

# 南极半岛邻近海域长臂樱磷虾的数量分布与生长发育

陈丹<sup>1,2</sup> 左涛<sup>2</sup> 赵宪勇<sup>2\*</sup> 吴强<sup>2</sup> 朱国平<sup>1</sup> 冯春雷<sup>3</sup> 黄洪亮<sup>3</sup> 李显森<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>上海海洋大学 海洋科学学院, 201306)

(<sup>2</sup>农业部海洋渔业可持续发展重点实验室 山东省渔业资源与生态环境重点实验室

中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071)

(<sup>3</sup>中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海 200090)

**摘要** 利用2010年1月23日~2月13日在南极半岛邻近海域南设得兰群岛(CCAMLR 48.1亚区内)和南奥克尼群岛(CCAMLR 48.2亚区内)南极大磷虾 *Euphausia superba* Dana 渔场采集的浮游动物样品,对长臂樱磷虾 *Thysanoessa macrura* G. O. Sars 数量密度、体长分布及发育期组成等进行了研究;样品由330 μm 浮游生物垂直拖网和500 μm 表层水平拖网采集。调查海域表层水温范围为0.37~2.49 °C,平均1.58 °C;盐度范围为32.91~34.32,平均33.88。长臂樱磷虾广泛分布于调查水域;以垂直网样计,48.1亚区的平均密度为261.6 ind/1 000 m<sup>3</sup>,48.2亚区为391.5 ind/1 000 m<sup>3</sup>,各站位的分布密度与表层水温呈显著正相关( $P=0.04$ )。长臂樱磷虾由CII期原蚤状幼体至成体间的所有发育期个体组成,以蚤状幼体数量居多;蚤状幼体、未成体及成体的体长范围与平均体长分别为2.74~6.80 mm、5.15 mm、6.81~16.20 mm、8.15 mm、15.40~20.70 mm、17.98 mm。蚤状幼体各期生长率范围为0.013~0.064 mm/d,两亚区间无显著差异( $P=0.37$ ),各期均值为0.040 mm/d;48.1亚区长臂樱磷虾生殖季节的估测结果为9月末~10月,48.2亚区内为10月初~11月中旬。长臂樱磷虾在水平网中的出现频率和个体出现数量均高于垂直网,说明在磷虾水平分布和生长发育研究中,水平拖网可作为垂直拖网的有效补充发挥重要作用。

**关键词** 长臂樱磷虾 数量分布 发育期 生长率 南极

**中图分类号** S932.5+1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2013)03-0029-09

## Distribution and development of *Thysanoessa macrura* in waters adjacent to the Antarctic Peninsular

CHEN Dan<sup>1,2</sup> ZUO Tao<sup>2</sup> ZHAO Xian-yong<sup>2\*</sup> WU Qiang<sup>2</sup> ZHU Guo-ping<sup>1</sup>  
FENG Chun-lei<sup>3</sup> HUANG Hong-liang<sup>3</sup> LI Xian-sen<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, 201306)

(<sup>2</sup>Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Shandong Provincial Key Laboratory for Fishery Resources and Eco-environment, Yellow Sea Fisheries Research Institute,

Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

(<sup>3</sup>East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090)

**ABSTRACT** Based on zooplankton samples collected in Antarctic krill *Euphausia superba*

公益性行业(农业)科研专项(201203018)和农业部“南极海洋生物资源开发利用”项目共同资助

\* 通讯作者。E-mail: zhaoxy@ysfri. ac. cn

收稿日期:2013-03-16;接受日期:2013-04-10

作者简介:陈丹(1988-),女,硕士研究生,主要从事南极磷虾生物学特性研究。E-mail: chen\_dan00@126. com, Tel: 15065429661

Dana fishing grounds adjacent to the South Shetland Islands (CCAMLR subarea 48.1) and South Orkney Islands (CCAMLR subarea 48.2) in the Antarctic peninsular region during the period of January 23 to February 13, 2010, the abundance density, length distribution and development stage composition of *Thysanoessa macrura* G. O. Sars were studied. Samples were collected by two types of plankton nets, one was vertically towed plankton net with 330 $\mu$ m mesh size, and the other was horizontally towed surface plankton net with 500 $\mu$ m mesh size. Sea surface temperature (SST) ranged from 0.37 °C to 2.49 °C, with a mean of 1.58 °C; surface salinity ranged from 32.91 to 34.32, with a mean of 33.88. *T. macrura* was found in most of the survey area; vertical sample showed that the mean density was 261.6 ind/1000m<sup>3</sup> in subarea 48.1 and 391.5 ind/1000m<sup>3</sup> in subarea 48.2, and the density was positively correlated to SST ( $P=0.04$ ). *T. macrura* was composed of individuals at all development stages from CII to adults and dominated by furcilia. The range and mean total length of furcilia, juvenile and adult were 2.74~6.80 mm, 5.15 mm; 6.81~16.20 mm, 8.15 mm and 15.40~20.70 mm, 17.98 mm respectively. The growth rate at the various stages of furcilia ranged from 0.013~0.064 mm/d; no significant difference was found between the two subareas ( $P=0.37$ ), and the global mean was 0.040 mm/d. The spawning season of *T. macrura* was estimated to be at the end of September to October in subarea 48.1 and at the beginning of October to mid November in subarea 48.2. *T. macrura* appeared more frequently in the surface towed net both in terms of station and in terms of specimen, indicating that the surface towed net can be an effective supplement to the vertically towed net in study of the spatial distribution and growth of krills in general.

