

# 海冰对南极磷虾(*Euphausia superba*) 资源丰度的影响\*

陈峰<sup>1</sup> 陈新军<sup>1, 2, 3</sup> 刘必林<sup>1, 2, 3</sup> 朱国平<sup>1, 2, 3</sup> 许柳雄<sup>1, 2, 3</sup>

(1. 上海海洋大学海洋科学学院 上海 201306; 2. 大洋生物资源可持续开发和利用上海市高校重点实验室 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 201306)

**摘要** 利用 1997—2008 年南极磷虾产量及各月南极海冰面积数据, 分析南极磷虾产量的时空分布, 以及海冰对南极磷虾资源丰度的影响。结果表明, 近年来南极磷虾年平均产量在 11 万 t 左右, 主要来自 48 渔区, 渔汛期为 3—7 月。但不同渔区(48.1 区、48.2 区和 48.3 区)在不同年份和季节, 其产量和 CPUE 均有明显差异。分析认为, 48 区 CPUE 变动与上一年冬春季(7—11 月)海冰面积变化关系极为密切。相关分析表明, 48 区夏季磷虾 CPUE 与上一年冬春季(7—11 月)平均海冰面积呈现显著的负相关( $r = -0.721, P < 0.05$ ), 特别是 9 月( $r = -0.756, P < 0.05$ )和 10 月( $r = -0.674, P < 0.05$ )。其海冰面积可解释 57.1% 的 48 区夏季 CPUE 变动。

**关键词** 南极磷虾, 南极的大西洋海区, 海冰面积, 回归模型

**中图分类号** S937.3

南极磷虾(*Euphausia superba*)是南大洋海洋生态系统中的重要部分(Hopkins, 1985; Nicol, 2006; Nicol *et al.*, 2008; 孙松等, 2009), 同时也是商业捕捞主要目标种。20 世纪 60 年代初, 前苏联率先赴南极试捕磷虾。随后, 日本、波兰、德国、智利等国家也相继开展了南极磷虾的开发利用研究, 到 70 年代初已形成小规模商业捕捞, 1982 年达到历史最高产量 52.8 万 t (陈雪忠等, 2009)。南大洋海洋环境较复杂, 环境因素对南极磷虾丰度及其分布起着非常重要的作用(Marschall, 1988; Brierley *et al.*, 2002; Nicol, 2006), 特别是海冰起的作用尤其重要(Mackintosh, 1972; Smetacek *et al.*, 1990)。研究表明, 48 海区南极磷虾资源夏季丰度与上一年度冬季海冰的面积成正比(Brierley *et al.*, 1999; Hewitt *et al.*, 2003; Atkinson *et al.*, 2004)。南大洋变化的海洋环境对南极磷虾生活史至关重要, 如海冰范围和浓度、水温和环流方式, 这些因素的综合效应使得监测和评估磷虾资源状况变得

更加困难(Smetacek *et al.*, 2005), 同时也直接对磷虾补充量及作业渔场的分布产生重要影响(Siegel *et al.*, 1995)。国内学者在环境因子对南极海域浮游植物组成以及极端微生物等的影响进行过研究(孙军等, 2003; 刘芳明等, 2010), 而在南极磷虾方面则未见相关的报道。因此, 本文主要研究冬春季海冰范围变动对南极磷虾资源丰度的影响, 以期为我国开发和利用南极磷虾资源提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据来源

(1) 南极磷虾历年生产数据来自南极海洋生物资源保护委员会(CCAMLR) (<http://www.ccamlr.org>), 数据字段包括作业年份和月份、产量(t)、捕捞努力量(h)、捕捞海区。时间跨度为 1997—2008 年, 分辨率为月。

(2) 南极海冰数据来自博尔德科罗拉多州大学国家冰雪数据中心([http://nsidc.org/data/seaice\\_index/](http://nsidc.org/data/seaice_index/)),

