

南极半岛邻近水域南极大磷虾 商业捕捞群体的年龄结构时空变化

左 涛¹ 赵宪勇^{1*} 黄洪亮² 夏 辉³ 徐玉成⁴ 孙坚强¹
冯春雷² 王新良¹ 朱国平³ 徐鹏翔³ 李灵智² 陈 丹^{1,3}

(¹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)

(²中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海 200090)

(³上海海洋大学, 201306)

(⁴辽宁远洋渔业有限公司, 大连 116113)

摘 要 2009/2010 和 2010/2011 两渔季, 我国渔轮在南极公约区内、位于 CCAMLR 48.1 亚区邻近南设得兰群岛和 48.2 亚区邻近南奥克尼群岛的南大西洋水域开展了南极磷虾捕捞作业。根据两渔季采集的捕捞群体中南极大磷虾体长及性比资料, 利用体长频数的混合分布法, 比较和分析了两渔季我国商业捕捞所获南极大磷虾 *Euphausia superba* Dana 的种群年龄结构特点。结果表明, 2009/2010 和 2010/2011 渔季夏至秋初(12 月~翌年 4 月), 近南极半岛的南设得兰群岛和南奥克尼群岛附近水域, 南极大磷虾捕捞群体中至少有 5 个年龄组, 雌性性比、种群年龄组成存在较为明显的年间和季节、区域差异。48.1 亚区近南设得兰群岛水域, 2009/2010 和 2010/2011 渔季的 1 月和 12 月, 南极大磷虾以 5⁺ 龄虾数量最多, 雌性临产个体占相当比例(>40%), 雌性临产个体的年龄分布为 3⁺~5⁺ 龄, 以 5⁺ 龄为主。而 48.2 亚区邻南奥克尼群岛的水域, 2009/2010 渔季的 2 月, 以 5⁺ 龄虾数量最多, 出现一定比例的 5⁺ 龄雌性临产个体; 2010/2011 渔季 2~4 月连续 3 月, 随时间后移, 该水域的大磷虾年龄构成由复杂转为单一; 以 3⁺ 龄虾数量最多, 雌雄比值增加; 雌性临产个体由很少至基本不出现(<1%); 各年龄组生长率随月减少, 3~4 月均为负值。由上述结果推测, 2010/2011 渔季南极大磷虾产卵高峰期应早于 2011 年 2 月, 较 2009/2010 渔季有所提前。

关键词 南极大磷虾 年龄组成 体长频数 混合分布分析 性比

中图分类号 S932.5+1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2012)04-0001-10

Temporal and spatial variations in age structure of Antarctic krill *Euphausia superba* (Dana) from commercial fishery in the waters near the Antarctic Peninsular

ZUO Tao¹ ZHAO Xian-yong^{1*} HUANG Hong-liang² XIA Hui³
XU Yu-cheng⁴ SUN Jian-qi¹ FENG Chun-lei² WANG Xin-liang¹
ZHU Guo-ping³ XU Peng-xiang³ LI Ling-zhi² CHEN Dan^{1,3}

公益性行业(农业)科研专项(201203018)、农业部“南极海洋生物资源开发利用”和山东省泰山学者“海洋渔业资源与生态”岗项目共同资助

* 通讯作者。E-mail: zhaoxy@ysfri. ac. cn

收稿日期: 2011-09-19; 接受日期: 2011-11-25

作者简介: 左 涛(1976-), 女, 副研究员, 主要从事浮游动物与渔业生态环境研究。E-mail: zuotao@ysfri. ac. cn

(¹ 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)
(² East Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090)
(³ Shanghai Ocean University, 201306)
(⁴ Liaoning Pelagic Fisheries CO. , LTD. , Dalian 116113)

ABSTRACT During 2009/2010 and 2010/2011 fishing seasons, Antarctic krill *Euphausia superba* Dana from the south Atlantic Ocean was harvested by Chinese commercial fishery vessels in the CCAMLR subarea 48.1 near the South Shetland Islands and CCAMLR subarea 48.2 near the South Orkney Islands, respectively. The length-frequency and sex ratio of krill collected in both fishing seasons were analyzed to estimate its growth, age structure, and evaluate potential temporal-spatial variations of its spawning season. Based on the results of length-frequency fitting mixture distribution, five age groups ($1^+ \sim 5^+$) were observed in the krill population. The age structure and sex ratio of krill varied in the two fishing seasons and subareas. In the waters near the South Shetland Islands of subarea 48.1, *E. superba* population was dominated by individuals at age 5^+ in January, 2010 and December, 2011. In the two months, gravid female were abundant and consisted over 40 percent of all krill numbers. Gravid females were between age $3^+ \sim 5^+$ and dominated by those of age 5^+ . In contrast, in the waters near the South Orkney Islands of the subarea 48.2, *E. superba* population was still dominated by individuals of age 5^+ in February, 2010, yet subsequently by those of age 3^+ in February, March and April, 2011. Although gravid females of age 5^+ were observed, their proportions decreased only about 15% in February, 2010 and less than 1% from February to April, 2011. Monthly observation during February, March and April, 2011 showed that it tended to be fewer gravid individuals, more unimodal age structure and increased sex ratio. In addition, the krill growth rate decreased with month and was negative value in March and April. Based on the above results, it could be inferred that in subarea 48.2, *E. superba* spawning peak in 2010/2011 fishing season should be earlier than February, 2011, while spawning remained in that month of 2009/2010 fishing season.

