

## 2010/2011 年夏季南设得兰群岛北部 水域南极磷虾的种群组成

朱国平<sup>1,2,3,4</sup>, 朱小艳<sup>2</sup>, 夏 辉<sup>2</sup>, 李莹春<sup>2</sup>,  
徐怡瑛<sup>2</sup>, 徐鹏翔<sup>2</sup>, 许柳雄<sup>1,2,3,4\*</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 210306;

3. 上海海洋大学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 201306;

4. 上海海洋大学农业部大洋渔业资源环境科学观测实验站, 上海 201306)

**摘要:** 为了解中国南极磷虾渔业主要渔场——南设得兰群岛水域南极磷虾种群动态, 利用渔业科学观察员收集的生物学数据, 在将研究区域划分成 10' × 10' 小尺度单元的基础上, 实验分析了南设得兰群岛夏季南极磷虾种群组成的时空特征。结果表明, 23 个单元中, 雌性未成体 ( $F_2$ ) 的比例最高 (42.1%), 其次为雌性成体 ( $F_3$ , 35.6%), 雄性个体所占比例不足 20%, 且均为未成体 ( $M_2$ ), 而幼体 ( $I_1$ ) 的比例仅占 2.7%。12 月中旬,  $I_1$  阶段的磷虾个体占有一定的比例 (9.6%),  $M_2$  阶段磷虾个体比例较  $F_3$  阶段高。12 月下旬的情况与 1 月上旬较为相似,  $I_1$  个体未出现在调查样本中,  $M_2$  阶段磷虾个体比例下降,  $F_3$  阶段磷虾个体比例明显上升。 $M_2$ 、 $F_2$  和  $F_3$  阶段的磷虾个体在各水层中的分布模式较为相似 ( $PSI = 90.9 \sim 97.7$ )。 $I_1$  阶段磷虾个体主要分布在 60 ~ 80 m 水层 (66.9%), 而其它 3 个性成熟度的磷虾个体主要分布在 40 ~ 60 m 水层。

**关键词:** 南极磷虾; 种群组成; 南设得兰群岛; 小尺度研究单元

**中图分类号:** S 931.1

**文献标志码:** A

南极磷虾通常是指南极大磷虾 (*Euphausia superba* Dana), 呈环南极分布, 主要栖息于季节性海冰区, 为全球海洋生物中生物量最高的物种<sup>[1]</sup>。其主要摄食浮游动物, 同时也是南极海洋生态系统中顶级捕食者 (如, 鲸鱼、海豹、企鹅及海鸟等) 的重要食物来源<sup>[2]</sup>, 在南大洋海洋捕食者的摄食中起着主要的功能性作用, 且在捕食者能量需求较高的夏季, 这种作用更趋明显<sup>[3]</sup>。

南极半岛与南乔治亚岛之间的水域 (南极绕极流 - 维德尔海水团边界区) 是南极地区研究最多的区域<sup>[4]</sup>。由于该水域靠近维德尔 - 斯科舍辐合区, 且为水团混合区 (维德尔涡流、途经别林斯高晋海的西风漂流), 因此浮游动物生物量非

常高, 尤其是象岛周围<sup>[5]</sup>。自 20 世纪 20 年代“发现时代”以来, 斯科舍海就一直为南极磷虾环南极分布的关键水域<sup>[6]</sup>。斯科舍海西部和南极半岛 60°S 以南水域, 南极磷虾丰度更高, 其分布由斯科舍海东部向北延伸至 52°S 附近的南乔治亚群岛东北部<sup>[7]</sup>。

过去一系列标准化的中尺度调查已对南极磷虾种群动力学的年际变化进行了多次研究, 这些调查关注的水域包括象岛 (德国和美国 AMLR 计划)<sup>[8-9]</sup>, 南极半岛西部 (Palmer 长期生态研究)<sup>[10]</sup> 和南乔治亚群岛<sup>[11]</sup>, 但结果显示南极磷虾的丰度和补充存在着显著的年际变化<sup>[9,12]</sup>。利用我国第 1 次南大洋考察期间取样的数据, 王荣

收稿日期: 2012-12-07 修回日期: 2013-05-25

资助项目: 国家科技支撑计划 (2013BAD13B03); 国家“八六三”高技术研究发展计划 (2012AA092302); 公益性行业 (农业) 科研专项 (201203018); 国家海洋局极地科学重点实验室开放基金项目 (KP201210); 上海海洋大学“海鸥计划”项目 (B-5003-11-0023)

通信作者: 许柳雄, E-mail: lxxu@shou.edu.cn

等<sup>[13]</sup>分析了乔治王岛东北海域南极磷虾的种群结构。同时,商业性渔业调查所获得的南极磷虾种群结构也有报道<sup>[14-15]</sup>。但考虑到局部尺度<sup>[16]</sup>的南极磷虾种群结构和丰度存在着较大的年际变化<sup>[17]</sup>,且其种群短期变化的量化研究较少<sup>[16]</sup>。基于渔业调查数据,实验分析了2010年12月至2011年1月期间南极半岛北部(乔治王岛北部和象岛西部之间的水域)南极磷虾种群结构的时空分布特征,旨在对该水域南极磷虾种群整体评估提供基础信息<sup>[15]</sup>,同时也为我国南极磷虾渔业(48.1区为我国南极磷虾渔业的主要渔场)的可持续发展提供科学数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 调查海域和时间

调查时间为2010年12月14日—2011年1

月8日。调查海域为南极南设得兰群岛北部水域(57°15'W ~ 60°06'W, 61°08'S ~ 61°50'S)(图1)。调查渔船为中国大型拖网渔船“开利”轮。取样工具为商业性中层磷虾拖网,系四片式单船中层拖网,囊网网目尺寸为15 mm。本次调查为渔业调查,未设具体站位,仅为随机调查。作业时,按照南极海洋生物资源养护委员会(CCAMLR)要求,记录起放网的时间和位置、开始(结束)捕捞的时间和位置及拖曳深度等参数。