**KEY WORDS** *Thysanoessa macrura* Density distribution Development stage  
Growth rate Antarctic

长臂樱磷虾 *Thysanoessa macrura* G. O. Sars 是南极海域资源量仅次于南极大磷虾 *Euphausia superba* Dana, 广泛分布于环南极水域的一种磷虾,除了南极近岸锋区(Brinton 1985)和大洋深水区,它甚至还出现于南极辐合带以北(Mauchline *et al.* 1969; Kirkwood 1982; Makarov *et al.* 1990),是南极水域须鲸、企鹅以及许多鱼类的重要饵料,因而成为南极海洋生态系统的—个关键种。特别是在南太平洋纬度相对较低的海域,长臂樱磷虾甚至取代了南极大磷虾,成为更高营养级捕食者的主要食物来源(Makarov 1979; 仲学锋等 1993)。

南大西洋南极半岛周边海域是长臂樱磷虾分布较为丰富的水域,国外学者曾对斯科舍海(Makarov 1979; Makarov *et al.* 1990)、布兰斯菲尔德海峡(Nordhausen 1992)、德雷克海峡(Kittel *et al.* 1983)等不同海域长臂樱磷虾的分布、垂直迁移及其生长发育进行过研究。此外,南印度洋普里兹湾(Hosie 1991; 仲学锋等 1993; 杨光等 2010)、南太平洋罗斯海(Taki *et al.* 2008, 2009)等海域内也有相关研究。

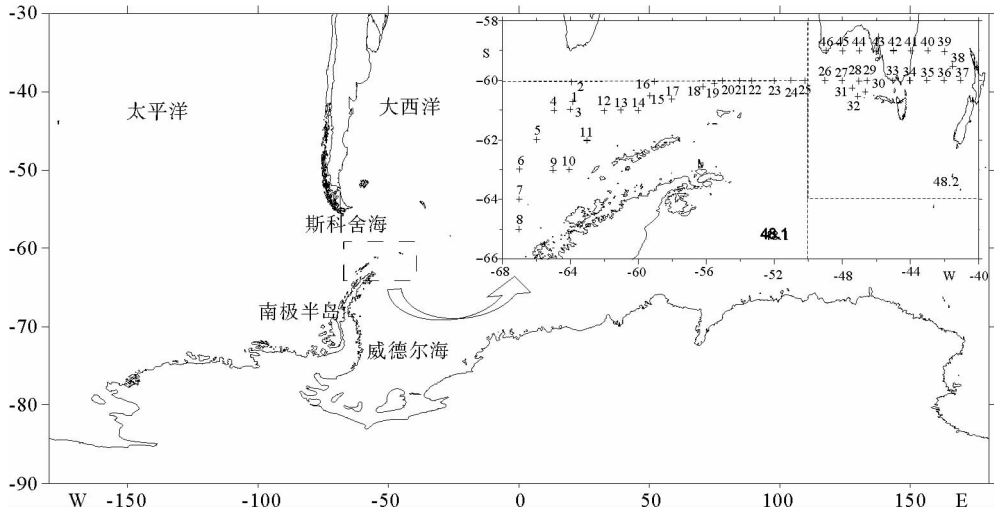
为了解目前南极磷虾主要渔场长臂樱磷虾资源状况,依托农业部“南极海洋生物资源开发利用”项目,对南大西洋西侧南极半岛海域长臂樱磷虾的数量与体长分布、发育期组成以及相关环境因子进行了分析研究,以丰富对磷虾渔场生态系统的认知。

## 1 材料与方 法

### 1.1 样品的采集与处理

样品为搭载中国渔轮,于2010年1月23日~2月13日在南极半岛周边的南设得兰群岛附近水域和南奥

克尼群岛附近水域采集所获。所涉海域分别位于南极海洋生物资源养护委员会(CCAMLR)划定的 48.1 统计亚区和 48.2 统计亚区,其中 48.1 亚区实施站位 25 个,48.2 亚区站位 21 个,总计取样站位 46 个(图 1)。



“+”代表站位,点虚线框代表 CCAMLR 48.1 和 48.2 亚区的边界

“+” represent sampling stations, dotted lines represent the boundaries of CCAMLR subareas 48.1 and 48.2

图 1 调查区域(长虚线框)及长臂樱磷虾样品采集站位分布(内插图)

Fig. 1 Survey area (dashed line box) and distribution of the sampling stations (inset) for *T. macrura*

长臂樱磷虾样品的采集方式有两种,一是使用网口直径 80cm(网口面积  $0.5\text{m}^2$ )、网目孔径  $330\mu\text{m}$  的浮游生物网,由 200m 至表层进行垂直拖网;二是使用网口直径 80cm、网目孔径  $500\mu\text{m}$  的鱼卵仔鱼网,在 2.8 节船速下进行 10min 的表层水平拖网。样品以 10% 的甲醛海水溶液保存,带回国内实验室进行镜检、分类以及相关生物学参数的分析测定。

海水温度和盐度利用 SBE18 温盐深剖面仪采集,采集水深为 0~200 m。

## 1.2 生物学测定

长臂樱磷虾的生物学测定包括发育期判定和体长测定。首先对各站位样品进行分类预处理,选出其中的所有长臂樱磷虾个体供发育期判定与体长测定。若测定站位的磷虾样品数量小于 200 尾则全部测定;若磷虾样品多于 300 尾则以分样器取样 200 尾以内进行测定,但计算群体特征时,根据分样比例进行加权处理。

