较为显著的影响(Loeb & Shulenberger, 1987; Maslennikov & Solyankin, 1988;

Murphy *et al.*, 1988; 朱国平, 2012; 朱国平等, 2012)。此外, 本研究的海上实测数据相对较少, 调查海域范围较小, 所选时间较短, 对系统研究南极磷虾的时空分布及变化规律有一定的不足, 今后的调查中将在数据采集、航线制定及仪器选择使用等诸多方面进行改进。同时, 可以开展更多南极海域的实测调查, 还可以配合相关环境变动因子来进一步探讨南奥克尼群岛西北部水域南极磷虾资源的时空分布, 为南极磷虾资源的进一步开发提供生产上的指导。

致谢 感谢上海开创远洋渔业有限公司及“开欣”轮船长和船员在取样过程中给予的大力配合。感谢中国南极磷虾渔业科学观察员在海上数据收集过程中所付出的辛勤劳动。

参考文献

- 樊伟, 伍玉梅, 陈雪忠, 等. 2010. 南极磷虾的时空分布及遥感环境监测研究进展. *海洋渔业*, **32**(1): 95–101.
- 黄洪亮, 陈雪忠, 冯春雷. 2007. 南极磷虾资源开发现状分析. *渔业现代化*, **34**(1): 48–51.
- 孙松, 严小军. 2001. 南极大磷虾的生物活性物质及其用途研究进展. *极地研究*, **13**(3): 213–216.
- 徐兆礼, 王云龙, 袁骥. 2006. 东海浮游枝角类生态学研究. *生态杂志*, **25**(6): 635–639.
- 朱国平, 冯春雷, 吴强, 等. 2011. 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. *海洋环境科学*, **30**(5): 636–639.
- 朱国平, 朱小艳, 徐怡瑛, 等. 2012. 基于 GAM 模型分析夏秋季南奥克尼群岛南极磷虾渔场时空分布及与环境因子之间的关系. *极地研究*, **24**(3): 266–273.
- 朱国平. 2011. 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*, **35**(5): 862–868.
- 朱国平. 2012. 基于广义可加模型研究时间和环境因子对南极半岛北部南极磷虾渔场的影响. *水产学报*, **36**(12): 1863–1871.
- Atkinson A, Whitehouse MJ, Priddle J, *et al.* 2001. South Georgia, Antarctica: A productive, coldwater, pelagic ecosystem. *Marine Ecology Progress Series*, **216**: 279–308.
- Budziński E, Bykowski P, Dutkiewicz D. 1985. Possibilities of processing and marketing of products made from Antarctic krill. FAO Fisheries Technical Paper 268. Rome: FAO.
- Everson I. 1984. Zooplankton// Laws RM, ed. *Antarctic Ecology* (vol. II). London: Academic Press: 463–490.
- Everson I. 2000. Ecosystem dynamics involving krill// Everson I, ed. *Krill Biology, Ecology and Fisheries*. Oxford: Blackwell Science: 202–227.
- Gareth LL, Peter HW, Timothy KS, *et al.* 2008a. Euphausiid distribution along the Western Antarctic Peninsula: Part A: Development of robust multi-frequency acoustic techniques to identify euphausiid aggregations and quantify euphausiid size, abundance, and biomass. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, **55**: 412–431.
- Gareth LL, Peter HW, Timothy KS, *et al.* 2008b. Euphausiid distribution along the Western Antarctic Peninsula: Part B: Distribution of euphausiid aggregations and biomass, and associations with environmental features. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, **55**: 432–454.
- Hamner WM, Hamner PP. 2000. Behavior of Antarctic krill (*Euphausia superba*): Schooling, foraging, and antipredatory behavior. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **57**: 192–202.
- Hamner WN, Hamner PP, Strand SW, *et al.* 1983. Behaviour of Antarctic krill, *Euphausia superba*: Chemoreception, feeding, schooling and molting. *Science*, **220**: 433–435.
- Haury LR, McGowan JA, Wiebe PH. 1978. Patterns and processes in the time-space scales of plankton distributions// Steele J, ed. *Spatial Patterns in Plankton Communities*. New York: Plenum Press: 277–327.
- Ichii T, Katayama K, Obitsu N, *et al.* 1998. Occurrence of Antarctic krill (*Euphausia superba*) concentrations in the vicinity of the South Shetland Islands: Relationship to environmental parameters. *Deep-Sea Research I: Oceanographic Research Papers*, **45**: 1235–1262.
- Kalinowski J. 1978. Vertical migration of krill in the region of South Georgia, February–March 1976. *Polskie Archiwum Hydrobiologii*, **25**: 573–583.
- Kasatkina SM, Malysheko AP, Shnar VN, *et al.* 2002. Characteristics of krill aggregations in the South Sandwich Islands subarea in January–February 2000. *CCAMLR Science*, **9**: 145–164.
- Loeb VJ, Shulenberger E. 1987. Vertical distributions and relations of euphausiid populations off Elephant Island, March 1984. *Polar Biology*, **7**: 363–373.
- Mangel M, Beddington JR. 1994. Spatial patterning in resource exploitation and conservation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, **343**: 93–98.
- Maslennikov VV, Solyankin EV. 1988. Patterns of fluctuations in the hydrological conditions of the Antarctic and their effects on the distribution of Antarctic krill// Sahrhage D, ed. *Antarctic Ocean and Resources Variability*. Berlin: Springer-Verlag: 209–213.
- Murphy EJ, Morris DJ, Watkins JL, *et al.* 1988. Scales of interaction between Antarctic krill and the environment// Sahrhage D, ed. *Antarctic Ocean and Resources Variability*. Berlin: Springer-Verlag: 120–130.
- Nast F. 1979. The vertical distribution of larval and adult krill (*Euphausia superba*) on a time station south of Elephant Island, South Shetlands. *Meeresforschung*, **27**: 103–118.
- Newman RM. 1987. Comparison of encounter model predictions with observed size-selectivity by stream trout. *Journal of the North American Benthological Society*, **6**: 56–64.
- Nicol S, Foster J. 2003. Recent trends in the fishery for Antarctic krill. *Aquatic Living Resources*, **16**: 42–45.
- Nicol S. 2006. Krill, currents and sea ice: The life cycle of *Euphausia superba* in relation to its changing environment. *Bioscience*, **56**: 111–120.
- Reiss CS, Cossio AM, Loeb V, *et al.* 2008. Variations in the biomass of Antarctic krill (*Euphausia superba*) around the