共取样60个站点南极磷虾样本,每站点随机取南极磷虾样本100或200尾,共取样11800尾,分别测量南极磷虾的体长(SL)和体质量(湿态全重),并依CCAMLR标准观察其性别及性成熟度,分别以幼体(I<sub>1</sub>)、未成体(雄性为M<sub>2</sub>,雌性为F<sub>2</sub>)和成体(雄性为M<sub>3</sub>,雌性为F<sub>3</sub>)表示<sup>[18]</sup>。

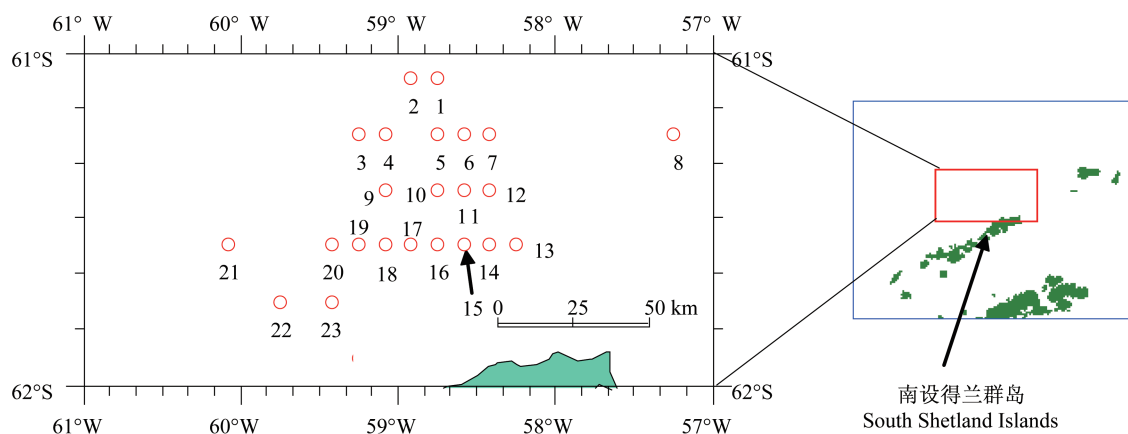


图1 调查区域

Fig.1 Survey area

### 1.2 数据处理

(1) 站点合并:考虑到本研究所利用的数据来自于渔业调查,站点并无一定的规律性,不便于进行空间比较分析。为此,以10' × 10'将上述60个调查站点归总成23个空间单元(图1)。

(2) 分析处于同一纬向、经向上的不同单元间南极磷虾性成熟度组成的相似性:利用百分比相似性指数(PSI)估算比例的相似性<sup>[19]</sup>。具体计算公式如下:

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

式中,PSI为单元间性成熟度比例的相似性, $P_{ik}$ 为第*i*个单元中性成熟度*k*所占的比例, $P_{jk}$ 为第*j*

个单元中性成熟度*k*所占的比例,*s*为性成熟度等级个数。通常认为,当PSI值≥80时,即认为两者之间相似<sup>[20]</sup>。

(3) 分析不同时段南极磷虾性成熟度组成的相似性:将调查月份(12月和1月)分成上、中和下旬,共有12月中旬,12月下旬和1月上旬等3个时段,利用PSI分析各时段南极磷虾性成熟度组成的相似性。

(4) 分析不同水层南极磷虾性成熟度组成的相似性:以拖曳水深作为被取样南极磷虾的栖息水层。以20 m为组距,将南极磷虾栖息水深刻分成6个水层,分别为[0 ~ 20)、[20 ~ 40)、[40 ~ 60)、[60 ~ 80)、[80 ~ 100)和[100 ~ 120] m。利

用 *PSI* 分析不同水层南极磷虾性成熟度组成的相似性。

考虑到数据的变化较大,且呈非正态分布,故采用非参数化手段进行统计分析。利用 Kruskal-Wallis (K-W) 检验评估各单元体长分布和不同性成熟度南极磷虾个体性成熟度组成分布是否存在显著性差异。

## 2 结果

### 2.1 总体分布情况

11 800 个南极磷虾样本中,雌性未成体的比例最高(42.1%),其次为雌性成体(35.6%),雄性个体所占比例不足 20%,且均为未成体,而幼体的比例仅占 2.7%。

23 个单元中,共有 7 个单元有  $I_1$  阶段的南极磷虾出现, $I_1$  阶段的平均体长为 33.7 ~ 44.2

mm,其中第 19 单元中  $I_1$  个体较多(26.3%),平均体长为所有单元中最小,第 6 单元中  $I_1$  个体比例最低(0.1%),但平均体长最大(表 1)。K-W 检验结果表明,各单元间  $I_1$  阶段南极磷虾体长分布存在显著性差异( $\chi^2 = 42.6, df = 6, P < 0.001$ )。所有单元均出现有  $M_2, F_2$  和  $F_3$  阶段的南极磷虾个体,平均体长分别为 49.5 ~ 52.9, 50.1 ~ 54.3 和 54.0 ~ 57.4 mm。各单元中,  $M_2, F_2$  和  $F_3$  阶段的南极磷虾所占比例存在较大的差异,分别为 7% ~ 34.5%, 14.5% ~ 56.0% 和 11.7% ~ 53.2%。K-W 检验结果显示,各单元间  $M_2, F_2$  和  $F_3$  阶段的南极磷虾个体体长分布均存在显著性差异( $M_2: \chi^2 = 90.9, df = 22, P < 0.001, F_2: \chi^2 = 257.8, df = 22, P < 0.001, F_3: \chi^2 = 152.3, df = 22, P < 0.001$ )。

表 1 2010—2011 渔季夏季南设得兰群岛北部水域分单元南极磷虾不同成熟度数量及比例分布

Tab. 1 Number and proportions (%) of different sexual maturity stages of juvenile, male and female *E. superba* collected in the northern South Shetland Islands during the austral summer of 2010—2011 season by units