KEY WORDS *Euphausia superba* Dana Age structure Length-frequency
Fitting mixture distribution Sex ratio

南极大磷虾(*Euphausia superba* Dana)是南大洋生态系统的关键生物之一,是目前查明可供人类直接利用的储量最为丰富的海洋生物资源(孙松 2002;黄洪亮等 2004)。在农业部“南极海洋生物资源开发利用”项目支持下,我国渔轮自 2009 年开展实质性的南极磷虾商业捕捞作业,已持续两个渔季,取得了较好的效果。

就南极磷虾渔业而言,捕捞群体和种群结构决定着资源性质,从而影响渔业对策(王荣等 1995)。南极大磷虾是多年生甲壳动物,确定渔捞群体年龄组成是开展渔区南极大磷虾种群结构研究的基础。鉴定和区分大磷虾自然生长群体年龄,有年龄色素法(Lipofuscin)(Ettershank 1984)、复眼晶椎体数目法(孙松等 1995)等,但由于其生长蜕皮特性,尚未有海上直接使用、可行、有效的物理或化学指标。目前更多利用体长频数的混合分布法(Distribution mixture analysis method)(MacDonald *et al.* 1979; Siegel 1987; Hosie *et al.* 1988, 1989)。我国学者 20 世纪 90 年代亦将此法应用于西印度洋区近普里兹湾水域南极磷虾的年龄组成和寿

命研究,获得了满意的结果(王荣等 1995;鲁北伟等 1996)。近期,朱国平等(2011)亦采用此法,开展了南极磷虾捕捞群体的年龄组成研究。

常规的分布混合分析法(MacDonald *et al.* 1979)是针对分析数据对象来源于某个随机、独立分布的种群,该种群的每个年龄组个体的体长频数 L/F 分布呈 Poisson 分布,种群总的 L/F 分布则是各年龄组 L/F 分布的叠加,因此通过对可能存在的年龄组分布参数的调整、迭代和拟合,确定种群年龄结构的最佳拟合估计(Siegel 1987;鲁北伟等 1996)。捕捞个体体长统计数据通常受渔捞活动性质影响,数据采集可能具有不连续性,随机性,易出现空值(如捕捞量为 0 时),捕捞物的体长频数分布并不呈正态分布,而是为 Δ -分布,即非零值的对数正态分布(Aitchison 1955;Pennington 1983)。de la Mare(1994)根据捕捞数据的 Δ -分布性质,对原分布混合分析法参数计算进行相应的调整,首先计算不同捕捞网次的体长频数出现概率、相应体长频数的最大可能观察值,再运用修正后的 χ^2 最小法求解参数的最大似然估计值,使理论频数与实测频数达到最佳吻合,最终确定目标种群的年龄组成。该法被南极海洋生物资源养护科学委员会(Scientific Committee for the Conservation of the Antarctic Marine Living Resources, SC-CAMLR)推荐为对捕捞生物年龄分析的有效分析法,并且在南极捕捞磷虾年龄组成和种群补充研究分析推广。

本研究基于 2009/2010 和 2010/2011 两渔季,我国渔轮在南极公约区内执行南极磷虾探捕任务中,按照南极海洋生物资源养护委员会(Commission for the Conservation of the Antarctic Marine Living Resources, CCAMLR)相关科学观察管理措施,开展南极大磷虾生物学观察所获取的资料,利用混合分布分析法,运用由澳大利亚南极署 de la Mare 和 Andrew J. Constable 编制及 CCAMLR 秘书处 David Ramm 提供 CMIX 计算模块,研究我国渔轮所获的捕捞群体中南极大磷虾的年龄结构和性别比差异的时空变化。本研究有利于了解南极大磷虾的种群结构特点、生长状况,确定资源性质;促进相关国内资料的积累;对全面综合了解南极不同水域的南 David Ramm David R 极磷虾资源状况、制定科学的渔业对策有着重要的意义。

1 材料与方法

1.1 采样和数据整合

根据 CCAMLR 定义,每一渔季自上一年的 12 月到翌年的 11 月末。2009/2010 和 2010/2011 渔季分别有 2 艘、5 艘中国渔轮进入南极公约区 FAO 渔区 48.1 亚区内邻近南设得兰群岛(South Shetland Islands)和 48.2 亚区邻近南奥克尼岛(South Orkney Islands)的南大西洋区水域进行南极磷虾捕捞作业,作业方式参考朱国平等(2011)。各渔轮作业时间和水域见表 1 和图 1。

我国南极磷虾商业捕捞刚开展了两个渔季,尚属探捕阶段,渔船组成和数量还不稳定,作业连贯性相差较大(表 1),数据采集的时空分配不均匀。为适应本研究需要,原始数据进行了必要的整理和归并:同一渔季、月份和亚区中不同渔轮的生物学数据进行归并;2010/2011 渔季,1 月 48.1 亚区数据采集量较小(共计 6 网次),将其与该渔季 12 月归并。

1.2 生物学特征采集策略

生物学特征的采集包括磷虾个体体长测量、雌雄判定,此外记录雌性个体中是否为临产状态(即抱卵与否)。具体测定和判断标准参照 CCAMLR 国际科学观察员框架(Scheme of International Scientific Observation)、科学观察员手册(Scientific Observers Manual)(www.ccamlr.org)。磷虾全长:自额角(Rostrum)前端至尾节(Telson)末端,精确至 mm。测定网次占总捕捞网次的 20% 以上,每一网次随机进行至少 100 尾磷虾的相关生物学特征的采集。

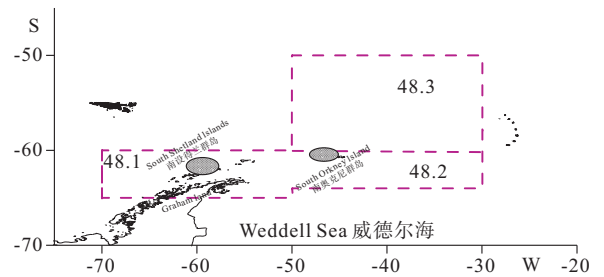


图 1 各渔轮在南极公约区内 CCAMLR 48.1 亚区和 48.2 亚区主要作业的水域

Fig. 1 Fishing locations in CCAMLR subarea 48.1 and 48.2 in the Antarctic Convention Area

表1 各渔轮作业时间和亚区分布概况

Table 1 Summary of month and subarea distributions of Chinese krill fishing vessels during 2009/2010 and 2010/2011 fishing seasons