发育期的判定依照 Kirkwood(1982)进行,分为无节幼体(NI~NII)、后无节幼体(MN)、原蚤状幼体(CI~CIII)、蚤状幼体(FI~FVI)、未成体(J)和成体(A)。根据第一腹足交接器的有无,成体又分为雌体(F)和雄体(M)。

未成体和成体体长以全长(TL)为准,由眼前端测至尾节末端(Kirkwood 1982);原蚤状幼体和蚤状幼体的体长参考太平洋磷虾相应发育期的测量方法(Suh *et al.*, 1993),由甲壳前缘的中点测至尾节末中间刺的尖端;测量精度均为 0.1mm。

所有生物学测定均在体视显微镜(NIKON SMZ 1500)下完成。共测定长臂樱磷虾 921 尾,其中 48.1 亚区垂直网样 147 尾、水平网样 275 尾;48.2 亚区垂直网样 121 尾、水平网样 378 尾。

## 1.3 分布密度的计算

取样站位长臂樱磷虾的数量密度以  $1\ 000\ \text{m}^3$  水体内的磷虾个数表示。垂直拖网的滤水体积为网口面积乘以拖曳水深;水平拖网的滤水体积为网口面积乘以拖曳距离,其中拖曳距离为拖速乘以拖曳时间。

调查海域长臂樱磷虾分布密度的定量评估以垂直网样为准。

#### 1.4 生长率的估算

长臂樱磷虾幼体发育相对而言是连续的,而未成体至成体间则可能经历停滞,因此仅对幼体的生长率进行估算,算法为相邻发育期的体长差值除以发育所用天数(mm/d)。其中计算各发育期个体平均体长时,两种网样的样品合并使用;各发育期所需发育天数参考南极半岛西侧水域长臂樱磷虾的相关研究结果(Nordhausen 1992),其中各发育期所需时间为 Nordhausen(1992)中图 7 所列 3 个采样水域 0~200m 水层的平均值,CI~CII 和 FV~FVI 的发育时间为推算值(表 1)。

表 1 长臂樱磷虾各发育期所需发育时间(根据 Nordhausen 1992 中图 7 计算)

Table 1 Development duration in days for various larvae stages of *Thysanoessa macrura* (calculated from Figure 7 in Nordhausen 1992)

发育期 Development stage	CI~CII	CII~CIII	CIII~FI	FI~FII	FII~FIII	FIII~FIV	FIV~FV	FV~FIV
发育时间 Development duration(d)	7.02	8.75	11.15	11.29	11.57	13.62	15.94	17.09

#### 1.5 数据的比较与分析

两调查水域(亚区)以及两种采样网具所得长臂樱磷虾样品各统计量间的差异,以  $t$  检验进行显著性分析;长臂樱磷虾密度分布与温、盐间的关系以 Pearson 相关性进行分析。所有统计分析均以 SPSS®(V 16.0)统计软件进行。

## 2 结果

### 2.1 表层温盐分布

调查海域表层水温分布如图 2 所示。水温范围为 0.37~2.49 °C,平均  $1.58 \pm 0.08$  °C(均值±标准误差,下同)。其中 48.1 亚区平均水温为  $1.37 \pm 0.10$  °C,西南部和东北部(图 1 内插图,7、8 站和 21 站)水温较低,约 0.6 °C;48.2 亚区平均水温为  $1.85 \pm 0.11$  °C,南奥克尼群岛东北部(图 1 内插图,33~35 和 38~44 站)水温较高,在 2°C 以上;调查海域的最低温度出现在两亚区的交界处(图 1 内插图,25 站),为 0.37 °C。

调查海域表层盐度分布如图 3 所示。盐度范围为 32.91~34.32,平均  $33.88 \pm 0.04$ 。48.1 亚区盐度相对较低,平均  $33.76 \pm 0.06$ ;48.2 亚区盐度较高,平均  $34.02 \pm 0.04$ ,其中南奥克尼群岛西北两亚区交界处盐度较高。

### 2.2 长臂樱磷虾的空间分布及其与温盐的关系

调查海域长臂樱磷虾的分布如图 4 所示。总体而言,长臂樱磷虾在岛屿附近站位出现的频率较高、在两亚

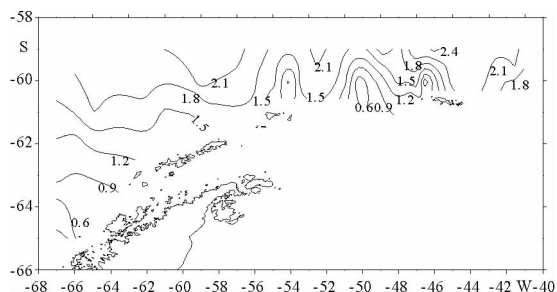


图 2 2010 年 1 月 23 日~2 月 13 日调查水域表层水温(°C)分布  
Fig. 2 Sea surface temperature (°C) in the survey area during the period of January 23 to February 13, 2010

