

南极半岛邻近海域南极大磷虾(*Euphausia superba* Dana)的数量组成和分布*

左涛 陈丹 赵宪勇 吴强 李显森

(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
中国水产科学院黄海水产研究所 青岛 266071)

摘要 根据2010年1月23日-2月13日在南极南设得兰群岛和南奥克尼群岛邻近海域渔场采集的南极大磷虾(*Euphausia superba* Dana)样品,分析了南极大磷虾数量、个体体长分布和发育期组成等种群结构特点。样品由330 μm和500 μm浮游生物网垂直拖网和表层水平拖网两种采集方式所获。结果显示,采集样中,南奥克尼群岛水域的南极大磷虾平均密度为1.92 ind/m³,高于南设得兰群岛水域的相应值(0.35 ind/m³);出现的南极大磷虾个体发育期包括CI至CIII期原蚤状幼体、FI至FIV期和FVI期蚤状幼体、未成体、成体(包括雌体和雄体);各发育期个体中,原蚤状幼体数量较多;原蚤状幼体、蚤状幼体、未成体及成体的体长范围(平均体长)分别为1.76-4.96 mm (3.48 mm)、3.95-14.80 mm (5.96 mm)、16.87-39.85 mm (36.10 mm)、40.00-58.96 mm (43.94 mm)。CIII期原蚤状幼体和FI期蚤状幼体的生长率较高。推测,南奥克尼群岛水域南极大磷虾生殖季节始于9月末,集中出现在12月中上旬;而南设得兰群岛生殖季节应早于上述水域。比较两种采集方式,南极大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采集样的相应值,建议传统垂直拖网与水平拖网两种采样方式有效结合,可促进更全面了解大磷虾水平分布和种群结构特点。

关键词 南极大磷虾;数量分布;发育期;生长率;南极半岛

中图分类号 Q-9 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2015)02-0001-10

南极大磷虾(*Euphausia superba* Dana) (以下简称大磷虾)属节肢动物门(Arthropoda)、甲壳动物纲(Crustacea)、磷虾目(Euphausiacea),其成体体长一般在50-60 mm。它在南大洋水域广泛分布,是南极生态系统中关键种和高营养层次生物的主要或重要食物来源(Nicol *et al.*, 1999)。据近年较为保守的估算,大磷虾的分布水域近 1.9×10^7 km²,生物量可达3.79亿t,每年可为上层捕食者提供超过1亿t食物(Atkinson *et al.*, 2009),具有很高的开发和利用价值(孙松, 2009)。

大磷虾环南极分布,70%现存量分布于50°S以南的大西洋水域(Atkinson *et al.*, 2008)。其中,南极半岛

东北侧、邻近南设得兰群岛(South Shetland Islands)和南奥克尼群岛(South Orkney Islands)海域是南极海洋生物资源养护委员会(Commission for the Conservation of the Antarctica Marine Living Resources, CCAMLR)管理辖区的48区,它不仅是大磷虾数量分布密集区,也是20世纪90年代以来南极磷虾渔业集中作业区,2013/2014年渔季该区域磷虾产量29万t左右(<http://www.ccamlr.org/en/data/statistical-bulletin>)。较南极其他海域而言,如南印度洋普里兹湾和南太平洋罗斯海(Hosie, 1991; 王荣等, 1993; 杨光等, 2010),南极半岛周边水域大磷虾的研究报道相对较多且涉及方面广泛,如大磷虾的生长发育(Ross *et al.*, 2004; Quetin *et al.*,

* 公益性行业专项(农业)科研专项(201203018)、农业部“南极海洋生物资源开发利用”项目和山东省泰山学者工程专项(鲁证办发[2008]67)共同资助。左涛, E-mail: zuotao@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2014-03-18, 收修改稿日期: 2014-06-09

2003)、数量分布(Makarov, 1979; Hempel, 1981; Wang, 1989; Makarov *et al.*, 1990; Hewitt *et al.*, 2004; Ross *et al.*, 2004; Ashjian *et al.*, 2008)、垂直迁移(Taki *et al.*, 2005)及其分布与水团、海冰和浮游植物等环境因子变动的关系(Everson, 1976; Hewitt *et al.*, 2004; Marrari *et al.*, 2008; Krafft *et al.*, 2010)。

我国渔船依托农业部“南极海洋生物资源开发利用”项目,自2009年已连续6年开展南极磷虾探捕,并取得较好的效果。本研究基于探捕期间收集的磷虾样品,开展南大西洋西侧南极半岛海域大磷虾的数量与体长分布、发育期组成以及相关环境因子的研究,以丰富有关大磷虾生物学的认识,更好地了解南极磷虾渔场的资源状况,有效地指导具体实际生产。

1 材料与方法

1.1 样品的采集与处理

样品为搭载辽宁远洋渔业有限公司渔轮“安兴海”,于2010年1月23–30日和1月31日至2月13日分别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。此两海域分别位于CCAMLR划定的48.1统计亚区和48.2统计亚区。其中,48.1亚区南设得兰群岛附近水域实施站位25个(编号1–25),48.2亚区南奥克尼群岛附近水域站位21个(编号26–46)(图1)。本研究即基于上述统计亚区进行相应的数据归并和分析。

大磷虾样品的采集方式有两种,一是用网目孔径330 μm 的浮游生物网,由200 m水深至表层垂直拖网;二是用网目孔径500 μm 的浮游生物网,以2.8节船速进行10 min的表层水平拖网,两网的网口面积均为0.5 m^2 。样品存于10%的甲醛海水溶液,带回国内实验室镜检、分类及测定相关生物学参数。