\* 国家高技术研究发展计划项目, 2007AA092201 号, 2007AA092202 号; 农业部南极磷虾探捕项目, D-8003-09-0158 号; 国家自然科学基金项目, NSFC40876090 号; 上海市捕捞学重点学科资助, S30702 号。陈峰, E-mail: fchen@stmail.shou.edu.cn

通讯作者: 陈新军, 教授, 博士生导师, E-mail: xjchen@shou.edu.cn

收稿日期: 2010-03-22, 收修改稿日期: 2010-05-20

数据字段包括年份、月份、海冰面积。时间跨度为1996—2008年,分辨率为月。

1.2 分析方法

(1) 统计 1997—2008 年南极磷虾产量、变动趋势以及区域间的变化。由于南极磷虾主要的作业方式是中层拖网,假设各个国家和地区捕捞效率几乎相同,因此以单位捕捞努力量渔获量(Catch per unit of fishing effort, CPUE)(t/h)作为衡量磷虾渔业资源丰度指数。

CPUE = C/F (1)

式中, C 表示一段时期内南极磷虾产量(t), F 表示一段时期内捕捞努力量(h)。

(2) 相关研究(Brierley et al, 2002; Smetacek et al, 1990)表明,海冰作为南极磷虾栖息地,为正在越冬的南极磷虾成体和幼体提供了很好的饵料环境。当春天来临时,冰下生长的浮游生物在浮冰融化后可在表层大量繁殖,这样浮冰范围越大,浮游生物群分布范围就越大;另一方面,当冬季和春季有合适的环境条件时,更多的浮游生物量栖息在表层海域。因此,本文主要提取和分析冬春季(7—11月)海冰数据,利用单因素方差分析和相关性分析 1996—2008 年海冰状况以及与夏季磷虾资源丰度相关性。

(3) 根据方差分析和相关性分析结果,利用线性回归建立当年夏季 CPUE 与前一年冬春季海冰面积关系模型。

CPUE = a\_0 + a\_1x + ε (2)

式中, CPUE(t/h)为夏季南极磷虾资源丰度指数, x 为冬春季(7—11月)平均海冰面积(单位: 10^6km^2), ε为随机误差。

2 结果

2.1 磷虾产量变动

纵观 1997—2008 年南极磷虾产量变动状况(图 1),磷虾作业渔场主要集中在 48 区,总产量稳定在(10—16)×10^4t 间,年平均产量维持在 11.2×10^4t (图 2)。但各小区产量分布差异明显。在 48.1 区(50—65°W, 50—65°S), 1997—2001 年产量较为稳定,维持在(4—7)×10^4t 间,占 48 区产量的 38%—64%。而 2002—2008 年产量波动较大,2008 年产量为最低,仅 2884t,占 48 区年总产量的 1.84%,2006 年产量为最高,达到 8.89×10^4t,占 48 区年产量的 83.4%(图 1)。总体平均产量为(3.7±2.7)×10^4t (图 2),渔汛旺期为 3—7 月(图 3)。

在 48.2 区(30—50°W, 55—65°S),其年际间产量

变动较大,平均产量为(3.8±3.4)×10^4t (图 2)。旺汛期为 3—7 月(图 3),旺汛期的累计产量占 48.2 区产量的 75.5%。最高产量为 2008 年的 9.3×10^4t,占 48 区总产量的 59.7%。最低产量出现在 1997 年的 98t,仅占 48 区产量的 0.1%(图 3)。