渔季 Fishing season	船名 Name of vessel	12月 Dec	1月 Jan	2月 Feb	3月 Mar	4月 Apr	5月 May
2009/2010	开利 Kaili		48.1	48.2			
	安兴海 Anxinghai		48.1	48.2			
	测定磷虾尾数/网次数 Krill number /net observed		2 600/18	4 600/119			
2010/2011	开利 Kaili	48.1	48.1				
	开顺 Kaishun		48.1	48.2			
	开欣 Kaixin	48.1			48.2	48.2	
	安兴海 Anxinghai			48.2	48.2		
	连兴海 Lianxinghai				48.2	48.2	48.2
	测定磷虾尾数/网次数 Krill number /net observed	12 950/59	600/6	7 400/44	8 300/55	5 700/32	—

1.3 体长频数 (Length/Frequency, L/F) 的混合分布分析 (Fitting mixture distribution to length-density)

运用 CMIX 计算模块实现。该模块的计算流程和说明见 de la Mare(1994)以及 CMIX Users Manual and Specification (<http://www.antarctica.gov.au/science/>), 简单说明如下。

拖网调查数据为 Δ -分布, 即包含取样值为 0 的数据也包括在内的对数正态分布, 其非零值部分符合正态分布 (Aitchison 1955)。但由于以平均值为基础的 Δ -分布通常随观察值的数目增加而表现高度的倾斜和不对称, 简单的转换数据或取平均值并不能概括样本分布的所有特征。因此, 在计算过程中, 仍应采用原始的完整数据。

首先采用的 Δ -分布的概率密度函数为:

$$f(x, p, \lambda, \sigma^2) = (1-p)I_0(x) + p \frac{1}{x \sqrt{2\pi\sigma}} e^{\frac{1}{2}(\frac{\ln x - \lambda}{\sigma})^2} I_{(0, \infty)} \quad (1)$$

式中, x 为体长随机变量, p 为 $x(>0)$ 占总数的比例, λ 和 σ^2 为非零值的变量对数均值和标准差, I_0 为指示函数, 当 $x=0$ 时, 取值为 1, 否则为 0。 $I_{(0, \infty)}$ 当 $x=0$ 时, 取值为 0, 当 $x>0$ 时, 取值为 1。

Δ -分布中随机变量 $x = (x_1 \cdots x_N)$ 的向量的对数似然函数为:

$$\ln[\phi(x_1, x_N, p, \lambda, \sigma^2)] = (N-m)\ln(1-p) + m\ln p - \frac{m}{2}\ln\sigma^2 - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{x>0} (\ln x_i - \lambda) - \sum_{x>0} \ln x_i - \frac{m}{2}\ln 2\pi \quad (2)$$

式中, N 是观察网次数, m 是非零值的网次数。此法为计算各网构成某体长组 x_i 的概率密度。

第 j 组体长的预期概率密度均值的最大似然估计为:

$$\begin{aligned} d_j &= \frac{m}{N} e^y G_m \left(\frac{1}{2} s^2 \right), & m > 1 \\ d_j &= \frac{x_j}{N}, & m = 1 \\ d_j &= 0, & m = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

式中, \bar{y} 和 s^2 是非零值的变量对数的几何平均值和几何标准差。

$$G_m(t) = 1 + \frac{m-1}{m} t + \sum_{j=2}^{\infty} \frac{(m-1)^{2j-1}}{m^j (m+1)(m+3)\cdots(m+2j-3)j!} \quad (4)$$

式中, $G_m(t)$ 为超几何分布函数, 随着 j 的增大, 其逐渐趋近于一渐近值。

计算以下方程的根, 得到概率密度均值的置信区间:

$$q(d) = \left[\ln\phi(x, p, \lambda, \sigma^2) \mid p = \frac{m}{N}, \lambda = \frac{1}{m} \sum_{x_i > 0} \ln x_i, \sigma^2 = \frac{1}{m} \sum_{x_i > 0} (\ln x_i - \lambda) \right] \quad (5)$$

$$- \text{Sup} \left[\ln\phi(x, p, \lambda, \sigma^2) \mid 0 < p \leq 1, = \frac{m}{N}, \lambda = \ln\left(\frac{d}{pG_m\left(\frac{1}{2\sigma^2}\right)}\right), 0 < \sigma^2 < \infty \right] - \frac{1}{2} \chi_{1,\alpha}^2$$

式中, $\chi_{1,\alpha}^2$ 是 χ^2 分布在 α 概率水平、自由度为 1 的临界值。

求解各参数的最大似然估计值,使混合分布样本内各体长组对数似然函数的总和值最大。定义此混合分布样本的相关参数为:

$R(t)$: 主要的统计量,是 t 年龄组的个体数量占该年龄组及更大年龄组以上数量总和的比例;

θ : 冗余参数的向量,由 $D_{t+1} \cdots D_n, k$ 和 $\mu_{t+1} \cdots \mu_n$ 组成。其中,混合分布样中 D_i 计算式为:

$$D_i = \frac{R(t)}{1 - R(t)} \sum_{i=t+1}^n D_i \quad (6)$$

且

$$d_j = \sum_{i=1}^n D_i \left[\phi\left(\frac{\mu_i - l_{j-1}}{k\mu_i}\right) - \phi\left(\frac{\mu_i - l_j}{k\mu_i}\right) \right] \quad (7)$$

式中, l_j 和 l_{j+1} 是体长组第 j 组的数值上、下限, D_i 是种群内年龄 i 的个体总数量, $\phi(\cdot)$ 代表的是标准正态分布的累积函数, μ_i 是年龄 i 的动物体长分布的平均值, d_j 体长组 j 的概率密度期望值,即为混合分布样中体长组 j 内所有年龄组 n 的个体分布总和。估算 D_i, μ_i 和 k 的值,使其所产生 d_j 与实际观察到的 j 体长组的数量分布有很好的拟合。