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

大磷虾的生物学测定包括发育期判定和体长测定。发育期的判定依照Kirkwood(1982),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–FIV)、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)。测定未成体和成体全长(Total Length, TL),即由眼前端至尾节末端(Kirkwood, 1982);原蚤状幼体和蚤状幼体的体长参考太平洋磷虾幼体的测量方法(Suh *et al.*, 1993),由甲壳前缘的中点至尾节末中间刺的尖端,测量精度为0.1 mm。

生物学测定过程中,若测定站位的磷虾数量小于200尾时,则取全样逐尾测定;若磷虾样品多于300尾则以分样器取样,直至最后分样内约有200尾时,再进行逐尾测定。所有生物学测定均在体视显微镜(NIKON SMZ 1500)下完成。实际共测定大磷虾2142尾,其中48.1亚区垂直网样6尾、水平网样11尾;

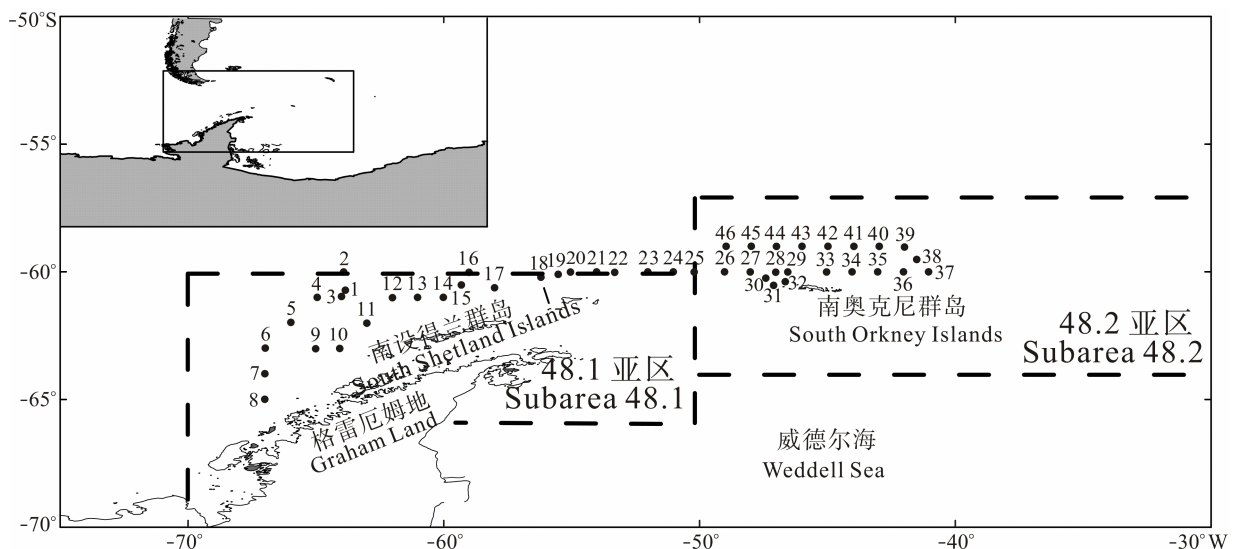


图1 调查区域(内插图中实线框)及磷虾样品采集站位分布

Fig.1 The surveyed area (the solid-line box in the inset) and sampling stations of the krill

虚线框代表 CCAMLR 48.1 和 48.2 统计亚区的边界

Dashed lines indicated the boundaries of CCAMLR subareas 48.1 and 48.2

48.2 亚区垂直网样 945 尾、水平网样 1180 尾。计算群体特征时, 根据分样比例进行加权处理。

1.3 数量分布密度的计算

取样站位大磷虾的数量密度以每千立方米水体内的磷虾个数表示(ind/1000 m³)。计算滤水体积时, 垂直拖网样为网口面积×拖曳水深; 水平拖网样则为网口面积×拖曳距离, 拖曳距离为拖速×拖曳时间。调查海域大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

大磷虾幼体发育是连续的, 未成体至成体间可能出现停滞。本研究仅对 48.2 亚区磷虾样中, 数量较

多(>20 尾)幼体的生长率(mm/d)进行生长率估算。算法为相邻发育期的平均体长差值除以发育所需天数。发育所需天数根据 Ikeda(1984)实验室培养所得到的大磷虾由卵释放至各发育期所需天数(表 1)。各发育期个体平均体长则基于所有网样的相应个体计算所得。

1.5 数据的比较与分析

两调查水域(统计亚区)以及两种采集方式所得大磷虾样品各统计量间的差异, 以 *t* 检验进行显著性分析; 大磷虾密度分布与表层水温度、盐度间的关系以 Pearson 相关性进行分析, 以 *P*<0.05 作为显著相关的标志。采用 SPSS[®](V.16.0)软件完成统计分析。

表 1 南极大磷虾由卵发育至各发育期所需发育时间(Ikeda, 1984)

Tab.1 The cumulative developmental time (in days from date of egg release) of *Euphausia superba* developmental stages (cited from Ikeda 1984)

发育期 Development stage	CI	CII	CIII	FI	FII	FIII	FIV	FV	FVI
发育时间 Development time (d)	30	44	53	63	75	86	99	112	127

2 结果

2.1 表层温度、盐度分布

调查海域表层水温范围为 0.3–2.5℃, 平均(1.6±0.1)℃(均值±标准误差, 下同), 其中 48.1 亚区平均水温为(1.4±0.1)℃, 48.2 亚区平均水温为(1.8±0.1)℃。总体而言, 48.1 亚区西南部和东北部(站号 7、8 和 21)水温较低, 约 0.6℃; 48.2 亚区南奥克尼群岛东北部(站号 33–35 和站号 38–44)水温较高, 在 2℃以上; 调查海域的最低温度出现在两亚区交界的 25 号站(<0.4℃)(图 2a)。