在 48.3 区(30—50°W, 50—55°S),其年平均产量变动相对较小(3.7±2.1)×10^4t (图 2)。2000—2005 年产量

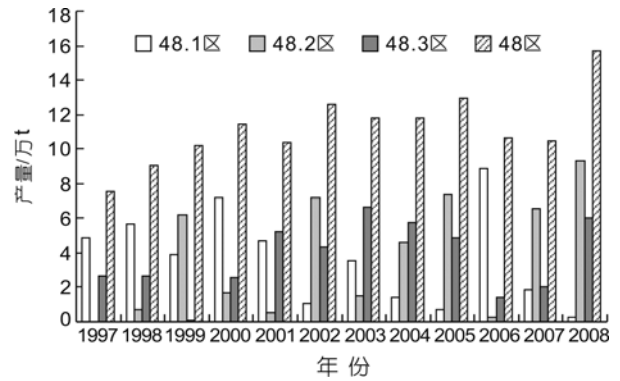


图 1 南极磷虾区域产量分布

Fig.1 Regional distribution of Antarctic krill's catch

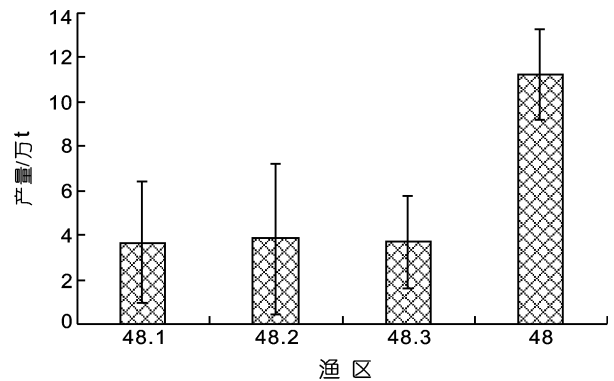


图 2 1997—2008 年各渔区磷虾年平均产量变动

Fig.2 The fluctuation in annual catches of Antarctic krill in subareas from 1997 to 2008

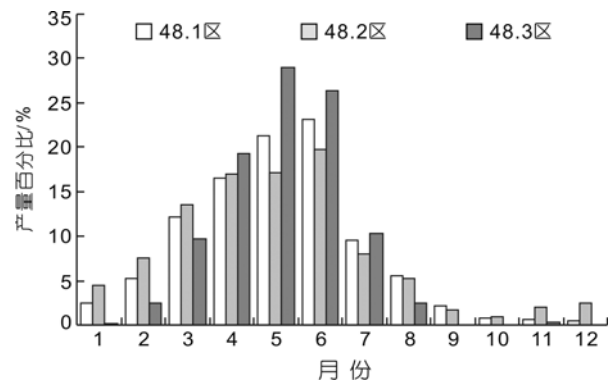


图 3 南极磷虾各区产量百分比月分布

Fig.3 Monthly percentage of Antarctic krill's catch in subareas

量较稳定, 维持在 $(4-6)\times 10^4$ t。旺汛期为 4—6 月, 其累计产量约占 48.1 区的 75% (图 3)。最高产量为  $6.7\times 10^4$ t (2003 年), 约占该年度 48 区总产量的 56.8%, 最低产量仅为 985t (1999 年), 只占该年度 48 区总产量的 1% (图 3)。

## 2.2 春冬季(7—11 月)海冰年间和季节变化

纵观 1996—2008 年 7—11 月海冰面积变动(图 4), 其海冰年内各月份间呈现显著变化(ANOVA,  $F_{5,72} = 389.22, P < 0.0001$ ), 平均海冰面积从初春 11 月份最小值 $(16.36\pm 0.31)\times 10^6\text{km}^2$  (mean  $\pm$  SD)增长至 9 月份最大值 $(18.91\pm 0.37)\times 10^6\text{km}^2$  (图 4)。但各月海冰面积变化很大, 特别是 9 月份海冰变动为最大, 7 月为最小 ( $s_7^2 = 0.26$ ), 各月海冰变动方差( $s_i^2$ )为  $s_9^2 > s_{10}^2 > s_{11}^2 > s_8^2 > s_7^2$ 。海冰面积最大的为 2006 年 9 月, 达到  $19.4\times 10^6\text{km}^2$ ; 最小面积为 2001 年 11 月, 仅为  $15.8\times 10^6\text{km}^2$ 。海冰年际间变化不显著(ANOVA,  $F_{12,65} = 0.12, P > 0.05$ )。统计表明, 海冰季节性变动大于年际间变动。