利用似然函数进行拟合混合分布:

$$h(R_i, \theta) = \left[\sum_{j=i}^n \text{Sup} \left(\ln\phi(x_j, p_j, \lambda_j, \sigma_j^2) \mid \lambda_j = \ln \left(\frac{\overset{0 < p_j \leq 1}{d_j}}{\underset{0 < \sigma_j^2 < \infty}{p_j G_m\left(\frac{1}{2\sigma_j^2}\right)}} \right) \right) \right] \quad (8)$$

估计 $R(t)$ 和 θ 时,需要依次最大化每个体长组的 Δ -分布的似然函数,从而达到 $h[R(t), \theta]$ 的最大化。所有这些最大化必须通过具体数值运算,且必须服从于以下限制条件:

$$\begin{aligned} 0 &\leq R(t) < 1 \\ \mu_i^- &\leq \mu_i \leq \mu_i^+ < \mu_{i+1}^- < \mu_{i+1} < \mu_{i+1}^+ \cdots \mu_n^- \leq \mu_n \leq \mu_n^+ \\ k^- &\leq k \leq k^+ \end{aligned} \quad (9)$$

式中,上标+ 或-代表数值的大小差异。

由于最大似然估计的偏差是非常重要的。CMIX 模块还对于 $R(t)$ 的方差进行估算,它是通过以下几个部分的二次方程的二阶求导数得到:

$$\{\hat{R}(t) - \delta, h(R(t) = \hat{R}(t) - \delta)\}, \{\hat{R}(t), h(R(t) = \hat{R}(t))\}, \{\hat{R}(t) + \delta, h(R(t) = \hat{R}(t) + \delta)\} \quad (10)$$

其中, δ 值很小。但是,在上式中,假设 $R(t)$ 是一定的,冗余参数向量则是通过多次最大化似然函数估计产生的。因此, $R(t)$ 值差可认为是 $R(t)$ 边缘方差,虽然这种估计并不完全精确,但足够为 $R(t)$ 估值的分布统计提供必要的相对加权值。

在运算过程中,需要对不同年龄组的体长范围进行界定。由于渔船进行磷虾拖网作业时,所使用的网具的囊网孔径多大于 20mm,因此,所测样中磷虾个体当年生幼体少,大多为体长 > 25mm,为 1⁺ 龄以上的磷虾个体,本研究参考文献(Ikeda 1985; Siegel 1987; de la Mare 1994; 王 荣等 1995),不考虑 0⁺ 当年生幼体,设定的南极大磷虾 5 年龄组的平均体长范围为: 1⁺: 22 ~ 29mm; 2⁺: 30 ~ 42mm; 3⁺: 43 ~ 48mm; 4⁺: 49 ~ 52mm; 5⁺ 以上: 53 ~ 58mm。

1.4 生长率的估算

本研究对 2010/2011 渔季 48.2 亚区 2~4 月磷虾的月间日生长率(体长/d)进行初步估算。某年龄组的月间日生长率 = 该年龄组平均体长的月间差值/月总天数,月总天数按 30d 计。

2 结果

2.1 捕捞群体年龄组成

图2为各渔季、亚区整个捕捞群体的各年龄组的L/F分布曲线。将图2各特征参数汇总列于表2,分析可得,在2009/2010渔季,48.1(1月)和48.2亚区(2月)均出现3⁺、4⁺和5⁺龄虾,1⁺龄和2⁺龄虾很少或不出现。而在2010/2011渔季,48.1亚区(12月至1月)和48.2亚区(2~4月),1⁺~5⁺龄虾均有出现。除2009/2010渔季的48.2亚区的大磷虾各年龄组的平均体长较高,2009/2010渔季的48.1亚区大磷虾的平均体长与2010/2011渔季的两

亚区相应值较接近。各年龄组的磷虾数量比例存在一定的渔季和区域间差异。在2009/2010渔季,48.1和48.2亚区均以5⁺龄虾为主,其次为4⁺和3⁺龄磷虾。2010/2011渔季,48.1亚区5⁺龄虾的数量比例占64%以上,其次为4⁺龄虾,1⁺龄虾也占相当比例,出现少量的2⁺龄虾。48.2亚区,4⁺和5⁺龄的数量极少,主要为3⁺龄和2⁺龄虾,且以3⁺龄虾为主(占78%以上)。

2.2 捕捞群体年龄组成的月变化及月间日生长率估算

利用混合分布分析法对2010/2011渔季2、3、4月的磷虾年龄组成分析,所得各年龄出现频数所占比例及平均体长月变化见图3。2月出现1⁺~5⁺所有年龄组,2⁺、3⁺和4⁺龄虾共同构成该月的数量主体,其中以3⁺龄虾略多,出现频数占总数的35%;3月和4月以3⁺龄虾为主,出现频数分别占总数的81%和97%,其次为2⁺龄虾,出现频数分别占总数的18%和3%。总体而言,捕捞群体年龄构成随月由复杂转为相对单一。

此外,3个月均出现的2⁺和3⁺龄虾的平均体长呈随月增长的趋势,2月的2⁺和3⁺龄虾的平均体长为36.7mm、43.5mm,均较其他两月相应年龄组的对应值小,3月的2⁺和3⁺龄虾的平均体长为38.4mm、47.1mm,而4月分别为38.5mm、47.9mm。

由各年龄组平均体长的月间差异得到月间日生长率(图4),2~3月,各龄虾的生长率均高于其在3~4月的相应值,表现为随年龄组增加(除3⁺龄虾以外),生长率总体上呈减少趋势。其中,2⁺和3⁺龄2~4月生长率(0.004~0.117 mm/d)都为正值;4⁺龄虾,2~3月生长率为正值(0.033 mm/d),3~4月,生长率为负值(-0.06 mm/d);5⁺龄虾平均体长逐月减少,生长率均为负值,2~3月和3~4月的值分别为-0.05、-0.15 mm/d。

2.3 雌、雄体的年龄构成和日生长率

2.3.1 性比

2009/2010渔季,48.1(1月)和48.2(2月)两亚区总观测样中,雌体占总数的70%和58%,雌雄比分别为2.4:1和1.96:1;2010/2011渔季,48.1(主要为12月)和48.2(2~4月)亚区总观测样中,雌体占总数的