单元 unit	中心 纬度 of unit center	中心 经度 of unit center	性成熟度 sexual maturity stage												样本量 <i>n</i>
			$I_1$			$M_2$			$F_2$			$F_3$			
			比例/ % percent	体长/ mm SL	标准差 SD	比例/ % percent	体长/ mm SL	标准差 SD	比例/ % percent	体长/ mm SL	标准差 SD	比例/ % percent	体长/ mm SL	标准差 SD	
1	61°05'	58°45'				15.5	51.7	2.54	45.5	52.4	2.72	39.0	55.5	2.53	200
2	61°05'	58°55'				7.5	49.5	2.97	52.0	51.6	3.00	40.5	55.6	2.09	200
3	61°15'	59°15'				7.0	50.4	2.67	52.5	54.3	2.28	40.5	56.6	1.97	200
4	61°15'	59°05'				9.3	51.6	3.10	52.3	53.7	2.54	38.5	56.1	2.05	400
5	61°15'	58°45'				11.5	52.0	2.47	47.2	52.7	2.75	41.3	56.0	2.11	1 000
6	61°15'	58°35'	0.1	44.2		14.1	51.8	2.31	39.3	52.9	3.05	46.5	55.8	2.31	1 000
7	61°15'	58°25'				11.8	51.0	2.36	39.5	52.7	2.55	48.8	55.8	2.08	400
8	61°15'	57°15'				27.0	52.5	1.91	49.5	54.0	2.74	23.5	56.8	1.80	200
9	61°25'	59°05'				30.0	52.1	2.38	53.3	52.2	3.53	16.8	56.0	2.61	400
10	61°25'	58°45'				21.8	52.1	2.37	31.8	51.9	2.88	46.5	55.6	2.09	800
11	61°25'	58°35'	0.2	41.5		17.0	51.9	2.43	29.7	52.3	2.65	53.2	55.7	1.92	600
12	61°25'	58°25'	0.3	37.5	3.53	15.6	51.9	2.44	42.6	52.7	2.93	41.5	55.8	2.10	1 200
13	61°35'	58°15'				33.0	52.3	2.26	46.5	52.8	3.01	20.5	56.5	2.13	400
14	61°35'	58°25'				19.3	52.2	2.27	41.2	52.3	3.09	39.5	55.5	2.37	600
15	61°35'	58°35'				17.3	51.5	3.15	40.0	51.7	3.56	42.8	55.9	2.02	400
16	61°35'	58°45'				20.3	52.4	2.37	31.2	52.6	2.72	48.5	55.3	2.24	600
17	61°35'	58°55'	0.2	42.2		33.0	52.3	2.54	41.5	53.1	2.77	25.3	56.2	2.32	600
18	61°35'	59°05'	12.2	35.9	3.39	26.4	51.8	2.94	48.3	52.3	3.43	13.1	56.0	2.06	1 000
19	61°35'	59°15'	26.3	33.7	2.77	25.8	50.9	2.89	36.2	51.0	3.67	11.7	55.4	2.01	600
20	61°35'	59°25'	6.8	34.4	3.91	33.8	52.7	2.75	44.8	52.6	3.61	14.8	56.6	1.92	400
21	61°35'	60°05'				17.0	51.0	2.21	44.5	50.9	2.75	38.5	54.4	2.32	200
22	61°45'	59°45'				13.0	52.7	1.88	56.0	54.2	2.25	31.0	57.4	1.80	200
23	61°45'	59°25'				34.5	52.9	2.40	14.5	52.6	1.87	51.0	55.6	2.08	200

## 2.2 水平分布

从纬向上来看,所有单元共分布在5条纬度线上。第1单元和第2单元处于最北的纬线上,性成熟度组成非常相似( $PSI=92.0$ );第3至8单元同处一条纬线上,其中第8单元明显距其它单元较远,这可能是其与其它单元性成熟度组成相似性不高( $PSI=74.8\sim 82.3$ )的原因之一,而第6和第8单元( $PSI=77.0$ )及第7和第8单元( $PSI=74.8$ )之间南极磷虾个体性成熟度组成不具相似性,其余单元之间均具有较高的相似性( $PSI=86.9\sim 97.8$ ),整体特征为 $F_2$ 阶段南极磷虾个体比例较高,其次为 $F_3$ 阶段个体;第9至12单元位于纬线 $61^{\circ}25'S$ 上,因第9单元中 $F_3$ 阶段南极磷虾个体比例较低(16.8%),造成其性成熟度组成与其它单元不存在相似性( $PSI=63.3\sim 75.3$ ),而其它单元之间则存在较高的相似性( $PSI=86.9\sim 93.3$ );第13至21单元同处于纬线 $61^{\circ}35'S$ 上,有近一半(47.2%)的单元中南极磷虾个体性成熟度组成不具相似性( $PSI=63.2\sim 77.8$ ),其中第18至20单元 $I_1$ 阶段南极磷虾个体所占比例较高,而其它单元大多未出现 $I_1$ 阶段个体,这种情形降低了整体上的性成熟度相似性,其余单元间的性成熟度组成 $PSI$ 均在85以上(表2)。

除第8、13、21、22单元外,其它单元至少有2个处于同一经线上。单元7、12和14分布在经向 $2(58^{\circ}25'W)$ 上,为南极磷虾个体性成熟度组成相似性最高的一组( $PSI=90.8\sim 96.3$ )。第3和19单元同处于 $59^{\circ}15'W$ 上,由于第19单元 $I_1$ 的比例非常高,致使其与第3单元南极磷虾个体的性成熟度组成相似性较低( $PSI=54.8$ )。第4、9和18单元位于 $59^{\circ}05'W$ 上,由于第4单元雄性个体的比例非常低(9.3%),致使其与另外两个单元南极磷虾个体的性成熟组成不具相似性( $PSI=70.7\sim 78.3$ ),而第9和第18单元南极磷虾个体的性成熟度组成 $PSI$ 达到了87.8。位于 $58^{\circ}35'W$ 上的第6、11和15单元中南极磷虾个体的性成熟度组成相似性非常高( $PSI=89.4\sim 96.2$ )。第1、5、10和16单元同处于 $58^{\circ}45'W$ 上,但各单元间南极磷虾个体的性成熟度组成分布较为相似( $PSI=84.0\sim 98.0$ )。尽管第2单元和第17单元以及第20单元和第23单元均同处于同一经线上,但各单元南极磷虾个体性成熟度组成均不具相似性( $PSI$ 为74.3和63.8)(表2)。