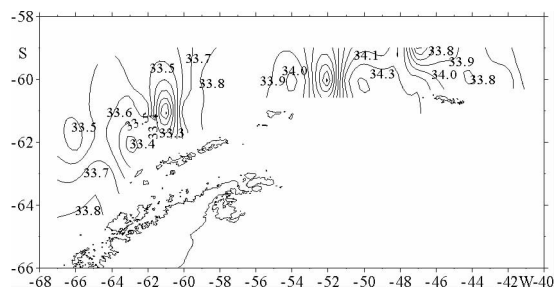
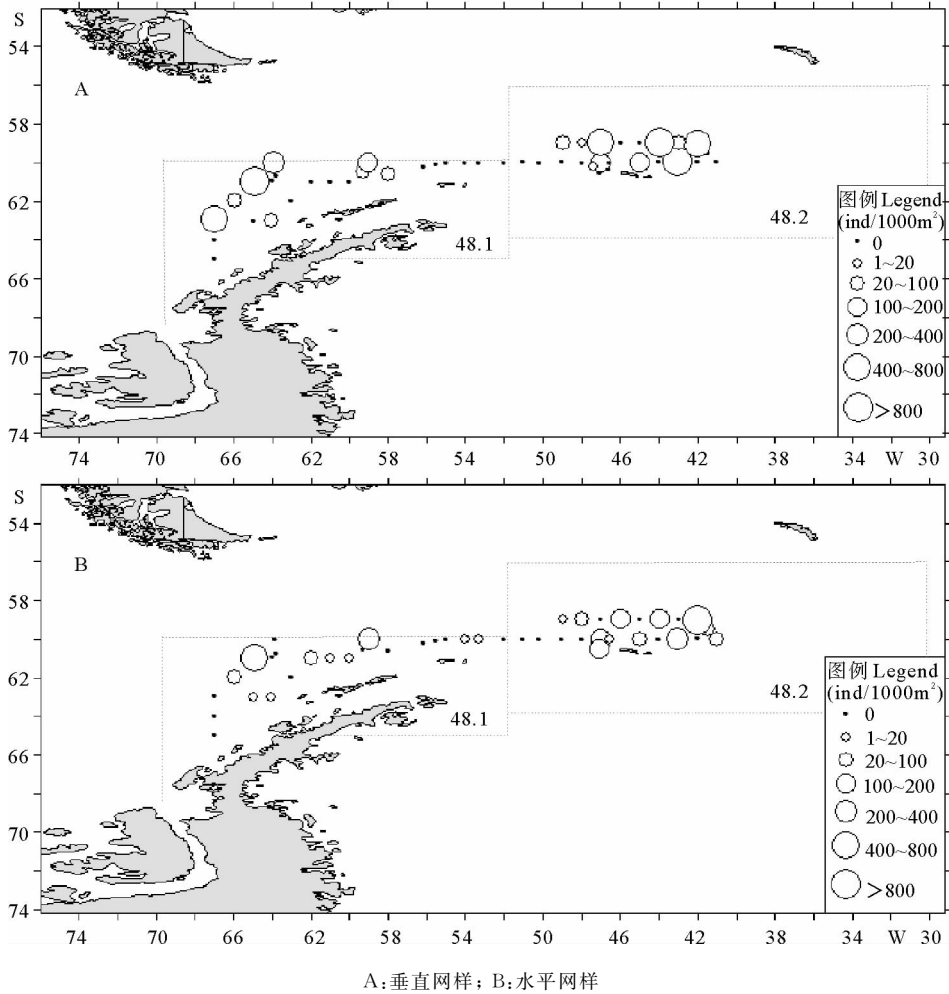


图 3 2010 年 1 月 23 日~2 月 13 日调查水域表层盐度分布  
Fig. 3 Sea surface salinity in the survey area during the period of January 23 to February 13, 2010

区交界处远离岛屿的海域出现的频率则很低。在所有 46 个站位中, 共在 29 个站位(垂直网样加水平网样)发现有长臂樱磷虾分布, 站位出现率为 63%; 其中 48.1 亚区的出现率略低, 为 56%; 48.2 亚区的出现率较高, 为 71%。



A: 垂直网样; B: 水平网样

A: Vertical sample; B: Surface sample

图 4 长臂樱磷虾密度空间分布

Fig. 4 Spatial density distribution of *T. macrura*

与站位出现频率的态势类似, 长臂樱磷虾的密度分布也呈西低东高之势。以垂直网样计, 出现磷虾的站位中, 48.1 亚区长臂樱磷虾的平均密度为  $261.6 \pm 131.6 \text{ ind}/1000 \text{ m}^3$ , 48.2 亚区为  $391.5 \pm 140.7 \text{ ind}/1000 \text{ m}^3$ ; 水平网样也显示出相同的趋势, 其相应值则分别为  $96.2 \pm 57.2 \text{ ind}/1000 \text{ m}^3$  和  $211.4 \pm 119.5 \text{ ind}/1000 \text{ m}^3$ 。

由图 4 可以看出, 长臂樱磷虾在水平网中的出现频率要高于垂直网。在所有 46 个站位中, 水平网中长臂樱磷虾的出现站位数为 22, 占 48%; 垂直网中出现的站位数为 18, 占 39%; 其中有 11 个站位长臂樱磷虾仅在水平网中出现, 只有 7 个站位长臂樱磷虾仅在垂直网中出现。

出现磷虾的站位表层水温范围为  $0.62 \sim 2.49 \text{ }^\circ\text{C}$ , 平均  $1.67 \pm 0.10 \text{ }^\circ\text{C}$ ; 表层盐度范围为  $32.91 \sim 34.23$ , 平均  $33.88 \pm 0.05$ 。无磷虾的站位表层水温范围为  $0.37 \sim 2.40 \text{ }^\circ\text{C}$ , 平均  $1.43 \pm 0.14 \text{ }^\circ\text{C}$ ; 表层盐度范围为  $33.25 \sim 34.32$ , 平均  $33.89 \pm 0.08$ 。从以上数据可以看出, 出现磷虾的站位比无磷虾出现的站位表温略高、盐度略低, 但差异均未达到显著水平。