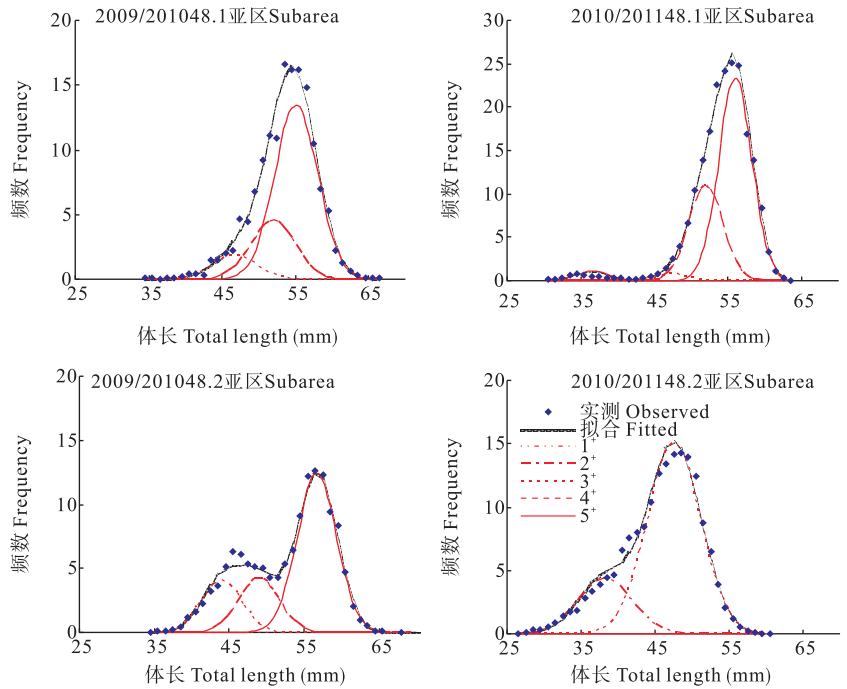
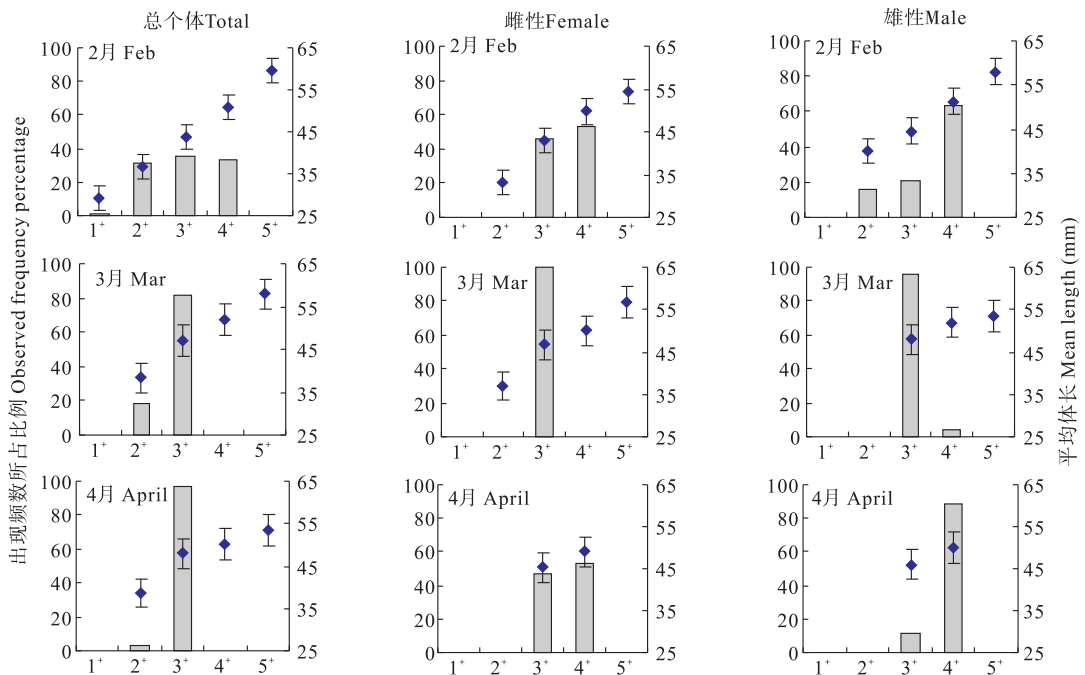


图2 混合分布分析捕捞南极大磷虾的L/F分布及年龄组成
Fig. 2 L/F distribution and age-group compositions of *E. superba* Dana determined by distribution mixture analysis

表 2 用混合分布分析确定的南极大磷虾各年龄组相关参数

Table 2 Characteristic parameters of age groups of *E. superba* determined by distribution mixture analysis during fishing seasons 2009/2010 and 2010/2011

渔季 Fishing season	年龄组 Age groups	48.1		48.2	
		平均体长±标准差 Mean±s. d. (mm)	出现频数 百分比 Frequency (%)	平均体长±标准差 Mean±s. d. (mm)	出现频数 百分比 Frequency (%)
2009/2010	1 ⁺	—	—	—	—
	2 ⁺	—	—	39.49±2.62	0.005
	3 ⁺	46.73±2.94	9.18	44.16±2.62	17.36
	4 ⁺	51.96±2.94	22.70	48.50±2.62	21.06
	5 ⁺	55.12±2.94	68.05	56.66±2.62	60.87
	测定尾数 Observed numbers		2 600		4 600
2010/2011	采样时间 Sampling season	1 月 Jan		2 月 Feb	
	1 ⁺	24.34±2.22	17.99	27.99±3.55	0.30
	2 ⁺	36.61±2.22	3.08	38.25±3.55	22.61
	3 ⁺	47.03±2.22	2.17	47.55±3.55	78.09
	4 ⁺	51.95±2.22	30.21	49.25±3.55	<0.00
	5 ⁺	55.99±2.22	64.85	55.94±3.55	<0.00
测定尾数 Observed numbers		12 950		21 400	
采样时间 Sampling season		12 月, 1 月 Dec. and Jan.		2~4 月 April~Feb.	