## 2.3 磷虾 CPUE 与春冬季(7—11 月)海冰关系及其回归模型的建立

相关分析结果显示, 夏季磷虾资源丰度与上一

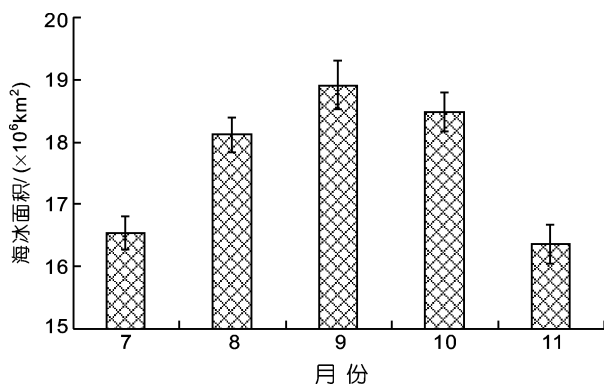


图 4 1996—2008 年 7—11 月各月南极海冰面积分布  
Fig.4 Monthly sea ice extent from July to November of 1996 to 2008 in the Antarctic Ocean

年度的 9 月海冰面积( $r = -0.756, P < 0.05$ )、10 月海冰面积( $r = -0.674, P < 0.05$ )和 7—11 月平均海冰面积显著相关( $r = -0.721, P < 0.05$ )。这表明, 冬春季(7—11 月)海冰范围对下一年度南极磷虾资源丰度有着显著的负面影响, 同时也表明冬春季 9、10 两月海冰面积大小对在磷虾资源丰度有着重要影响。为此, 以冬春季(7—11 月)平均海冰面积为自变量, 与来年资源丰度 CPUE 建立回归模型。

回归分析表明(表 1), 冬春季海冰范围与下一年度夏季磷虾 CPUE 呈显著负相关( $a_1 = -9.59, P < 0.05$ ), 该模型可解释夏季 57.1% 的磷虾 CPUE 变动( $R^2 = 0.571$ )。2006 年冬春季海冰面积较大, 翌年夏季磷虾 CPUE 最低; 1997—1998 年夏季 CPUE 处于中等水平, 其冬春季海冰范围较 2006 年有所减少; 2008 年夏季 CPUE 较高时, 其冬春季海冰大范围减少(图 5)。

## 3 讨论与分析

近年来南极磷虾渔业呈现稳定的趋势, 其平均年产量维持在  $11\times 10^4$ t 左右, 产量主要来自 48 区。在 48 区, 渔汛旺期集中在 3—7 月, 约占 48 区年产量的 71.3%。但不同年份、不同季节的各小区(48.1 区、48.2 区和 48.3 区)产量悬殊较大, 如 2008 年主要产量来自 48.2 区和 48.3 区, 而 48.1 区产量较少; 但 1997 年夏季 48.2 区仅 98t (图 1)。

根据 CCAMLR 统计认为, 近年来 48 区 CPUE 保持稳定增长, 平均 CPUE 达到 11.9t/h, 2006 年达到最高, 为 15.4t/h。但各小区(48.1 区、48.2 区和 48.3 区)CPUE 年间波动较大, 48.1 区平均 CPUE 为 $(10.6\pm 3.9)$ t/h, 48.2 区平均 CPUE 为 $(14.8\pm 4.1)$ t/h, 48.3 区平均 CPUE 为 $(11.4\pm 3.2)$ t/h。根据对海冰面积的统计, 发现 7—10 月平均海冰面积波动较大, 特别 2000 年和 2001 年比较低, 平均面积仅为  $17.1\times 10^6\text{km}^2$ , 其余年份海冰面积维持在 $(17.5-18.0)\times 10^6\text{km}^2$ 。