两采样方式所得长臂樱磷虾的分布密度与表层温、盐相关性分析显示, 只有垂直网所得分布密度与表层水

温存在显著性关系,为正相关( $P=0.04$ )。

### 2.3 长臂樱磷虾的发育期组成

图5展示了调查海域长臂樱磷虾个体的发育期组成。如图5A(垂直网样)所示,48.1亚区内长臂樱磷虾个体发育期为CII期和FI期至成体;其中FIII期个体所占比例最高(21.1%),未成体次之(17.2%),CII期和成体所占数量比例均较低( $<2.5\%$ )。48.2亚区内个体的发育期为CII期至未成体;其中未成体所占比例最高(24.3%),FVI期次之(20.8%),CII期和CIII期个体所占比例均较低( $<5.0\%$ )。两亚区内均未见无节幼体(NI~NII)和后无节幼体(MN)。

两种网具所获样品的发育期组成也呈现出较为明显的差异。水平网样中长臂樱磷虾个体的发育程度明显较高(图5B),以蚤状幼体后期和未成体为主,发育期低于FIII的早期幼体所占比例明显低于垂直网样中的比例。其中48.1亚区FVI期所占比例最高(28.2%),48.2亚区未成体所占比例最高(37.3%);垂直网样中存在的CII期个体在水平网样中则没有出现。

### 2.4 长臂樱磷虾的体长组成与幼体生长率

调查所获长臂樱磷虾各发育期的体长组成如图6和表2所示。从体长分布图示可以看出(图6),两网样中除数量较少的原蚤状幼体外,48.2亚区各发育期众数体长均大于等于48.1亚区对应值;雌体的众数体长大于雄体的众数体长。

体长测定数据显示(表2),除数量较少的原蚤状幼体外,各发育期体长分布范围均较大。其中蚤状幼体体长范围为2.74~6.80 mm,平均 $5.15\pm 0.03$  mm;未成体体长范围为6.81~16.20 mm,平均 $8.15\pm 0.06$  mm,成体体长范围为15.40~20.70 mm,平均 $17.98\pm 0.46$  mm。对样品较多的蚤状幼体和未成体的体长组成进行 $t$ 检验显示(表2),两亚区间FI、FII期和未成体体长存在显著性差异,其中48.2亚区FI、FII期的平均体长大于48.1区相应发育期的平均体长,48.2亚区未成体的平均体长则小于48.1区未成体的平均体长。

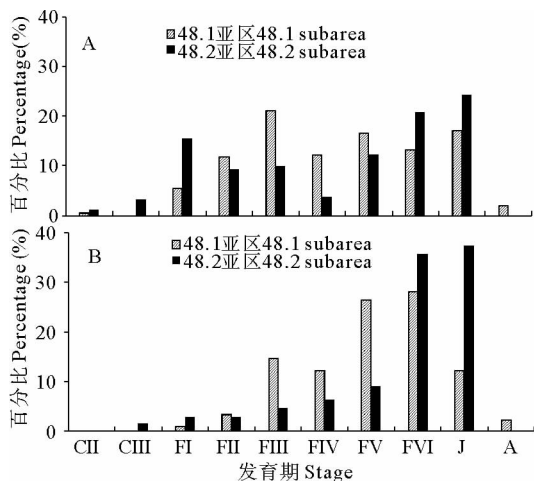
长臂樱磷虾蚤状幼体生长率的估测结果如表2所示。各发育期生长率波动较大,且无明显趋势。各期生长率范围为0.013~0.064 mm/d,平均 $0.040\pm 0.004$  mm/d;其中48.1亚区为0.029~0.064、 $0.045\pm 0.006$  mm/d,48.2亚区为0.013~0.048、 $0.037\pm 0.006$  mm/d,两亚区蚤状幼体的生长率无显著差异( $P=0.37$ )。

## 3 讨论

### 3.1 长臂樱磷虾的水平分布与环境因子的关系

南极半岛周边海域是长臂樱磷虾分布较广、生物量较高的区域(Makarov 1979; Kittel *et al.* 1983)。本次调查长臂樱磷虾出现于大多数站位(图4),其中48.2亚区无论是站位出现频率(71%)还是分布密度(垂直网数据, $391.5\pm 140.7$  ind/1 000  $m^3$ )均高于48.1亚区的相应值(56%, $261.6\pm 131.6$  ind/1 000  $m^3$ ),特别是南奥克尼群岛东北部海域站位的密度较高。

长臂樱磷虾的分布与温度关系密切。有研究表明,长臂樱磷虾耐受水温的范围为 $-1.8\sim 8$  °C (Sheard 1953; Lomakina 1966)。本研究显示,调查海域的表层水温介于 $0.37\sim 2.49$  °C之间,在长臂樱磷虾的耐受范围之内;但有磷虾出现的站位的最低水温为 $0.62$  °C,且长臂樱磷虾的分布密度与表层水温显著正相关( $P=0.04$ ),表明长臂樱磷虾在观测温度范围内有向高温区聚集的趋势。而48.2亚区的表温( $1.85\pm 0.11$  °C)明显高于48.1