值得注意的是,单元8和单元21是所有单元中距离最远的2个单元,但性成熟度组成的相似性仍较高( $PSI=85.0$ )。

表2 不同尺度上南极磷虾性成熟度组成百分比相似性分析  
Tab. 2 The percentage similarity analysis on sexual maturity composition for *E. superba* on the different spatial-temporal scales

项目 item	序号 order	单元 unit	百分比相似性指数 percentage similarity index
纬向	1	1、2	92.0
	2	3、4、5、6、7、8	74.8~97.8
	3	9、10、11、12	63.3~93.3
	4	13、14、15、16、17、18、19、20、21	63.2~96.8
	5	22、23	84.8
经向	1	1、5、10、16	84.0~96.0
	2	2、17	74.3
	3	4、9、18	70.7~87.8
	4	7、12、14	90.8~96.3
	5	6、11、15	89.4~96.2
	6	3、19	54.8
	7	20、23	63.8
垂直	[0~20)、[20~40)、[40~60)、[60~80)、[80~100)和[100~120]m		76.9~97.1
月份	12月中旬、12月下旬、1月上旬		70.7~87.5

## 2.3 时间尺度分布

整体上看, $F_2$ 和 $F_3$ 阶段的南极磷虾个体在

所研究的3个时间段内比例均占优,且自12月下旬之后更趋明显。12月中旬, $I_1$ 阶段的南极磷虾

个体占有一定的比例(9.6%), $M_2$  阶段南极磷虾个体比例较  $F_3$  阶段高。进入 12 月下旬, $I_1$  个体未出现在调查样本中, $M_2$  阶段南极磷虾个体比例下降, $F_3$  阶段南极磷虾个体比例明显上升。1 月上旬的情况与 12 月下旬较为相似, $F_3$  阶段南极磷虾个体比例最高(44.8%)(图 2)。12 月中旬与 1 月上旬,南极磷虾个体性成熟度比例相似性最低( $PSI = 70.7$ ),而 12 月下旬与 1 月上旬之间相似性最高( $PSI = 98.3$ )(表 2)。

12 月中旬,共有 7 个单元( $PSI = 60.8$ ),取样位置集中在  $61^{\circ}25'S \sim 61^{\circ}45'S, 58^{\circ}45'W \sim 59^{\circ}45'W$ ;各单元  $F_2$  阶段南极磷虾个体的比例均非常高,除最南部的第 22 单元外,其余单元  $M_2$  阶段南极磷虾个体比例均在 25% 以上,且大部分单元均有不同比例的  $I_1$  阶段南极磷虾个体出现。12 月下旬为取样范围最大的时段,共有 16 个单元( $PSI = 53.3$ ),除第 8 单元外,其它单元基本上分布在  $58^{\circ}W \sim 59^{\circ}W$  范围内;整体上看,距离南设得兰群岛较远的西北部水域各单元  $F_2$  阶段南极磷虾个体比例占优,而距离南设得兰群岛较近的各单元  $F_3$  阶段南极磷虾个体比例则稍占优势,第

16 单元尤为明显, $F_3$  阶段南极磷虾比例占 65.8%。1 月上旬只有 2 个单元分布,性成熟度组成相似( $PSI = 87.5$ )(图 3)。

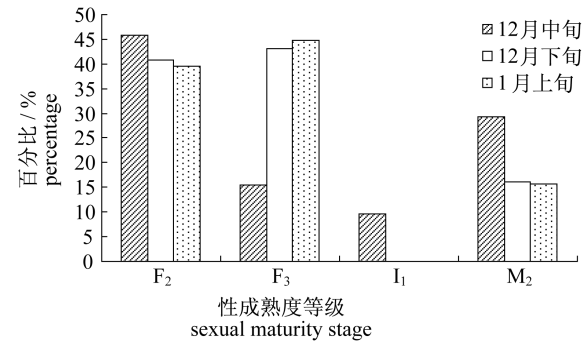


图 2 2010—2011 年夏季南设得兰群岛北部南极磷虾幼体 ( $I_1$ ), 雄体未成体 ( $M_2$ ) 及雌体 ( $F_2$  和  $F_3$ ) 分旬别比例分布

Fig. 2 The proportions (%) of different sexual maturity stages of juvenile ( $I_1$ ), adolescent male ( $M_2$ ) and female ( $F_2$  and  $F_3$ ) *E. superba* collected in the northern South Shetland Islands during the austral summer of 2010—2011 season by ten days