调查海域表层盐度范围为 32.9–34.3, 平均 33.9±0.04。48.1 亚区盐度相对较低, 平均 33.7±0.1; 48.2 亚区盐度较高, 平均 34.0±0.04。以南奥克尼群岛西北两亚区交界处盐度最高(>34)(图 2b)。

2.2 大磷虾的空间分布及其与温度、盐度的关系

46 个调查站位的所有网样中, 大磷虾出现站位 18 个, 出现率为 39%; 其中在水平网样中出现 13 个站, 要高于垂直网的 9 个站。比较图 3 中两网样大磷虾出现站位, 所有调查站位中仅有 4 个站位的垂直网和水平网同时有大磷虾出现。大磷虾出现站位多分布于 48.2 亚区的南奥克尼群岛东北部水域, 南舍得兰群岛邻近水域(48.1 亚区)以及两亚区交界处远离岛屿的海域出现较少。垂直网样内, 出现大磷虾的站位中,

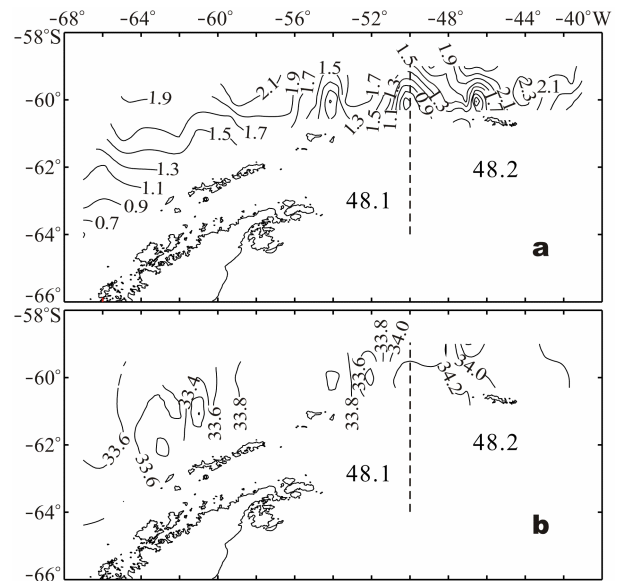


图 2 2010 年 1 月 23 日–2 月 13 日调查水域表层温度(a)和盐度(b)分布

Fig.2 The sea surface temperature (a) and salinity (b) in the surveyed area during the period of January 23 to February 13, 2010

48.1 亚区大磷虾的平均密度为(35.1±20.0) ind/1000 m³, 48.2 亚区为(1916.8±790.4) ind/1000m³; 水平网样内, 两亚区相应值分别为(4.6±1.3) ind/1000 m³和(217.7±101.0) ind/1000 m³。