柱状代表频数所占比例, 实心点代表体长

Shaded column: frequency proportion; Dot: mean length

图 3 2010/2011 渔季 48.2 亚区 2、3、4 月南极大磷虾的各年龄组平均体长和出现频数比例

Fig. 3 Monthly mean body lengths and observed frequency percentages of age groups for *E. superba* collected in February, March and April during the fishing season 2010/2011

70%和71%，雌雄比为3.96:1和5.88:1，较上一渔季有明显的增加。另外，2010/2011渔季48.2亚区2、3、4月的雌雄比，分别为4.52:1，6.73:1，4月为7.35:1，表现为随月增加趋势。

2.3.2 年龄组成

由图5可得，2009/2010和2010/2011两渔季的48.1亚区，南极大磷虾雌虾由3⁺~5⁺龄组成，5⁺龄为主，雌性临产(抱卵)个体亦以5⁺龄为主，雄体主要分布于5⁺龄，3⁺占少量比例。48.2亚区，2009/2010渔季，雌体分布于3⁺~5⁺龄，以5⁺龄为主，雌性临产(抱卵)个体亦以5⁺龄为主，雄体，2⁺~5⁺龄虾均有，且各年龄组所占比例相近，5⁺和3⁺比例值略高；2010/2011渔季，虽然雌体和雄体的年龄分布从2⁺~5⁺均有，雄体主要为4⁺龄虾，雌体以4⁺和3⁺为主，雌性临产个体主要为5⁺龄虾，但出现频数极低且集中出现于2月，占该月雌性个体总数的1.7%。另外，结合图3，雌性个体，2和4月主要为3⁺和4⁺龄虾，3月主要为3⁺龄虾。雄性个体，2月以4⁺龄虾居多，2⁺和3⁺龄虾亦有一定比例，3、4月分别以3⁺龄和4⁺龄虾居多。

2.3.3 日生长率估算

由图4可见，2010/2011渔季，2~4月，雌性个体的生长率较雄性个体高；除5⁺龄雄性个体外，雌、雄性个体各龄虾生长率在2~3月间，均为正值，为正增长；在3~4月，均为负值，为负增长。

3 讨论

目前我国有关南极磷虾生物学的研究报道多基于专门的科考调查，所获南极大磷虾的样品中包含大磷虾各发育形态，个体大小分布范围较为全面(王荣等 1995; 刘会莲等 2001)。而南极磷虾商业捕捞使用的中上层拖网网具的囊网孔径较大(一般>20mm)，所获南极磷虾的个体体长大多为>35mm的成体，2⁺龄以下成体、未成体等较少，易被低估。但是，商业捕捞一般分布于磷虾高度聚集斑块分布水域，采样频次高(Kanda *et al.* 1982)，且商业网具网口面积(>300 m²)远大于科考所用网具(<10m²)，样本量大，恰能弥补科考资料的不足。因此，采集和分析商业南极磷虾捕捞群体生物学信息，对于了解具有大尺度斑块分布和群聚特性的南极大磷虾种群行为，研究其种群生长结构特征有着重要意义(Kawaguchi *et al.* 2007)。

南大西洋区南极大磷虾的寿命一般认为5~6年，也可至7~8年。种群一般包括6个年龄组(Siegel 1987)。朱国平等(2011)认为，2009/2010渔季南极大磷虾渔捞群体中6⁺龄占相当比例。本研究结果中，亦有少数(<0.01%)磷虾个体体长介于60~70mm，可能为6⁺龄以上虾。但大磷虾在生长后期，体长并不随年龄明显增加(Ikeda *et al.* 1982)，不同年龄组体长迭合现象突出，不易区分，且数量极少，对整个大磷虾相关参数的估算影响很小(Siegel 1987)。因此，本研究分布混合分析时，仅设立5个年龄组(不含当年生幼体)。本研究南极大磷虾各年龄组平均体长与其他学者的结果基本相近(鲁北伟等 1996; Siegel 1987; Siegel *et al.* 1994)，只是5⁺龄虾平均体长略高于朱国平等(2011)报道的数据。

南大西洋区南极大磷虾的数量变化、分布与其生殖季节密切相关。在产卵高峰期，往往大磷虾数量激增，

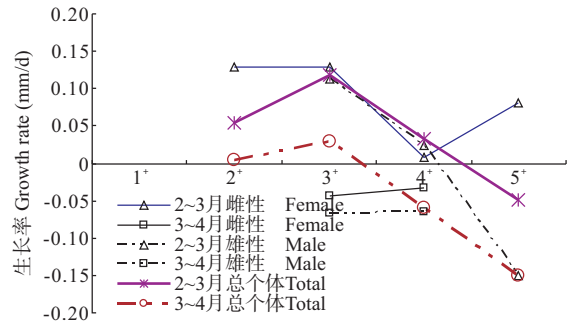


图4 2010/2011渔季48.2亚区2~3月、3~4月南极大磷虾的日生长率

Fig. 4 Daily growth rates of *E. superba* in Feb., March and April of fishing season 2010/2011 in 48.2 subarea

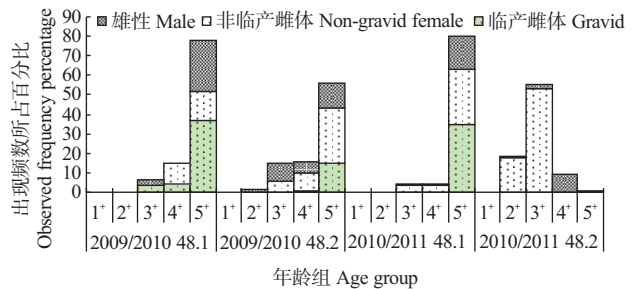


图5 南极大磷虾非临产雌体、临产雌体和雄性个体的年龄分布及出现频数所占比例

Fig. 5 Age-group composition and observed frequency percentage of non-gravid female, gravid female and male individuals of *E. superba*