A: 垂直网样, B: 水平网样

A: Vertical sample, B: Surface sample

图5 长臂樱磷虾发育期组成

Fig. 5 Development stage composition of *T. macrura*

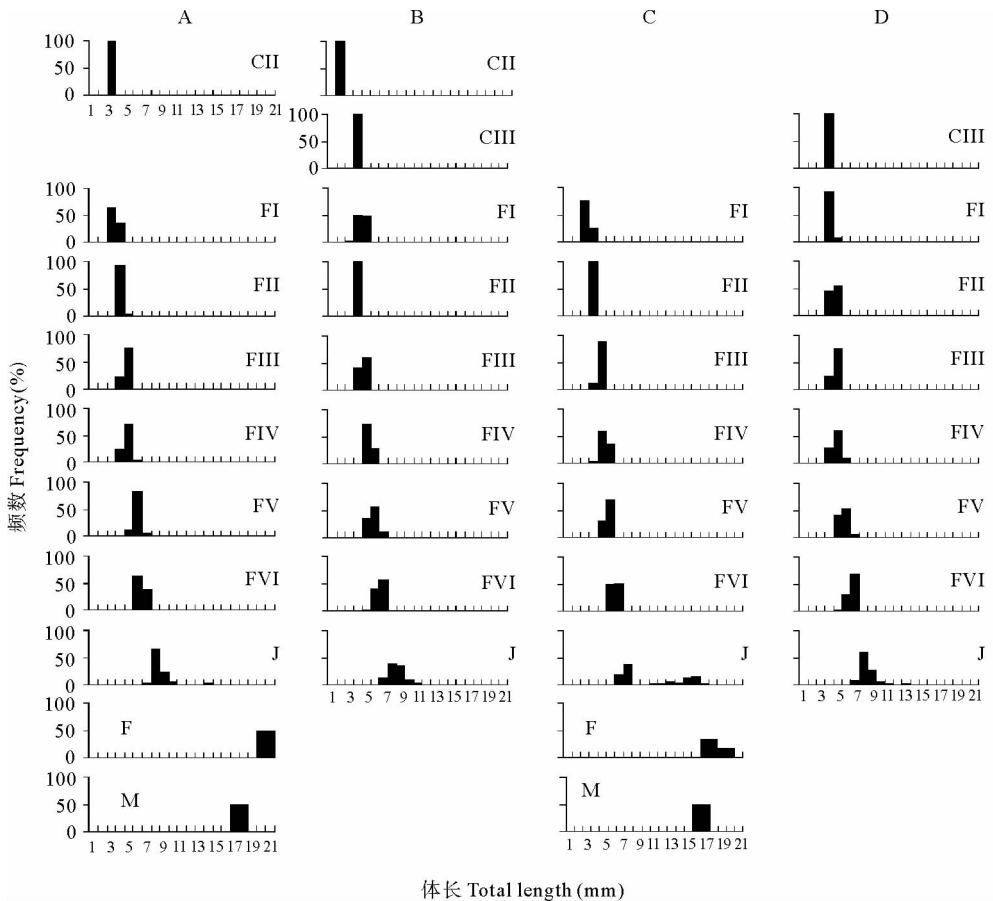
亚区的表温( $1.37 \pm 0.10 \text{ }^\circ\text{C}$ ),因此,长臂樱磷虾在 48.2 亚区有较高的分布密度应是其偏好高温的表现。

另据报道,调查海域存在两个重要的南极海洋环流,即南极绕极流和威德尔环流(Deacon *et al.* 1975),其中南奥克尼群岛邻近水域处于西风漂流和威德尔环流交汇区(Hofmann *et al.* 1998),浮游植物密度较高(Brinton 1985),这也为长臂樱磷虾提供了赖以生存的饵料基础。

### 3.2 长臂樱磷虾的发育期组成与采样方式辨析

本研究采用了两种样品采集方式,即垂直拖网和海表水平拖网。发育期分析结果(图 6 和表 2)显示,所获长臂樱磷虾样品由 CII 期原蚤状幼体至成体组成,以蚤状幼体(FI~FVI)和未成体(J)为主,原蚤状幼体(CII~CIII)所占比例很低,未见无节幼体和后无节幼体。这与其他相关研究的结果相似(Nordhausen 1992; Makarov 1979; 仲学锋等 1993)。

然而长臂樱磷虾在其生命周期中,存在着与南极大磷虾相似的“发育上升现象(Developmental ascent)”(Makarov 1979),即随着个体的发育,其分布水层逐步由深变浅。据报道,长臂樱磷虾早期幼体多分布在 1 000~2 000 m 的深水层;至 CI 期才有部分个体上升至 200m 以浅的真光层,大部分仍主要分布于 500~1 000 m 水层(Makarov 1979),表层出现的个体则多为 FI 期以上的蚤状幼体(Taki *et al.* 2009)。因此,本研究未见 CII 期以下发育期的个体并不能说明调查海域不存在这些发育期的个体,也可能是采样水层(0~200 m)有限所致;而水平网样中发育期较高个体所占比例明显高于垂直网样的现象(图 5)则进一步认证了长臂樱磷虾的发育上升现象。



A: 48.1 亚区垂直网样; B: 48.2 亚区垂直网样; C: 48.1 亚区水平网样; D: 48.2 亚区水平网样

A: Vertical sample in subarea 48.1; B: Vertical sample in subarea 48.2; C: Surface sample in subarea 48.1; D: Surface sample in subarea 48.2

图 6 长臂樱磷虾各发育期体长-频数分布

Fig. 6 Length-frequency distribution of *T. macrura* at various development stages