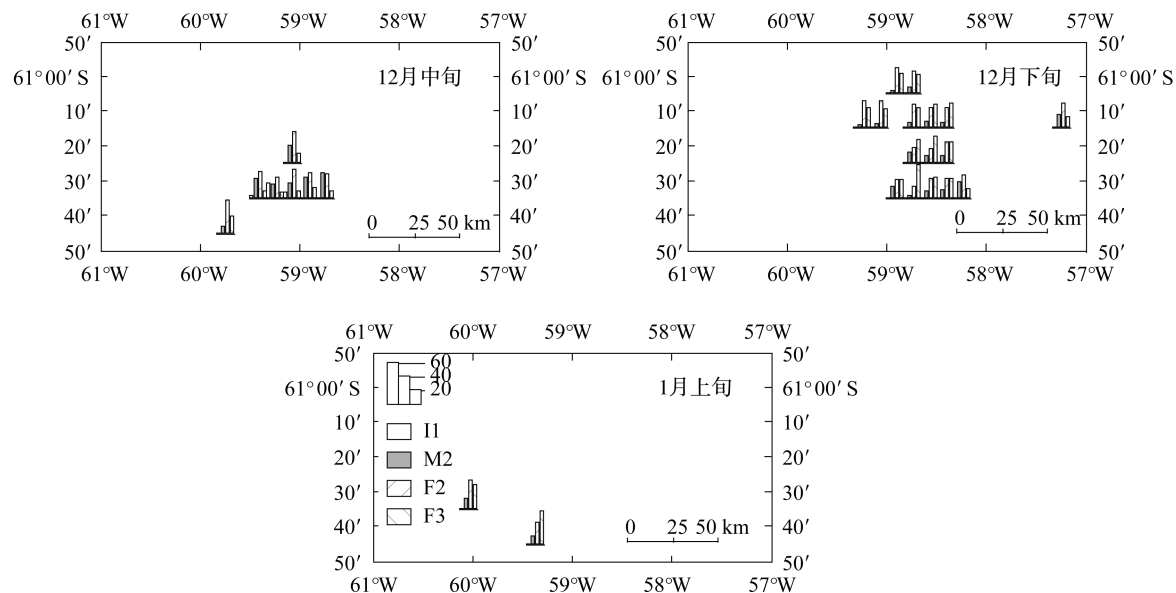


图 3 2010—2011 年夏季南设得兰群岛北部水域南极磷虾分旬别性成熟度分布

Fig. 3 Distribution of the sexual maturity stages of *E. superba* in the northern South Shetland Islands from units during the austral summer of 2010—2011 season by ten-day interval

#### 2.4 垂直分布

从各水层性成熟度比例分布情况来看,大多数水层间(86.7%)南极磷虾性成熟度比例  $PSI$  多在 80 以上,其中  $[0 \sim 20)$  和  $[20 \sim 40)$  m 水层南

极磷虾个体性成熟度比例相似性最低( $PSI = 76.9$ ),而  $[80 \sim 100)$  和  $[100 \sim 120)$  m 水层性成熟度比例相似性最高( $PSI = 97.1$ )(表 1)。

从各性成熟度等级在不同水层的分布来看,

$M_2$ 、 $F_2$  和  $F_3$  阶段的南极磷虾个体在各水层中的分布模式较为相似 ( $PSI = 90.9 \sim 97.7$ )。相对来讲,  $I_1$  阶段南极磷虾个体在各水层中的分布与其它性成熟度分布差异较大 ( $PSI = 42.5 \sim 47.2$ ), 其主要分布在 60 ~ 80 m 水层 (66.9%), 其次为 20 ~ 40 m 水层 (31.2%), 而其它 3 个性成熟度的南极磷虾个体主要分布在 40 ~ 60 m 水层, 其次为 60 ~ 80 m 水层 (图 4)。

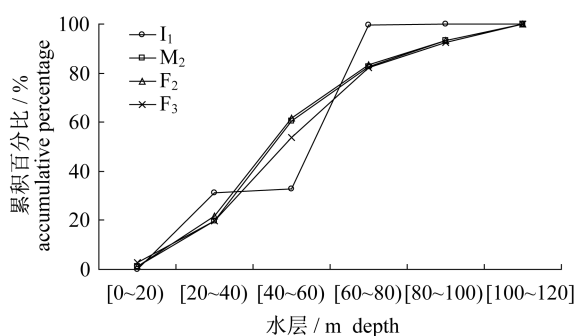


图 4 2010—2011 年夏季南设得兰群岛外海南极磷虾幼体 ( $I_1$ ), 雄体 ( $M_2$ ) 和雌体 ( $F_2$  和  $F_3$ ) *E. superba* 在 0—120 m 垂直分布  
Fig. 4 Vertical distributions of juvenile ( $I_1$ ), male ( $M_2$ ) and female ( $F_2$  and  $F_3$ ) *E. superba* in 0—120 m off northern South Shetland Islands in the austral summer of 2010—2011 season

### 3 讨论

#### 3.1 种群组成时空分布

过去几十年来, 针对南大西洋南极磷虾种群已开展了较多的研究和调查, 尤其是象岛水域<sup>[9]</sup>和 Palmer 长期生态研究站位<sup>[10]</sup>, 这些相关研究为理解南大西洋水域南极磷虾种群动力学奠定了基础<sup>[15]</sup>, 同时也可与本研究的相关结果进行比较。另外, 一些研究基于商业性渔业调查<sup>[15]</sup>对南极磷虾的种群组成进行了研究, 这些研究亦可为本研究提供有用的背景知识。

实验结果表明, 夏季 (12 月中旬至 1 月上旬) 南设得兰群岛北部水域 (乔治王岛北部, 象岛西部), 雌性未成体的比例最高 (42.1%), 其次为雌性成体 (35.6%), 雄性个体所占比例不足 20%, 且均为未成体, 而幼体 ( $I_1$ ) 的比例仅占 2.7%。12 月下旬, 距离南设得兰群岛较远的西北部水域  $F_2$  阶段个体比例占优, 而距离南设得兰群岛较近水域  $F_3$  阶段个体稍占优势。12 月中旬,  $I_1$  的比例较其它 2 个时期高。CCAMLR 于 2000 年对南