分布北扩,向外海延伸(Siegel *et al.* 1990; Siegel 2005)。掌握大磷虾的生殖、产卵时间,对选择入渔时间、虾群的追踪、渔场的选择都有帮助。在南大西洋区,夏季12月~翌年3月为大磷虾的产卵高峰季节,但具有前后28 d以内的年间差异(Spiridonov 1995)。要准确判断产卵高峰期,最为直接的标准是观察出现雌性临产个体的多少。分析本研究南极大磷虾的雌性临产个体、性别比和年龄组成,两渔季48.1亚区邻近南设得兰岛水域作业的时间较早,多处于12月~翌年1月,此季恰雌性临产个体数量比例高,因此,可推断2009/2010和2010/2011连续两渔季,我国渔船在48.1亚区,捕捞作业时间正值南极大磷虾产卵高峰期。48.2亚区邻近南奥克尼群岛水域,渔船多为从48.1亚区退出后再进入48.2亚区作业,作业时间较晚,多在2月之后。但比较分析该亚区两渔季所获捕捞磷虾群体(结果2.3.2),虽然2009/2010渔季的2月雌性临产个体较该渔季48.1亚区少,但还是具有一定比例的,因此推测,2009/2010渔季2月应处于南极大磷虾产卵高峰后期或晚期。在2010/2011渔季,2月采集样中,雌性临产个体极少,据此推测此期应处于南极大磷虾产卵高峰期之后。综上所述2010/2011渔季42.2亚区水域的南极大磷虾产卵高峰期应早于2月,较2009/2010渔季略有提前。

此外,捕捞群体是否处于产卵高峰期,其雌雄比和种群年龄组成亦可作为重要的参考依据。这是因为,生殖季节初期,雄性较雌性性成熟早(75d),雌雄性比近于1~1.6(Wang *et al.* 1990;王荣等 1989),在雄性个体交尾完后,雌性体内卵子还要发育一段时间后才能受精,产卵高峰来临之前,雄性已开始大量死亡,死亡率可至100%,而雌性个体产卵后死亡率仅为3%(Virtue *et al.* 1996; Reid *et al.* 2002),因此,愈接近产卵高峰后期,雄性数量比例愈低,雌雄性比值愈高(王荣等 1993b)。本研究结果,2010/2011渔季,2~4月,雌雄比随月增加的趋势亦印证此观点。种群年龄组成方面,成熟雌性个体在完成产卵后42 d内,继续蜕皮,个体缩小,失去原有的性征,继而转为未成体或次成体状态,以准备其越冬策略(Denys *et al.* 1981,1982; Ikeda *et al.* 1982; Ettershank 1983; Siegel *et al.* 1994)。因此产卵期过后,未成熟个体数量比例激增(Denys *et al.* 1982)。此时,如果单从体长频数的分布,去确定磷虾群体中产卵后蜕皮、体型缩小的雌性个体的年龄,所得值往往偏低。因此,在生殖高峰晚期或之后1~2月内,利用体长频数分析,往往会显示高龄虾数量比例减少、相对低龄虾数量比例增加。本研究对比48.2亚区2009/2010和2010/2011两渔季的2月,前一渔季2月捕捞物中雌雄比值(1.96)较低,主要由>50mm的高龄虾如5⁺和4⁺龄虾构成,与该期大磷虾处于产卵高峰期或稍晚期的年龄结构特征相符;而2010/2011渔季的2月,雌雄比值(4.52)大幅增加,此时,捕捞群体由体长介于35~55mm的相对低龄的2⁺、3⁺和4⁺龄虾构成(主要为3⁺虾),从而表现为年龄相对低值化、个体相对小型化的产卵高峰期后的种群结构特征。

由本研究可知,大磷虾雌性临产个体包括3⁺、4⁺和5⁺龄虾,证实了南极大磷虾的雌性性成熟最早的年龄为3⁺,雌性个体成熟后可生殖3次(Siegel 1987)。本研究结果显示,在雌性临产个体中,5⁺龄是主体,占83%~99%,高于普里兹湾的产卵群体主体3⁺龄(王荣等 1993a,1995)。

生长率是衡量南极大磷虾生长状况的基本指标。基于所得的各年龄组平均体长的月间差异,可粗略估计南极大磷虾各年龄组月间日生长率。48.2亚区,2010/2011渔季2~3月间,除5⁺龄虾外,其他年龄组的大磷虾生长率为正值,年龄组间的平均体长差异(7~9mm)明显。而3~4月,大部分年龄组的磷虾生长率为负值,表现了明显的负增长,且年龄越大,负增长率绝对值越大,年龄组间的平均体长差异小,这亦反映了南极大磷虾在夏季具有较快的生长,而在秋末生长较慢,且开始呈现负增长的生长特点(孙松等 1995),此外也反映了大磷虾在产卵高峰期过后,个体缩小,生长缓慢,直至进入负生长状态以应对环境的生长策略。本研究估算的生长率值中,除3⁺龄虾在2~3月间的生长率值(0.117 mm/d)偏高外,其他年龄虾的正生长率介于0.028~0.057 mm/d,基本在Ikeda(1985)实验室测得最大生长率(0.070mm/d)范围以内;而负生长率值介于0.05~0.15 mm/d,高于Ikeda(1985)计算冬季22.7~49.6mm的磷虾的负生长率(0.033mm/d)。

致谢:感谢上海开创远洋渔业有限公司和辽宁远洋渔业有限公司所有赴南极作业的渔轮,上海开创远洋渔业有限公司南极海上数据信息协调员黄顺、花海峰和张寒晨,以及辽宁远洋渔业有限公司范树占对海上磷虾数据信息采集、传送工作的支持。感谢澳大利亚南极署 de la Mare 和 Andrew J. Constable 及 CCAMLR 秘书处 David Ramm 提供 CMIX 计算模块。