表2 长臂樱磷虾各发育期体长分布和生长率

Table 2 Length and growth rate of *T. macrura* at various development stages

发育期 Stage	48.1 亚区 Subarea 48.1				48.2 亚区 Subarea 48.2			
	测定样本 No	体长 Total length (mm)		生长率 Growth rate (mm/d)	测定样本 No	体长 Total length (mm)		生长率 Growth rate (mm/d)
		范围 Range	均值±标准误差 Mean±SE			范围 Range	均值±标准误差 Mean±SE	
CII	1	2.58			1	1.9		
CIII	0				4	3.05~3.30	3.12±0.06	
FI**	11	2.74~3.20	2.99±0.04		40	2.89~4.30	3.65±0.06	0.048
FII*	21	3.16~4.10	3.59±0.05	0.053	35	3.13~5.00	3.80±0.06	0.013
FIII	69	3.55~4.90	4.33±0.04	0.064	40	3.75~5.02	4.33±0.05	0.046
FIV	54	3.90~5.26	4.72±0.05	0.029	28	3.80~5.25	4.69±0.08	0.027
FV	90	4.50~6.10	5.32±0.03	0.037	54	4.50~6.25	5.40±0.06	0.045
FVI	78	5.01~6.78	6.02±0.05	0.041	126	4.90~6.8	6.12±0.04	0.042
J**	78	6.81~16.20	9.45±0.37		149	6.90~12.66	7.91±0.07	
F	5	17.0~20.17	18.56±0.52		0			
M	2	15.40~17.90	16.68±0.51		0			

注: \* 表示两亚区间的平均体长存在显著性差异( $P<0.05$ ); \*\* 表示存在极显著性差异( $P<0.01$ )

Note: \* denotes that the difference in mean length between the two subareas is significant ( $P<0.05$ ); \*\* denotes that the difference is extremely significant ( $P<0.01$ )

鉴于上述发育上升现象,在磷虾(包括长臂樱磷虾和南极大磷虾)生活史研究中,一般利用垂直拖网进行采样。因此本研究在定量分析长臂樱磷虾的发育期组成和分布密度时,也以垂直网样的结果为准。然而本研究显示,水平拖网对长臂樱磷虾样品的采集具有更高的成功率。一是水平拖网中长臂樱磷虾的站位出现频率(48%)高于垂直拖网(39%),二是水平网所获样品的绝对数量较多。这可能因为水平拖网的拖曳距离较长(拖速 2.8 节时,10 min 拖距为 864 m),过滤水体大,有利于降低由磷虾斑块分布引起的样品获得的偶然性,并可在一定程度上弥补因磷虾对采样网具的规避(逃逸)而引起的大个体样品的不足、甚至低估。本研究在估算长臂樱磷虾各发育期的体长与生长率时,即充分利用了水平网样品,并成功检验出两亚区间 FI~FII 期蚤状幼体和未成体体长的差异(表 2)。因此作为垂直拖网的有效补充,水平拖网可在磷虾水平分布及其生长发育研究中发挥重要作用。

### 3.3 长臂樱磷虾的生长发育与调查海域之间的关系

磷虾的生长发育受环境因素和种群个体差异的双重影响(Ikeda 1984; Siegel 1987; Ross *et al.* 1988; Nordhausen 1992)。本研究显示,即使同一发育期的个体,体长变化范围亦相当可观(表 2)。另外两亚区间长臂樱磷虾的体长组成也不尽相同,如 48.2 亚区 FI 期和 FII 期蚤状幼体的平均体长明显大于 48.1 亚区的相应体长(表 2);这似乎可以 48.2 区的水温较高来解释,但两亚区间蚤状幼体的生长率并未发现显著差异。当然,本研究生长率的估算依据自身也是根据 Nordhausen(1992)的结果估算的。Nordhausen(1992)的研究地点位于 48.1 亚区;调查时间为 1986 年 12 月~1987 年 3 月,涵盖本研究的时间段(1 月下旬~2 月中旬);但其文中未就水温等环境信息进行描述,因此其结果的适用性还存在不确定性。

据报道(Makarov 1979; Hempel 1981; Nordhausen 1992),西南极长臂樱磷虾幼体数量出现较多的季节为每年 9 月~翌年 3 月,一般夏季 12~翌年 3 月间以 FII~FV 期数量最多,2~3 月则以 FVI 期为主。本研究的调查时间为 1 月下旬~2 月中旬,长臂樱磷虾亦多为 FII 期以上个体,与前述历史研究基本吻合。当然,长臂樱磷虾的生殖季节以及各发育期的数量比例还与调查海域及其环境因子有关。如在南印度洋普里兹湾海域,长臂樱磷虾在 10 月上旬才开始产卵(仲学锋等 1993),较南大西洋斯科舍海域(Makarov 1979)和南太平洋罗斯海域(Makarov 1979; Taki *et al.* 2009)产卵时间晚;各发育期的出现时间也相应滞后,1~2 月仍以 CII~FI 期幼体为主(杨光等 2010)。一般认为磷虾属非等时发育,早期幼体发育所需时间较短,后期蜕



皮所需时间较长(Mauchline 1959; Ikeda 1986; McClatchie 1988; Huntley *et al.* 1991)。

本研究显示,1月下旬48.1亚区的长臂樱磷虾以FIII期至未成体为主,2月上中旬48.2亚区的长臂樱磷虾以FII期至未成体为主。假设Nordhausen(1992)有关长臂樱磷虾各期发育所需时间的研究结果同样适用于本研究,则可推算2009年48.1亚区长臂樱磷虾的产卵活动应集中出现在9月末~10月,48.2亚区则集中出现在10月初~11月中旬,较48.1亚区晚,这与Makarov(1979)的研究结果相符。成体仅见于48.1亚区这一观测结果(图6)也说明48.1亚区内长臂樱磷虾的生殖与发育要早于48.2亚区。

致谢:辽宁远洋渔业有限公司对海上样品采集工作给予了大力支持;审稿人对稿件提出了很好的修改建议。在此一并致谢!