极半岛水域开展了大面调查<sup>[7]</sup>, 结果显示, 南极磷虾性成熟度的空间分布存在着差异, 2000 年 1 月底至 2 月初, 南极半岛北部 (西南大西洋水域) 近 45% 的南极磷虾为幼体, 30% 以上的个体为未成体 ( $M_2$  和  $F_2$ ), 成熟雌体所占比例不足 15%。斯科舍海西北部及南极半岛外侧水域则主要是更高成熟阶段的成体。斯科舍海抱卵雌体和产卵后雌体分布并不均匀, 产卵种群 ( $F_3D$  和  $F_3E$ ) 分布有两个热区, 其中之一处于南极半岛和南奥克尼群岛之间的陆架外侧和开阔水域。Loeb 等<sup>[21]</sup>于 1988 年 1 月 24 日—2 月 14 日对象岛和乔治王岛周边水域进行南极磷虾调查时发现, 成熟个体比例占优 (61%), 67% 的幼体后期雄体达成熟状态, 而 91% 的雌体为成熟个体。幼体比例为 23%, 未成熟个体 (绝大多数为雄体) 仅占 17%。幼体、未成体及成体体长范围具较大重叠。象岛西部和南部以及乔治王岛北部水域成体占优 (71% ~ 85%); 象岛北部水域未成体 (幼体和未成熟雄体) 和成体所占比例相当 (46% 和 54%); 乔治王岛南部水域幼体 (64%) 和未成体 (23%) 占较大比例。象岛和乔治王岛北部水域南极磷虾成熟度组成具有一定的相似性 ( $PSI$  为 76 ~ 80)。与其他区域相比, 乔治王岛南部幼体和未成体占优,  $PSI$  值较低 (26 ~ 50)。Loeb 等<sup>[21]</sup>认为, 1—2 月声学调查结果显示南极磷虾分布与 1987 年 11—12 月该水域调查<sup>[22-23]</sup>存在一定的差异。象岛和乔治王岛陆架及陆坡水域, 较高成熟阶段的雌体 (抱卵和产卵后成体) 的比例增加, 而近岸水域较大的成熟个体比例增加, 这与 Siegel<sup>[24]</sup>的结果较为相似。有学者认为, 11—12 月与 1—2 月研究结果在分布上的不一致可能归因于南极磷虾个体的东向输送<sup>[22]</sup>。Siegel 等<sup>[25]</sup>于 2001 年夏季 (1 月 27 日—2 月 4 日) 对象岛周围海域的南极磷虾资源进行了调查, 结果表明, 象岛水域南极磷虾种群主要由幼体或早期未成体组成, 其中幼体占 53%, 成体仅占 22%。尽管南极磷虾在 11 月底至翌年 4 月初期间产卵, 但产卵活动大部分集中在较短的时间段内, 且各年产卵开始时间也存在较大的差异。90% 的成熟雌体在全长 36 ~ 39 mm 时达到完全成熟状态, 并首次产卵<sup>[26]</sup>。Quetin 等<sup>[27]</sup>发现, 1982 年夏季南极磷虾种群组成存在较大的变化, 性成熟度组成存在显著的地域差异。抱卵雌体发现于南设得兰群岛西北部和象岛南

部,布朗菲尔德海峡及帕尔默半岛与南极半岛之间的水域内主要为幼体,而两个海区之间则存在着不同的性成熟度个体<sup>[27]</sup>。Takahashi 等<sup>[28]</sup>通过 1994 年 10 月—1995 年 3 月期间南极半岛海域南极磷虾资源调查进行分析后发现,南设得兰群岛和象岛两个断面上近海站位的南极磷虾体长较近岸站位大。春夏季节,成体由沿岸水域游至开阔水域产卵,并在秋季返回沿岸水域<sup>[24]</sup>。未成体和幼体则全年驻留在沿岸水域<sup>[24]</sup>。两个断面南极磷虾平均体长由近岸至近海水域不断增加可能是由于夏季南极磷虾迁移所造成<sup>[28]</sup>。样本中,约 54% 的个体为雌性,雄性和幼体比例分别为 41% 和 5%。近海站位成体较近岸站位比例高,近海站位抱卵雌体和完全性成熟雄体比例较高,而近岸站位未成体较多。近岸一些站位发现有幼体。开阔水域站位南极磷虾成体比例较高也可能是南极磷虾迁移所造成<sup>[28]</sup>。

综合上述研究并比较后可以发现,各研究针对南极半岛和维德尔海南极磷虾种群组成的研究之

间存在较大的年际变化(表 3)。相对来讲,多数研究结果均显示  $I_1$  个体所占比例较低( $< 10\%$ ),Loeb 等<sup>[21]</sup>表示, $I_1$  的比例达到了 64.1%, $F_2$  个体的比例也基本上维持在 15% 以内,这与本研究及其他研究的结果存在较大的差异,造成这种结果的原因可能是:①各研究采用的调查网具不同,商业性中层拖网、科学调查用中层拖网及浮游生物网的筛绢孔径均不相同,因此所采集的样本规格也会存在一定的差异;②调查时间不一致,本研究调查时间为 12 月中旬—1 月上旬,其他多数研究的调查时间均在 1 月下旬以后;③在性成熟度等级辨别上可能会产生一定的误差。 $M_2$  个体的比例多维持在 10%~20% 之间, $F_3$  个体的比例相对占优,多数研究基本上均维持在 30% 以上,但不同研究之间  $M_3$  个体的比例相差较大( $< 0.01\% \sim 38.1\%$ )。但无论如何,实验结果表明,夏季南设得兰群岛水域样本组成中主要以成体及未成体为主,这仍符合南极磷虾种群结构的分布特征<sup>[29-31]</sup>。

表 3 南极半岛周边水域南极磷虾性成熟度组成比较  
Tab. 3 Comparison on the proportion of sexual maturity stages of *E. superba* in the northern Antarctic Peninsula from the published studies

区域 area	调查时间 time	采样工具 sampling net	性成熟度比例/% proportion of sexual maturity stage					来源 sources
			$I_1$	$F_2$	$M_2$	$F_3$	$M_3$	
南设得兰群岛北部	12 月 14 日—1 月 8 日	商业性中层拖网	2.5	42.2	19.7	35.5	$< 0.1$	本研究
乔治王岛东北部	1 月 24 日	Isaacs-Kidd 中层拖网	0.1	0.0	3.4	78.6	17.9	19
象岛周边水域	1 月 15—28 日	Isaacs-Kidd 中层拖网	3.1	10.4	19.7	40.6	26.2	49
象岛南部	1 月 24—30 日	Bongo 浮游生物网	20.8	0.7	7.6	49.3	21.5	31
象岛西部	1 月 24—30 日	Bongo 浮游生物网	3.0	2.5	9.7	46.6	38.1	31
乔治王岛南部	1 月 31 日—2 月 7 日	Bongo 浮游生物网	64.1	11.8	10.8	10.8	2.6	31
斯科舍海	1 月底—2 月初	矩形中层拖网	$> 30$	$\sim 45$		$< 15$		12
南极大西洋西南部	1 月 4 日—3 月 28 日	大型浮游生物采样网	7.7	12.5	33.1	33.5	13.2	50
乔治王岛北部	2 月 7—10 日	Bongo 浮游生物网	15.7	1.5	11.1	33.6	38.1	31
象岛北部	2 月 12—14 日	Bongo 浮游生物网	23.5	2.8	19.7	31.1	22.9	31
象岛周边水域	2 月 10—26 日	Isaacs-Kidd 中层拖网	0.0	0.7	4.4	63.8	31.1	49
南设得兰群岛北部	10 月—翌年 3 月	Kaiyo-maru 中层拖网	3.6	5.5	17.7	51.4	21.8	38