表 1 回归分析结果  
Tab.1 Regression analysis

参数	系数	P 值	95% 下限	95% 上限
$a_0$	177.705	0.006249	62.86408	292.546
$a_1$	-9.59428	0.008126	-16.0886	-3.1
方差分析 $F = 10.83$ , Significance $F = 0.008$				
回归统计	相关系数 R	0.755651		
	判定系数 $R^2$	0.571008		
	调整判定系数 $R^2$	0.528109		
	标准误差	2.364379		

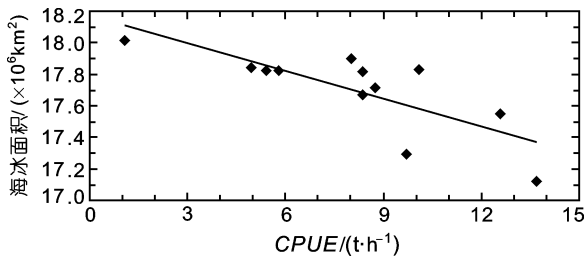


图5 冬、春季7—11月平均海冰面积与下一年度夏季南极磷虾 CPUE 的关系

Fig.5 The relationship of average sea ice extent from July to November and the CPUE of Antarctic krill in the next summer

本研究认为, 48区夏季磷虾 CPUE 与上一年冬春季(7—11月)平均海冰面积呈现显著的负相关, 特别是9月和10月。即当上年冬、春季海冰范围较大时, 翌年夏季磷虾 CPUE 较低, 反之亦然。回归模型可以解释 57.1% 的 48区夏季 CPUE 变动。作者认为, 冬、春季海冰范围不仅对磷虾成年体及未成熟个体的生长产生影响(Siegel, 1988, 2000; Brierley *et al.*, 2002), 同时也影响到南极磷虾的作业时间和范围, 进而影响到南极磷虾渔业 CPUE。

从大洋尺度范围来讲, 海冰范围作为影响磷虾资源丰度的主要因子, 预测模型仍存在一些不足。比如分布在大陆架斜坡海域的磷虾种群, 被认为是南极绕极流运输的产物(Nicol *et al.*, 2003; Hofmann *et al.*, 2004), 环流方式可能也对磷虾资源丰度产生影响, 因此影响南极磷虾资源丰度的环境因素是多方面的, 可能并不是简单的因果关系(Siegel, 1988)。为此, 今后的研究应在海冰的基础上, 综合其它各种环境因子, 进一步完善磷虾资源丰度的预测模型。

### 参 考 文 献

刘芳明, 缪锦来, 董春霞等, 2010. 南极低温降解菌的筛选、鉴定与低温降解适应性分析. 海洋与湖沼, 41(5): 692—697

孙 军, 刘东艳, 宁修仁等, 2003. 2001/2002年夏季南极普里兹湾及其邻近海域的浮游植物. 海洋与湖沼, 34(5): 519—532

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

陈雪忠, 徐兆礼, 黄洪亮, 2009. 南极磷虾资源利用现状与中国的开发策略分析. 中国水产科学, 16(3): 451—458

Atkinson A, Siegel V, Pakhomov E *et al.*, 2004. Long-term decline in krill stock and increase in salps within the Southern

Ocean. Nature, 432(7013): 100—103

Brierley A, Demer D, Watkins J *et al.*, 1999. 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. Marine Biology, 134(4): 675—681

Brierley A, Fernandes P, Brandon M *et al.*, 2002. Antarctic krill under sea ice: elevated abundance in a narrow band just south of ice edge. Science, 295(5561): 1890—1892

Hewitt R, Demer D, Emery J, 2003. An 8-year cycle in krill biomass density inferred from acoustic surveys conducted in the vicinity of the South Shetland Islands during the austral summers of 1991—1992 through 2001—2002. Aquatic Living Resources, 16: 205—213

Hofmann E, Murphy E, 2004. Advection, krill, and Antarctic marine ecosystems. Antarctic Science, 16(4): 487—499