出现磷虾的站位表层水温范围为 0.6–2.4℃, 平均值(1.6±0.1)℃; 表层盐度范围为 33.4–34.3, 平均值

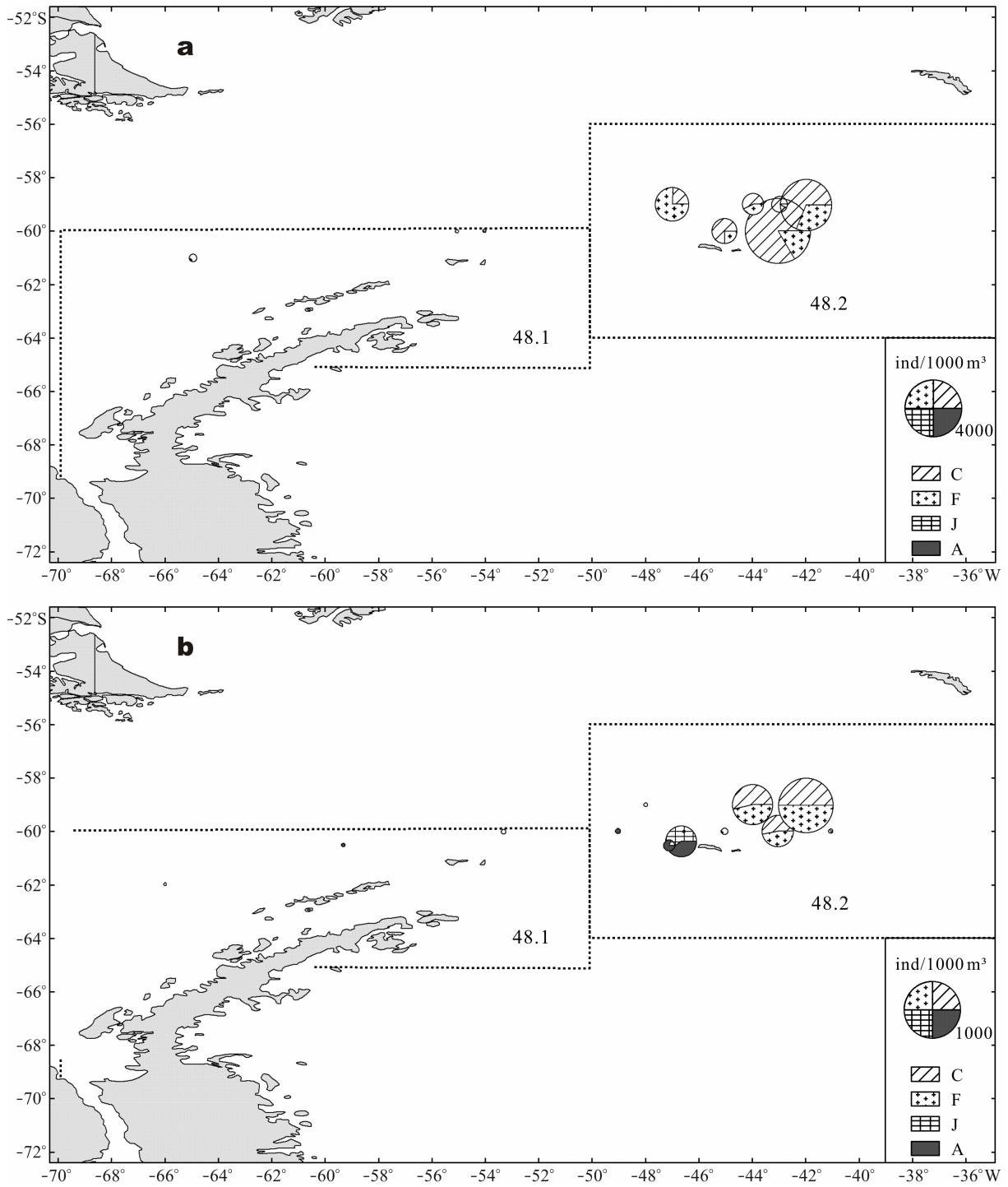


图3 南极大磷虾密度空间分布

Fig.3 Spatial density distribution of *Euphausia superba* in the water around the South Shetland Islands and the South Orkney Islands

C: 原蚤状幼体; F: 蚤状幼体; J: 未成体; A: 成体 C: Calyptopsis; F: Furcilia; J: Juvenile; A: Adult

a. 垂直网样; b. 水平网样 a. Vertical net sample; b. Surface net sample

34.0±0.1。无磷虾的站位表层水温范围为 0.4–2.5℃, 平均(1.6±0.1)℃; 表层盐度范围为 32.9–34.3, 平均 33.8±0.1。总体而言, 出现磷虾的站位比无磷虾出现的站位表温、盐度略高, 但差异未达显著水平, 且两采样方式所得大磷虾的分布密度与表层温、盐相关性亦未达到显著性水平($P=0.07-0.73$)。

2.3 大磷虾的发育期组成与分布

本次调查样中未出现大磷虾无节幼体(NI–NII)、后无节幼体(MN)及蚤状幼体 FV 期。各发育期的数量分布(图 3)中, 早期发育阶段的原蚤状幼体和蚤状幼体多分布于南奥克尼群岛东北部, 未成体和成体主要分布于群岛西部近岸处。相关性分析显示, 大磷虾各发育期的数量密度分布, 仅有垂直网样的未成体和水

平网样 CIII 期与表层温度分别呈显著性负相关($r=-0.89, P<0.001$)和显著性正相关($r=0.61, P=0.03$)。

垂直网样中, 未见 FIV 期和成体(图 4a)。48.1 亚区所观察到的 11 尾个体中, 发育期 FI 有 6 尾, 另外还有 FII 期 2 尾、未成体、FIV 期和成体各 1 尾。48.2 亚区, 大磷虾个体的以发育期较早阶段的 CIII 所占数量比例最高(35.0%), CII 期次之(28.6%), 发育期为 FII 至成体的个体所占数量比例较低(<3.0%)。

水平网样内的大磷虾未成体和成体较垂直网样相应个体略多(图 4b)。其中, 48.1 亚区所观察到的 6 尾大磷虾由 FVI 期和成体各 3 尾组成; 48.2 亚区以 CIII 期个体所占数量比例最高(39.4%), 而 CI 和 CII 期的数量相对较少, 所占数量比例均<5.0%。

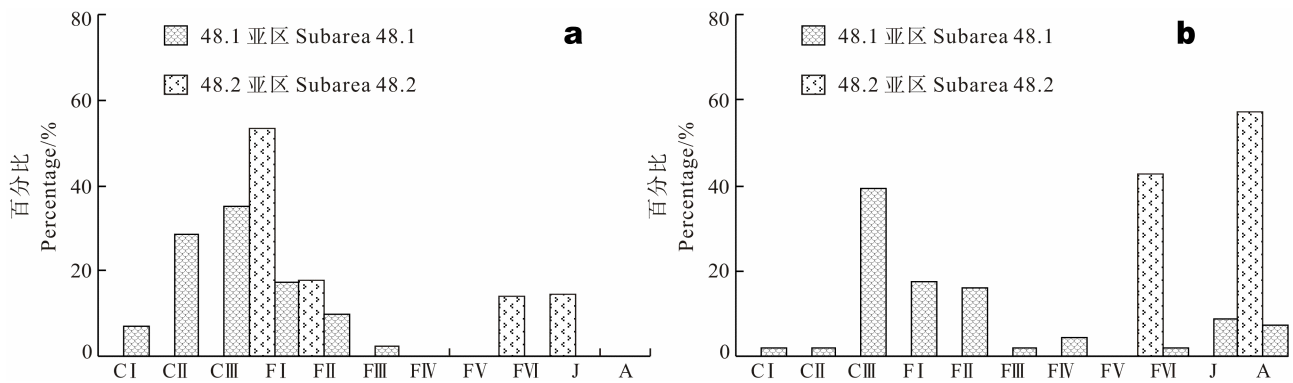


图 4 南极大磷虾发育期数量百分比组成

Fig.4 Relative compositions of *E. superba* stage-specific abundance

a. 垂直网样; b. 水平网样 a. Vertical net sample; b. Surface net sample

2.4 大磷虾的体长组成与幼体生长率

大磷虾各发育期的体长范围分布见图 5 和表 2。除 FIII 期外, 垂直网样各发育期体长众数值均大于等于水平网样对应值(图 5a, b); 不同发育期的大磷虾的体长分布具有一定的重叠; 水平网样中, 未成体以体长 34–40 mm 的个体数量居多; 雌体个体体长主要介于 40–51 mm, 少数可达 60–61 mm; 雄体仅观察到 2 尾、体长分别为 50.75 mm 和 51.87 mm。此外, 水平网样中 FIV 期个体平均体长明显较 FIII 期相应值小。各发育期体长分布在垂直网和水平网组间 t 检验显示(表 2), 垂直网样 CI、CIII 期平均体长均大于水平网样相应发育期平均体长, 两差异均达显著性水平。