参 考 文 献

- 王 荣,仲学锋,孙 松,王 克,柳满然,李超伦,吉 鹏. 1993a. 普里兹湾邻近海域大磷虾的种群结构研究. 南极研究(中文版),5(4):1~11
- 王 荣,张云波,仲学锋,孙 松,柳满然. 1993b. 普里兹湾邻近海域大磷虾的生殖特点研究,南极研究,5(4):12~21
- 王 荣,陈时华. 1989. 大磷虾性比、怀卵量与某些生殖特点的分析. 南极研究,1(3):61~68
- 王 荣,鲁北伟,李超伦,王文琪,吉 鹏. 1995. 南极磷虾年龄组成的体长频数分布混合分析. 海洋与湖沼,26(6):598~605
- 刘会莲,孙 松,吉 鹏. 2001. 1999/2000年夏季南极普里兹湾地区南极磷虾的分布、丰度和生长状态研究. 极地研究,13(4):231~244
- 孙 松,王 荣. 1995. 南极磷虾的生长与复眼晶锥数目关系的研究. 南极研究,7(4):1~6
- 孙 松. 2002. 南极磷虾. 世界科技研究与发展. 24(4):57~60
- 朱国平,吴 强,冯春雷,许柳雄,陈新军,黄洪亮,陈雪忠,赵宪勇. 2011. 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. 生态学报,31(16):4 620~4 627
- 黄洪亮,陈雪忠. 2004. 南极磷虾资源开发利用现状及发展趋势. 中国水产科学,11(增刊):114~119
- 鲁北伟,王 荣. 1996. 分布混合分析的深入研究及其在南极磷虾种群结构中的应用. 海洋与湖沼,27(2):179~186
- Aitchison, J. 1955. On the distribution of a positive random variable having a discrete probability mass at the origin. J. Am. Stat. Assoc. 50(2): 901~908
- CCAMLR Scheme of International Scientific Observation Scientific Observers Manual. January 2006 (available from www.ccamlr.org)
- de la Mare, W. K. 1994. Estimating krill recruitment and its variability. CCAMLR Science, 1:55~69
- Denys, C. J., and McWhinnie, M. A. 1982. Fecundity and ovarian cycles of the Antarctic krill *Euphausia superba* (Crustacea Euphausiacea). Can. J. Zool. 60 :2 414~2 423
- Denys, C. J., Poleck, T. P., and O'Leary, M. M. 1981. Biological studies of krill, Austral summer 1979/80. Antarct. J. U. S. 15:146~147
- Ettershank, G. 1984. A new approach to the assessment of longevity in the Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana). J. Crust. Biol. 4 (1):295~305
- Ettershank, G. 1983. Age structure and cyclical annual size change in the Antarctic krill, *Euphausia superba* Dana. Polar Biol. 2(3):189~193
- Hosie, G. W., Ikeda, T., and Stolp, M. 1988. Distribution, abundance and population structure of the Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana) in the Prydz Bay region, Antarctica. Polar Biol. 8(3):213~224
- Hosie, G. W., and Stolp, M. 1989. Krill and zooplankton in the Western Prydz Bay region, September-November 1985. Proc. NIPR Symp. Polar Biol. 2:34~45
- Ikeda, T., and Dixon, P. 1982. Body shrinkage as a possible overwintering mechanism of the Antarctic krill, *Euphausia superba* Dana. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 62(2):143~151
- Ikeda, T. 1985. Life history of Antarctic krill *Euphausia superba*: a new look from an experimental approach. Bulletin of Marine Science, 37(2): 599~608
- Ikeda, T., and Thomas, P. G. 1987. Longevity of the Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana) based on a laboratory experiment. Proceedings of the NIPR Symposium on Polar Biology, 1:56~62
- Kanda, K., Takagi, K., and Seki, Y. 1982. Movement of the larger swarms of Antarctic krill *Euphausia superba* off Enderby Land during 1976 - 1977 season. Journal of the Tokyo University of Fisheries, 68(1~2): 25~42
- Kawaguchi, S., and Nicol, S. 2007. Learning about Antarctic krill from the fishery. Antarctic Science, 19 (2):219~230
- MacDonald, P. D. M., and Pitcher, T. J. 1979. Age-groups from size-frequency data: a versatile and efficient method for analysing distribution mixtures. J. Fish. Res. Board Can. 36(8):987~1 001
- Pennington, M. 1983. Efficient estimators of abundance for fish and plankton surveys. Biometrics, 39(1):281~286
- Reid, K., Murphy, E. J., Loeb, V., and Hewitt, R. P. 2002. Krill population dynamics in the Scotia Sea: variability in growth and mortality within a single population. J. Mar. Syst. 36(1~2):1~10
- Siegel, V., and Loeb, V. 1994. Length and age maturity of Antarctic krill. Antarctic Science, 6(4):479~482
- Siegel, V., Bergström, B., Strömberg, J. O., and Schalk, P. H. 1990. Distribution, size frequencies and maturity stages of krill, *Euphausia superba*, in relation to sea-ice in the northern Weddell Sea. Polar Biol. 10(7):549~557
- Siegel, V. 2005. Distribution and population dynamics of *Euphausia superba*: summary of recent findings. Polar Biol. 29(1):1~22
- Siegel, V. 1987. Age and growth of Antarctic Euphausiacea (Crustacea) under natural conditions. Marine Biology, 96(4):483~495
- Spiridonov, V. A. 1995. Spatial and temporal variability in reproductive timing of Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana). Polar Biol. 15(3):161~174
- Virtue, P., Nichols, P. D., Nicol, S., and Hosie, G. 1996. Reproductive trade-off in male Antarctic krill, *Euphausia superba*. Marine Biology, 126 (3):521~527
- Wang, R., and Chen, S. H. 1990. Population structure of Antarctic krill *Euphausia superba* Dana, in the waters of north and west of Antarctic Peninsula. China J. Oceanol. Limnol. 8(2):101~108