Hopkins T, 1985. Food web of an Antarctic midwinter ecosystem. Marine Biology, 89(2): 197—212

Mackintosh N, 1972. Life cycle of Antarctic krill in relation to ice and water conditions. Discovery Rep, Cambridge: Cambridge University Press, 1—94

Marschall H, 1988. The overwintering strategy of Antarctic krill under the pack-ice of the Weddell Sea. Polar Biology, 9(2): 129—135

Nicol S, 2006. Krill, currents, and sea ice: *Euphausia superba* and its changing environment. BioScience, 56(2): 111—120

Nicol S, Foster J, 2003. Recent trends in the fishery for Antarctic krill. Aquatic Living Resources, 16: 42—45

Nicol S, Worby A, Leaper R, 2008. Changes in the Antarctic sea ice ecosystem: potential effects on krill and baleen whales. Marine and Freshwater Research, 59(5): 361—382

Siegel V, 1988. A concept of seasonal variation of krill (*Euphausia superba*) distribution and abundance west of the Antarctic Peninsula. Antarctic Ocean and Resources Variability, Berlin: Springer Verlag, 219—230

Siegel V, 2000. Krill (*Euphausiacea*) demography and variability in abundance and distribution. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 57(S3): 151—167

Siegel V, Loeb V, 1995. Recruitment of Antarctic krill *Euphausia superba* and possible causes for its variability. Marine Ecology Progress Series, 123(1): 45—56

Smetacek V, Nicol S, 2005. Polar ocean ecosystems in a changing world. Nature, 437(7057): 362—368

Smetacek V, Scharek R, Nothig E, 1990. Seasonal and regional variation in the pelagic and its relationship to the life history cycle of krill. In: Kerry K R, Hempel G ed. Antarctic Ecosystems, Ecological Change and Conservation, Berlin: Springer Verlag, 103—114

## EFFECT OF SEA ICE ON THE ABUNDANCE INDEX OF ANTARCTIC KRILL *EUPHAUSUA SUPERBA*

CHEN Feng<sup>1</sup>, CHEN Xin-Jun<sup>1, 2, 3</sup>, LIU Bi-Lin<sup>1, 2, 3</sup>, ZHU Guo-Ping<sup>1, 2, 3</sup>, XU Liu-Xiong<sup>1, 2, 3</sup>

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai, 201306; 2. The Key Laboratory of Shanghai Education Commission for Oceanic Fisheries Resources Exploitation, Shanghai, 201306; 3. The Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources (Shanghai Ocean University), Ministry of Education, Shanghai, 201306)

**Abstract** Antarctic krill (*Euphausua superba*) is not only an important fishery target in the southern ocean, but also an important species of the southern ocean ecology. So, studying the effects of oceanic environment on the abundance of krill is vital. The study was to analyze the spatio-temporal distribution of krill catch and influence of sea ice on abundance of Antarctic krill using the global krill catch data from 1997 to 2008 and the corresponding monthly sea-ice extent in the Antarctic Ocean. The results suggest that the annual krill catch remained about  $1.1 \times 10^5$  t in recent years, which dominantly came from Area 48 from March to July. However, there were significantly differences in catch and CPUE of Antarctic krill in different subareas (48.1, 48.2 and 48.3), different years and seasons. Moreover, the analysis concluded that CPUE variation of krill of Area 48 was strong associated with variations in sea ice extents of the previous winter-spring (July—Nov.). Correlation analysis indicated that CPUE of spring in Area 48 was negatively related with the average sea ice extent of the previous winter-spring (July—Nov.) ( $r = -0.721$ ,  $P < 0.05$ ), especially September ( $r = -0.756$ ,  $P < 0.05$ ) and October ( $r = -0.674$ ,  $P < 0.05$ ). Sea ice extent of the previous winter-spring could account for 57.1% of variability of CPUE for spring in Area 48.

**Key words** Antarctic krill *Euphausua superba*, Atlantic sector of the Antarctic, Sea ice extent, Regression model