CII 到 FII 期大磷虾幼体生长率范围为 0.053–0.152 mm/d, 以 CIII 期和 FI 期的生长率值较高(表 2)。

3 讨论

3.1 大磷虾的水平分布与环境因子的关系

南极半岛周边海域是南极磷虾分布较为集中、生物量较高的区域(Makarov, 1979; Wang, 1989; Putland *et al.*, 2011), 也是近年来南极磷虾渔业作业的主要场所。本次调查样品中, 48.2 亚区大磷虾无论是站位出现频率还是分布密度均高于 48.1 亚区的相应值, 特别是南奥克尼群岛东北部海域(图 3)。有研究发现早期幼体(原蚤状幼体和蚤状幼体)的磷虾分布趋向于外海水域, 而成体多分布于大陆架海域(Makarov, 1979; Brinton, 1985), 大磷虾成体近岸集群密度较高(Brinton, 1985; Klevjer *et al.*, 2010)。本研究中亦是如此, 如 48.2 亚区中大磷虾的早期幼体相对于发育期较高的未成体和成体的分布离岸较远。大磷虾的不同

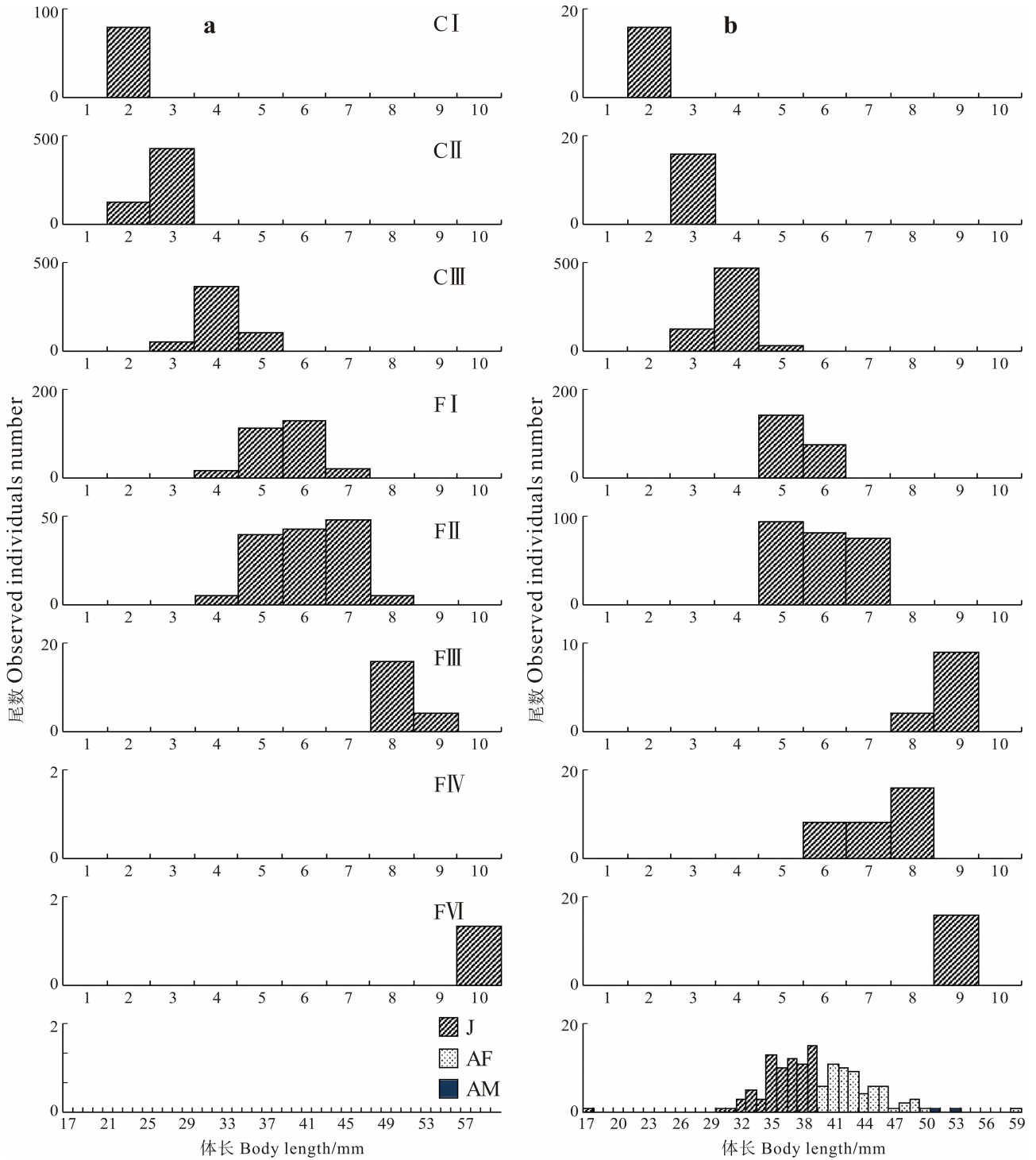


图5 48.2亚区南奥克尼群岛附近水域南极大磷虾各发育期体长-频数分布

Fig.5 The frequency of lengths of *E. superba* stage-specific individuals in the water around the South Orkney Islands in CCAMLR subarea 48.2

a. 垂直网样; b. 水平网样 a. Vertical net sample; b. Surface net sample

发育期分布可能与水温密切相关(Brown *et al.*, 2010)。大磷虾耐受水温的范围为 $-1.89\sim 3.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Marr, 1962; Lomakina, 1966)。本研究结果显示, 调查海域的表层水温介于 $0.37\sim 2.49\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间, 恰属大磷虾的温度耐受范围内。在此适温范围, 大磷虾 CIII 期有向相对高温区聚集的趋势, 这可能是 48.2 亚区的 CIII 期数量密度较高的原因所在。此外, 48.2 亚区即南奥克尼群岛邻近水域处于南极两个重要的海洋环流, 南极绕极流和威德尔环流交汇区(Deacon *et al.*, 1975; Hofmann *et al.*, 1998), 此区浮游植物密度较高(Brinton, 1985), 丰富的饵料基础亦是 大磷虾在此域聚集的可能原因。