### 3.2 种群组成垂直分布

Loeb 等<sup>[32]</sup>对 1984 年 3 月象岛周边水域南极磷虾的垂直分布进行了分析后发现,夜间 0~25 m 水层中南极磷虾个体主要为稚体后期(94%),这与其他水层南极磷虾有着较大的差异( $PSI$  为 6~70)。25~125 m 水层之间,南极磷虾个体的渔获结构较为相似( $PSI = 76 \sim 91$ )。以 10 m 为

间隔分析可知,夜间 70 m 以上水层南极磷虾性成熟度分布并不一致,某些网次 0~10 m 和 10~20 m 水层  $PSI$  值较低( $PSI = 20 \sim 74$ ),而 20~30 m 和 30~40 m 水层之间的  $PSI$  值却很高( $PSI = 88 \sim 90$ )。实验中,幼体比例最高的水层为 60~80 m 水层(6.6%),其它水层幼体比例均不足 5%,且不同水层性成熟度组成  $PSI$  均维持在 80

以上,这与 Loeb 等<sup>[32]</sup>的结果有较大的差异,可能的原因是:①调查时间上的差异,本研究调查时间为12月中旬—1月初,而 Loeb 等<sup>[32]</sup>的取样时间为3月份;②调查水域的不同,实验调查区域位于乔治王岛北部,而 Loeb 等<sup>[32]</sup>的调查位置则处于象岛北部;③时空尺度不同,Loeb 等<sup>[32]</sup>的研究主要是描述夜间南极磷虾不同性成熟度在垂直方向上的分布情况,而本研究只是从整体上分析了南极磷虾性成熟度的垂直分布。

无论是时间(月份)分布,还是空间(垂直和水平)分布,南极磷虾种群组成均存在较大的变化,如此高的变化也为南大西洋(CCAMLR 48区)的南极磷虾管理带来了困难,这需要更大尺度的长期南极磷虾资源调查,同时还应将海区细分成精细尺度研究单元<sup>[7]</sup>。

感谢上海开创远洋渔业有限公司及“开利”轮、“开顺”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。实验部分得到了南极海洋生物资源开发利用项目的支持。

#### 参考文献:

- [1] Macaulay M C, English T S, Mathisen O A. Acoustic characterization of swarms of Antarctic krill (*Euphausia superba*) from Elephant Island and Bransfield Strait[J]. *Journal of Crustacean Biology*, 1984, 4(suppl. 1): 16 - 44.
- [2] Everson I. Role of krill in marine food webs 7.3 the Southern Ocean[C] // Everson I, Ed. *Krill: biology, ecology and fisheries*. Oxford: Blackwell, 2000: 194 - 201.
- [3] Croll D A, Tershy B R. Penguins, fur seals, and fishing: prey requirements and potential competition in the South Shetland Islands, Antarctica[J]. *Polar Biology*, 1998, 19(6): 365 - 374.
- [4] Marin V. The oceanographic structure of the eastern Scotia Sea-IV. Distribution of copepod species in relation to hydrography in 1981 [J]. *Deep Sea Research-Part I. Oceanographic Research Papers*, 1987, 34(1): 105 - 121.
- [5] Nast F, Kock K H, Sahrhage D, et al. Hydrography, krill and fish and their possible relationships around Elephant Island [C] // Sahrhage D, Eds. *Antarctic Ocean and resources variability*. New York: Springer Berlin Heidelberg, 1988: 183 - 198.
- [6] Marr J W S. The natural history and geography of the Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana) [R]. *Discovery Report*, 1962, 32: 33 - 464.
- [7] Siegel V, Kawaguchi S, Ward P, et al. Krill demography and large-scale distribution in the southwest Atlantic during January/February 2000 [J]. *Deep Sea Research-Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2004, 51(12 - 13): 1253 - 1273.
- [8] Hewitt R P, Demer D A. The use of acoustic sampling to estimate the dispersion and abundance of euphausiids, with an emphasis on Antarctic krill, *Euphausia superba* [J]. *Fisheries Research*, 2000, 47(2 - 3): 215 - 229.
- [9] Siegel V, Loeb V, Gröger J. Krill (*Euphausia superba*) density, proportional and absolute recruitment and biomass in the Elephant Island region (Antarctic Peninsula) during the period 1977 to 1997 [J]. *Polar Biology*, 1998, 19(6): 393 - 398.
- [10] Ross R M, Quetin L B, Lascara C M. Distribution of Antarctic krill and dominant zooplankton west of the Antarctic Peninsula [C] // Hofmann E E, Ross R M, Quetin L B, Eds. *Foundations for Ecological Research West of the Antarctic Peninsula*. Antarctic Research Series, Washington, D. C.: American Geophysical Union, 1996, 70: 199 - 217.
- [11] Brierley A S, Watkins J L, Murray A W A. Interannual variability in krill abundance at South Georgia [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1997, 150: 87 - 98.
- [12] Brierley A S, Demer D A, Watkins J L, et al. Concordance of interannual fluctuations in acoustically estimated densities of Antarctic krill around South Georgia and Elephant Island: biological evidence of same-year teleconnections across the Scotia Sea [J]. *Marine Biology*, 1999, 134(4): 675 - 681.
- [13] 王荣, 陈时华. 乔治王岛东北海域大磷虾种群构成分析 [J]. *南极研究*, 1988, 1(2): 15 - 21.
- [14] Kawaguchi S, Ichii T, Naganobu M. Catch per unit effort and proportional recruitment from Japanese krill fishery data in Subarea 48. 1 [J]. *CCAMLR Science*, 1997, 4: 47 - 63.
- [15] Nicol S, Kitchener J, King R, et al. Population structure and condition of Antarctic krill (*Euphausia superba*) off East Antarctica (80 - 150°E) during the Austral summer of 1995/1996 [J]. *Deep Sea Research-Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2000, 47(12 - 13): 2489 - 2517.