- South Shetland Islands, 1996–2006. *ICES Journal of Marine Science*, **65**: 497–508.
- Siegel V, Kalinowski J. 1994. Krill demography and small-scale processes: A review// El-Sayed SZ. ed. *Southern Ocean Ecology: The Biomass Perspective*. Cambridge: Cambridge University Press: 145–163.
- Siegel V, Sushin V, Damm U. 1998. Catch per unit effort (CPUE) data from the early years of commercial krill fishing operations in the Atlantic sector of the Antarctic. *CCAMLR Science*, **5**: 31–50.
- Siegel V. 1988. A concept of seasonal variation of krill (*Euphausia superba*) distribution and abundance west of the Antarctic Peninsula// Sahrhage D. ed. *Antarctic Ocean and Resources Variability*. Berlin: Springer Verlag: 219–230.
- Tarling GA, Klevjer T, Fielding S, *et al.* 2009. Variability and predictability of Antarctic krill swarm structure. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, **56**: 1994–2012.
- Watkins J. 2000. Aggregation and vertical migration// Everson I. ed. *Krill: Biology, Ecology and Fisheries*. Oxford: Blackwell Science Ltd.: 80–102.
- Whittaker RH. 1975. *Communities and Ecosystems*. New York: Macmillan.
- Zhou M, Dorland RD. 2004. Aggregation and vertical migration behavior of *Euphausia superba*. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, **51**: 2119–2137.
-
- 作者简介** 朱国平,男,1976 年生,博士,副教授,硕士生导师,主要从事于极地生物学和渔业生态学研究。E-mail: gpzhu@shou.edu.cn
- 责任编辑** 李凤芹
-