3.2 不同采集方式与大磷虾的发育期组成

本研究采用 200 m 以上垂直拖网和海表水平拖网两种采集方式, 所获样品中, 虽包含大磷虾原蚤状幼体 CI 期至成体各期, 但未获无节幼体。在同一时间所获另一部分垂直样中也只含极少 CI 期以下的大磷虾(Gao *et al.*, 2013)。本样品中未获取更早发育期个体, 可能是采样水层(0–200 m)所限。大磷虾生活周期有特殊的“发育上升(Developmental ascent)”现象(Marr, 1962), 即随发育期, 大磷虾的垂直分布逐步由深水层向海表层迁移, 卵和早期幼体无节幼体和后期无节幼体多分布于深水层 500–2000 m, CI 期方可上升至 200 m 以浅的真光层, 之后发育期的幼体多分

布于 200 m 以浅水层(Marr, 1962)。这可作为垂直网样中大磷虾发育期较晚的个体数量比例较水平网的相应值明显低的可能原因。

从图 5 可得, 相对水平网样, 垂直网样的大磷虾体长分布范围大。推测, 垂直采样方式在获取更全面的发育期个体方面具有一定优势。故而本研究在初步定量分析大磷虾的发育期组成和分布密度时, 以垂直网样的结果为准。但是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, 这在一定程度上弥补了大磷虾对采样网具的规避(逃逸)而引起对大个体数量的低估。因此水平网在定性确定大磷虾水平分布、获取足够数量的样品时更为有效。本研究在估算大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 CI 和 CII 期相应体长在两统计亚区间差异(表 2)。垂直拖网和水平拖网两种采集方式的有效结合, 可以促进和更为全面地理解大磷虾时空分布特征。

3.3 大磷虾的生长

大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; Quetin *et al.*, 2003; Virtue *et al.*, 2010; Brown *et al.*, 2010)。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。不同采集方式

表 2 48.2 亚区南奥克尼群岛附近水域大磷虾各发育期体长分布和生长率

Tab.2 Stage-specific lengths and growth rates of *E. superba* in the water around the South Orkney Islands in CCAMLR subarea 48.2

发育期 Stage	垂直网样 Vertical sample			水平网样 Surface sample			生长率 Growth rate (mm/d)
	测定样本 No	体长 Total length (mm)		测定样本 No	体长 Total length (mm)		
		范围 Range	均值±标准误差 Mean±SE		范围 Range	均值±标准误差 Mean±SE	
CI*	20	1.76–2.19	2.11±0.02	2	1.85–1.88	1.87±0.02	
CII	112	2.10–3.56	2.83±0.03	2	2.50–2.80	2.65±0.15	0.053
CIII*	142	3.00–4.96	4.05±0.04	34	2.90–4.80	3.77±0.08	0.130
FI	61	3.95–6.86	5.56±0.08	15	4.94–5.95	5.37±0.08	0.152
FII	34	4.00–7.67	6.18±0.16	20	5.00–7.30	6.19±0.18	0.055
FIII	5	7.75–8.69	7.98±0.18	4	7.60–9.08	8.22±0.37	
FIV	0	—	—	3	6.40–8.10	7.23±0.49	
FV	—	—	—	—	—	—	
FVI	1	10.4	—	1	8.8	8.8	
J	0	—	—	80	16.87–39.85	36.22±0.35	
F	0	—	—	60	40.00–58.96	43.59±0.42	
M	0	—	—	2	50.75–52.99	51.87±1.12	

注: “*”表示存在极显著性差异($P<0.01$); “—”未观察到

Note: “*” denotes highly significant difference ($P<0.01$) between the mean lengths of krill individuals from the two sampling methods; “—” denotes Not observed

获得的样品中,同一发育期的体长分布也存在着不同,垂直网中采集到大磷虾的幼体除 FIII 期以外,均大于水平网样中的相应体长,特别是 CI 和 CIII 期。本研究结果所得的大磷虾各发育期生长率是基于野外群体体长分布估算所得,这与实验室内培养所得到的瞬时生长率(Kawaguchi *et al.*, 2006; Brown *et al.*, 2010; Virtue *et al.*, 2010)有一定差异。本研究结果中,大磷虾的生长率并未完全随发育期升高而降低的趋势,而是 CIII 和 FI 期出现较高的生长率,这也许是因为较小的幼体对食物的摄取有一定的困难(Fach *et al.*, 2006)。FIII 和 FIV 期个体少,本研究暂未估算两发育期间的生长率。但从表 2 可看到, FIV 个体体长较 FIII 反而减小,除了可能由于所获 FIV 期个体数量较少所存在的误差以外,这种现象亦可能与大磷虾在其生活史中会因食物缺少,蜕皮后反而体长小于蜕皮前的体长,而出现负生长的现象(Ikeda *et al.*, 1982)有关。