## 参 考 文 献

- 仲学锋,王荣. 1993. 普里兹湾邻近海域长臂樱磷虾数量分布与发育特点的研究. 南极研究, 5(4): 40-49
- 杨光,李超伦,孙松. 2010. 南极夏季普里兹湾磷虾幼体及纽鳃樽的丰度和分布特征. 极地研究, 22(2): 125-134
- Brinton E. 1985. The oceanographic structure of the eastern Scotia Sea-III. Distributions of the euphausiid species and their developmental stages in 1981 in relation to hydrography. Deep-Sea Research 32(10): 1153-1180
- Deacon GER, Moorey JA. 1975. The boundary region between currents from the Weddell Sea and Drake Passage. Deep-Sea Research 22: 265-268
- Hempel I. 1981. Euphausiid larvae in the Scotia Sea and adjacent waters in the summer 1977/78. Marine Research 29(1): 53-59
- Hofmann EE, Klinck JM, Locarnini RA and 2 others. 1998. Krill transport in the Scotia Sea and environs. Antarctic Science 10 (4): 406-415
- Hosie GW. 1991. Distribution and abundance of euphausiid larvae in the Prydz Bay region, Antarctica. Antarctic Science 3(2): 167-180
- Huntley ME, Brinton E. 1991. Mesoscale variation in Growth and early development of *Euphausia superba* Dana in the western Bransfield Strait region. Deep-Sea Research 38: 1213-1240
- Ikeda T. 1984. Development of the larvae of the Antarctic Krill (*Euphausia superba* Dana) observed in the laboratory. Experimental Marine Biology and Ecology 75 (2): 107-117
- Ikeda T. 1986. Preliminary observations on the development of the larvae of *Euphausia crystallorophias* Holt and Tattersall on the laboratory. Memoirs of National Institute of Polar Research, Special Issue 40: 183-186
- Kirkwood JM. 1982. A guide to the Euphausiacea of the Southern Ocean. Australian National Antarctic Research Expeditions Research Notes 1: Department of Science and Technology, Australian Antarctic Division, Hobart 1-45
- Kittel W, Stepnik R. 1983. Distribution of *Euphausia crystallorophias*, *E. frigida*, *E. triacantha* and *Thysanoessa macrura* (Crustacea, Euphausiacea) in the southern Drake Passage and Bransfield Strait in February and March 1981. Polish Polar Research 4: 7-19
- Lomakina NB. 1966. The euphausiid fauna of the Antarctic and notal regions. Biological Reports of the Soviet Antarctic Expedition 2: 260-342
- Makarov R. 1979. Larval distribution and reproductive ecology of *Thysanoessa macrura* (Crustacea; Euphausiacea) in the Scotia Sea. Marine Biology 52(4): 377-386
- Makarov R, Menshenina L, Spiridonov V. 1990. Distributional ecology of euphausiid larvae in the Antarctic Peninsula region and adjacent waters. Proceedings of the NIPR Symposium on Polar Biology 3: 23-35
- Mauchline J. 1959. The development of the Euphausiacea (Crustacea), especially that of *Meganyctiphanes norvegica* (M. Sars). Proceedings of the Zoological Society of London 132: 627-639
- Mauchline J, Fisher LR. 1969. The biology of euphausiids. In: Russell FS, Yonge M (eds.). Advances in Marine Biology, Vol. 7. Academic Press, London 1-454
- McClatchie S. 1988. Food-limited growth of *Euphausia superba* in Admiralty Bay, South Shetland Islands, Antarctica. Continental Shelf Research 8: 329-345
- Nordhausen W. 1992. Distribution and growth of larval and adult *Thysanoessa macrura* (Euphausiacea) in the Bransfield Strait Region, Antarctica. Marine Biology Progress Series 83: 185-196
- Ross RM, Quetin LB, Kirsch E. 1988. Effect of temperature on development times and survival of early larval stages of *Euphausia superba* Dana. Experimental Marine Biology and Ecology 121(1): 55-71
- Sheard K. 1953. Taxonomy, distribution and development of the Euphausiacea (Crustacea). British Australian and New Zealand Antarctic Research Expedition Reports 1929-1931, Series B 8(1): 5-72
- Siegel V. 1987. Age and growth of Antarctic Euphausiacea (Crustacea) under natural conditions. Marine Biology 96(4): 483-495
- Suh HL, Soh HY, Hong SY. 1993. Larval development of the euphausiid *Euphausia pacifica* in the Yellow Sea. Marine Biology 115(4): 625-633
- Taki K, Yabuki T, Noiri Y and 2 others. 2008. Horizontal and vertical distribution and demography of euphausiids in the Ross Sea and its adjacent waters in 2004/2005. Polar Biology 31(11): 1343-1356
- Taki K, Yabuki T, Noiri Y and 2 others. 2009. Larval development and spawning ecology of euphausiids in the Ross Sea and its adjacent waters in 2004/05. Plankton Benthos Research 4 (4): 135-146