- [16] Brinton E, Loeb V J, Macaulay M C, *et al.* Variability of *Euphausia superba* populations near Elephant Island and the South Shetlands; 1981 vs. 1984 [J]. *Polar Biology*, 1987, 7(6): 345 – 362.
- [17] Hempel I. Variation in geographical distribution and abundance of larvae of Antarctic krill, *Euphausia superba* in the southern Atlantic ocean [M] // Siegfried W R, Condy R R, Laws R M, Eds. Antarctic nutrient cycles and food webs. New York: Springer, Berlin Heidelberg, 1985; 308 – 310.
- [18] CCAMLR. Scheme of international scientific observation [R]. Hobart, Australia; CCAMLR, 2011.
- [19] Whittaker R H. Communities and ecosystems [M]. New York: Macmillan, 1975; 386.
- [20] 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.
- [21] Loeb V J, Amos A F, Macaulay M C, *et al.* Antarctic krill stock distribution and composition in the Elephant Island and King George Island areas, January-February, 1988 [J]. *Polar Biology*, 1993, 13(3): 171 – 181.
- [22] Sahrhage D. Hydroacoustic detection of krill during “Polarstern” cruises ANT V/1 (1986) and ANT VII2 (1987) [J]. *Archiv für Fischereiwissenschaft*, 1989 (suppl. 1), 39: 73 – 80.
- [23] Siegel V. Winter and spring distribution and status of the krill stock in Antarctic Peninsula waters [J]. *Archiv für Fischereiwissenschaft*, 1989, 39: 45 – 72.
- [24] Siegel V. A concept of seasonal variation of krill (*Euphausia superba*) distribution and abundance west of the Antarctic Peninsula [M] // Sahrhage D, Eds. Antarctic Ocean and resources variability. New York: Springer, Berlin Heidelberg, 1988; 219 – 230.
- [25] Siegel V, Bergström B, Mühlenhardt-Siegel U, *et al.* Demography of krill in the Elephant Island area during summer 2001 and its significance for stock recruitment [J]. *Antarctic Science*, 2002, 14(2): 162 – 170.
- [26] Siegel V, Loeb V. Length and age at maturity of Antarctic krill [J]. *Antarctic Science*, 1994, 6(4): 479 – 482.
- [27] Quetin L B, Ross R M. School composition of the Antarctic krill *Euphausia superba* in the waters west of the Antarctic peninsula in the austral summer of 1982 [J]. *Journal of Crustacean Biology*, 1984, 4 (suppl. 1): 96 – 106.
- [28] Takahashi K T, Kawaguchi S, Kobayashi M, *et al.* The variability in abundance of eugregarines living in the Antarctic krill [J]. *Polar Bioscience*, 2004, 17: 16 – 25.
- [29] Ichii T, Naganobu M. Surface water circulation in krill fishing areas near the South Shetland Islands [J]. *CCAMLR Science*, 1996, 3: 125 – 136.
- [30] Hofmann E E, Klinck J M, Locarnini R A, *et al.* Krill transport in the Scotia Sea and environs [J]. *Antarctic Science*, 1998, 10(4): 406 – 415.
- [31] 朱国平, 吴强, 冯春雷, 等. 基于渔业调查的南极半岛北部水域南极磷虾种群年龄结构分析 [J]. *生态学报*, 2011, 31(16): 4620 – 4627.
- [32] 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.

**Population composition of Antarctic krill (*Euphausia superba*) in the northern South Shetlands Island areas during the austral summer of 2010/2011 season**

ZHU Guoping<sup>1,2,3,4</sup>, ZHU Xiaoyan<sup>2</sup>, XIA Hui<sup>2</sup>, LI Yingchun<sup>2</sup>,  
XU Yiyi<sup>2</sup>, XU Pengxiang<sup>2</sup>, XU Liuxiong<sup>1,2,3,4\*</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. The Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

4. Scientific Observing and Experimental Station of Oceanic Fishery Resources, Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** In order to understand the population dynamics of Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana) in the South Shetland Islands, the main Chinese fishing ground of Antarctic krill fishery, using the biological data collected by the fishery observers, the present study analyzes the spatial-temporal characteristics of population composition of Antarctic krill based on dividing the study area into small scale units with the latitude-longitude spatial resolution of 10' and 10'. The results show that, in the 23 units analyzed, the proportion of immature females is highest (42.1%), followed by mature females (35.6%), the proportion of males is below 20% and all individuals are immature, the proportion of juvenile individuals is only 2.7%. Compared with other periods, the individuals in juvenile stage is higher (9.6%) in the middle of December 2010 and the proportion of immature males ( $M_2$ ) is higher than that of mature females ( $F_3$ ). The similarity of maturity stage composition can be found in the last ten-day period of December 2010 and the first ten-day of January 2011, the juveniles can not be found in the samples and the proportion of  $M_2$  is decreasing and the proportion of  $F_3$  is significantly increasing. The distribution patterns of  $M_2$ ,  $F_2$  and  $F_3$  are similar in the different water layers ( $PSI = 90.9 - 97.7$ ). The juveniles are mainly distributed in the 60 to 80 m layer (66.9%) and the individuals of  $F_2$ ,  $M_2$  and  $F_3$  are located in the 40 to 60 m layer.

**Key words:** *Euphausia superba*; population composition; South Shetland Islands; small scale research unit

**Corresponding author:** XU Liuxiong. E-mail: lxxu@shou.edu.cn