西南极的大磷虾幼体数量出现较多的季节为每年 9 月至翌年 3 月,一般夏季 1-2 月原蚤状幼体数量最多(Brinton, 1985; Makarov *et al.*, 1990)。本研究的调查时间为 1 月下旬至 2 月中旬,大磷虾亦多为原蚤状幼体,与前述历史研究基本吻合。大磷虾不同种群的生殖季节存在较大的时空差异,如在南印度洋普里兹湾(Hosie *et al.*, 1988),大磷虾在 1 月才开始产卵,各发育期的出现时间也相应滞后,2 月仍以无节幼体为主,明显晚于西南印度洋(Kawaguchi *et al.*, 2010)和南太平洋罗斯海域(Taki *et al.*, 2009)。

本研究显示,2 月上中旬 48.2 亚区出现的大磷虾个体以 CI 至 FII 期为主。假设 Ikeda(1984)有关大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,48.2 亚区大磷虾产卵时间开始于 9 月末,集中出现在 12 月中上旬,与 Makarov(1979)的研究相符,早于其他海域,如罗斯海(Taki *et al.*, 2009)、近西南印度洋(Kawaguchi *et al.*, 2010)和普里兹湾(Hosie *et al.*, 1988)。48.1 亚区中只有少数大磷虾的分布,发育期为蚤状幼体和未成体,未出现原蚤状幼体,推测可能由于 48.1 亚区大磷虾个体发育时间较早(Makarov, 1979)有关。

致谢: 本研究的海上样品采集和数据传送工作由辽宁远洋渔业有限公司渔船“安兴海”和科学观察员朱国平、冯春雷协助完成。

参 考 文 献

孙松,刘永芹. 南极磷虾与南大洋生态系统. 自然杂志, 2009, 31(2): 88-90

- 王荣, 仲学锋. 普里兹湾邻近海域大磷虾幼体的分布与丰度研究. 极地研究, 1993, 5 (4): 22-31
- 杨光, 李超伦, 孙松. 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, 2010, 22(2): 125-134
- Ashjian CJ, Davis CS, Gallager SM, *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. Deep-Sea Res II, 2008, 55(3-4): 455-471
- Atkinson A, Siegel V, Pakhomov EA, *et al.* A re-appraisal of the total biomass and annual production of Antarctic krill. Deep-Sea Res I, 2009, 156: 727-740
- Atkinson A, Siegel V, Pakhomov EA, *et al.* Oceanic circumpolar habitats for Antarctic krill. Mar Ecol Prog Ser, 2008, 362: 1-23
- Brinton E. The oceanographic structure of the eastern Scotia Sea III. Distributions of euphausiid species and their developmental stages in 1981 in relation to hydrography. Deep-Sea Res, 1985, 10(32): 1153-1180
- Brown M, Kawaguchi S, Candy S, *et al.* Temperature effects on the growth and maturation of Antarctic krill (*Euphausia superba*). Deep-Sea Res II, 2010, 57(7-8): 672-682
- Deacon GER, Moorey JA. The boundary region between currents from the Weddell Sea and Drake Passage. Deep-Sea Res, 1975, 22: 265-268
- Everson I. Antarctic krill: A reappraisal of its distribution. Polar Record, 1976, 112: 15-23
- Fach BA, Hofmann EE, Murphy EJ. Transport of Antarctic krill (*Euphausia superba*) across the Scotia Sea. Part II: Krill growth and survival. Deep-Sea Res I, 2006, 53(6): 1011-1043
- Gao Q, Xu Z, Huang H, *et al.* Geographical distribution and age composition of *Euphausia superba* larvae (Crustacea: Euphausiacea) in the South Shetland Islands region and southern Scotia Sea in relation to environmental conditions. Acta Oceanol Sin, 2013, 32(11): 59-67
- Hempel I. Euphausiid larvae in the Scotia Sea and adjacent waters in the summer 1977/78. Meeresforschung-reports on Marine Research, 1981, 29(1): 53-59
- Hewitt RP, Watkins J, Naganobu M, *et al.* Biomass of Antarctic krill in the Scotia Sea in January/ February 2000 and its use in revising an estimate of precautionary yield. Deep-Sea Res II, 2004, 51(12): 1215-1236
- Hofmann EE, Klinck JM, Locarninii RA, *et al.* Krill transport in the Scotia Sea and environs. Antarc Sci, 1998, 10(4): 406-415
- Hosie GW, Ikeda T, Stolp M. Distribution, abundance and population structure of the Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana) in the Prydz Bay region, Antarctica. Polar Biol, 1988, 8(3): 213-224
- Hosie GW. Distribution and abundance of euphausiid larvae in the Prydz Bay region, Antarctica. Antarctic Sci, 1991, 3: 167-180

- Ikeda T. Development of the larvae of the Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana) observed in the laboratory. *J Exp Mar Biol Ecol*, 1984, 75(2): 107–117
- Ikeda T, Dixon P. Body shrinkage as a possible over-wintering mechanism of the Antarctic krill, *Euphausia superba* Dana. *J Exp Mar Biol Ecol*, 1982, 62(2): 22–981
- Kawaguchi S, Nicol S, Virtue P, *et al.* Krill demography and large-scale distribution in the Western Indian Ocean sector of the Southern Ocean (CCAMLR Division 58.4.2) in Austral summer of 2006. *Deep-Sea Res II*, 2010, 57(9–10): 934–947
- Kawaguchi S, Steven GC, King R, *et al.* Modelling growth of Antarctic krill. I. Growth trends with sex, length, season, and region. *Mar Ecol Prog Ser*, 2006, 306: 1–15
- Kirkwood JM. A guide to the Euphausiacea of the Southern Ocean ANARE RESEARCH NOTES 1. Australian national Antarctic Research Expeditions, 1982: 1–45
- Klevjer TA, Tarling GA, Fielding S. Swarm characteristics of Antarctic krill *Euphausia superba* relative to the proximity of land during summer in the Scotia Sea. *Mar Ecol Prog Ser*, 2010, 409: 157–170
- Krafft B, Melle W, Knutsen T, *et al.* Distribution and demography of Antarctic krill in the Southeast Atlantic sector of the Southern Ocean during the austral summer 2008. *Polar Biology*, 2010, 33(7): 957–968
- Lomakina NB. The euphausiid fauna of the Antarctic and total regions. *Biological Reports of the Soviet Antarctic Expedition (1995–1958)*, 1966, 2: 260–342
- Makarov R, Menshenina L, Spiridonov V. Distributional ecology of euphausiid larvae in the Antarctica Peninsula region and adjacent waters. *Proceedings of the NIPR Symposium on Polar Biology*, 1990, (3): 23–35
- Makarov RR. Larval distribution and reproductive ecology of *Thysanoessa macrura* (Crustacea: Euphausiacea) in the Scotia Sea. *Mar Biol*, 1979, 52(4): 377–386
- Marr JSM. The natural history and geography of the Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana). *Discovery Reports*, 1962, 32: 33–464
- Marrari M, Daly KL, Hu C. Spatial and temporal variability of SeaWiFS chlorophyll a distributions west of the Antarctic Peninsula: Implications for krill production. *Deep-Sea Res II*, 2008, 55(3): 377–392
- Nicol S, Endo Y. Krill fisheries Development, management and ecosystem implications. *Aquatic Living Resources*, 1999, 12(2): 105–120
- Putland J, Sutton T. Survey of larval *Euphausia superba* lipid content along the western Antarctic Peninsula during late autumn 2006. *Polar Sci*, 2011, 5(3): 383–389
- Quetin LB, Ross RM, Frazer TK, *et al.* Growth of larval krill, *Euphausia superba* in fall and winter west of the Antarctic Peninsula. *Mar Biol*, 2003, 143(5): 833–843
- Ross RM, Quetin LB, Newberger T. Growth and behavior of larval krill (*Euphausia superba*) under the ice in late winter 2001 west of the Antarctic Peninsula. *Deep-Sea Res II*, 2004, 51(17–19): 2169–2184
- Suh HL, Soh HY, Hong SY. Larval development of the euphausiid *Euphausia pacifica* in the Yellow Sea. *Mar Biol*, 1993, 115(4): 625–633
- 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. *CCAMLR Science*, 2005, 12: 163–172
- Taki K, Yabuki T, Noiri Y, *et al.* Larval development and spawning ecology of euphausiids in the Ross Sea and its adjacent waters in 2004/05. *Plankton and Benthos Research*, 2009, 4(4): 135–146
- Virtue P, Kawaguchi S, Mcivor J, *et al.* Krill growth and condition in Western Indian Ocean sector of the Southern Ocean 30–80°E in austral summer 2006. *Deep-Sea Res II*, 2010, 57(9–10): 948–955
- Wang R. Distribution and abundance of eggs and larvae of antarctic krill (*Euphausia superba* Dana) Antarctic Peninsula area. *Chin J Oceanol Limnol*, 1989, 7(2): 97–104

(编辑 江润林)

The Abundance, Distribution, and Stage-Specific Compositions of *Euphausia superba* in the Water Around the Antarctic Peninsula

ZUO Tao^①, CHEN Dan, ZHAO Xianyong, WU Qiang, LI Xiansen

(Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture;
Shandong Provincial Key Laboratory of Fishery Resources and Ecological Environment, Yellow Sea Fisheries
Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

Abstract To characterize the structure of Antarctic krill population and to evaluate the fishery resources, we analyzed the stage-specific abundance and distribution of *Euphausia superba* based on the data collected in the main krill fishing grounds nearby the South Shetland Islands (CCAMLR subarea 48.1) and the South Orkney Islands (CCAMLR subarea 48.2) from January 23 to February 13 in 2010. There were two sampling methods used in the survey. One was the vertical haul from 200 m depth to the surface layer using plankton net of which the mesh size was 330 μm . The other was the horizontal haul on surface layer and the mesh size was 500 μm . *E. superba* was found in 39% of the sampling stations in the surveyed area. The mean density in the water around the South Orkney Islands was 1.92 ind/ m^3 , which was higher than the value of 0.35 ind/ m^3 in the water around the South Shetland Islands. The developmental stages of the sampled *E. superba* covered the calyptopsis stages (CI to CIII), the furcilia stages (FI to FIV and FVI), juvenile and adult. Nauplius and furcilia FV were not observed in our samples. Individuals at stages CI to CIII were the most abundant. The length ranges at stages of calyptopsis, furcilia, juvenile and adult were 1.76–4.96 mm (mean 5.15 mm), 3.95–14.80 mm (5.96 mm), 16.87–39.85 mm (36.10 mm) and 40.00–58.96 mm (43.94 mm) respectively. High growth rates of larval *E. superba* appeared at stages CIII and FI. According to the portions of individuals from different developmental stages, we deduced that the spawning season of *E. superba* in the water around the South Orkney Islands started in late September and peaked in early December, which was later than that of krill individuals in the water around the South Shetland Islands. The abundance of *E. superba* was higher in samples collected with the surface net method than with the vertical haul method, and there was also a remarkable difference in the stage-specific compositions between the two sampling methods. Therefore our study suggested that the surface sampling method could be an effective supplement to the traditional methods in the study of the spatial distribution and the growth of the krill.

Key words *Euphausia superba*; Spatial distribution; Stage-specific composition; Growth rate; Antarctic Peninsula

① Corresponding author: ZUO Tao, E-mail: zuotao@ysfri.ac.cn