

## 光照条件下南极磷虾的行为观察

徐鹏翔<sup>1</sup>, 李莹春<sup>1</sup>, 朱国平<sup>1,2,3</sup>, 夏辉<sup>1</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. 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;

3. 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:** 2010—2011年随中国大型拖网加工船“安兴海”轮在南极南奥克尼群岛附近进行南极磷虾拖网作业,将作业过程中采集到的鲜活南极磷虾立刻转移至实验水箱,进行暂养并观察其行为。实验样本为45尾,体长为37~50 mm,整个实验持续时间为13 d,水面光照为220 lx,水温恒定在0℃。通过观察发现:(1) 南极磷虾进入实验水箱后体色迅速变为透明;(2) 在静水环境中,南极磷虾多数时间位置相对固定,集中于角落,沿箱壁进行角落间游动,较少穿过水箱中央,穿过水箱中央时有加速游动的现象;动水环境中能够顶流游动并形成集群,0.5 m/s时顶流游动,流速超过1 m/s时,集群消失;水流对南极磷虾的集群有极显著影响;(3) 南极磷虾进入水箱后第6天开始蜕壳,第6~9日均发现虾壳,实验对象平均体长增长5~8 mm。

**关键词:** 南极磷虾; 海上暂养; 光照; 行为

**中图分类号:** S 966.1

**文献标志码:** A

南极磷虾通常指的是南极大磷虾(*Euphausia superba*),属甲壳类浮游动物<sup>[1-6]</sup>,其体长一般为56~65 mm,是目前地球上最大的单种生物资源之一<sup>[7]</sup>。南极磷虾生活在冰山及大陆架附近<sup>[8-9]</sup>,鉴于其巨大的生物量和潜在的渔业资源以及在南极生态系统中的特殊地位而受到各国的日益关注<sup>[10-11]</sup>,可用于药物、虾类鱼类产品和水产养殖的原料或饲料<sup>[12-13]</sup>。对南大洋的磷虾资源的认识可追溯到早期的捕鲸年代,当时的捕鲸者即根据这种小红虾的出现追踪鲸鱼<sup>[14]</sup>。而把它当作一种渔业资源和捕捞对象进行商业性开发则始于上世纪60年代,前苏联率先试捕,随后日本、波兰、德国和智利等国也相继开展了南极磷虾开发、利用的研究。而到了70年代初已形成小规模商业捕捞,年产量逐年上升,至1982年达到了 $52.8 \times 10^4$  t历史最高产量<sup>[6]</sup>。从1977年开始,我国台湾省多次派船前往南大洋试捕南极磷虾,并对产品的开发、利用进行了相关的研究<sup>[14]</sup>。2009年,我国首次进行南极磷虾调查和试生产,在17 d实

际作业中捕获了南极磷虾约2 000 t<sup>[15]</sup>。

2004年,Zhou等<sup>[16]</sup>使用153 kHz船载窄带声波多普勒水流断面仪和多功能开闭网及环境感应系统对南极磷虾的集群和垂直移动进行了研究,发现南极磷虾高度集群于海沟之内,且昼夜的垂直与水平分布比大致相同,但昼夜垂直分布的尺度有所不同。Kasatkina等<sup>[17]</sup>于2002年对国际南极海洋生物资源养护委员会(CCAMLR)48.4小区南极磷虾集群情况进行调查后发现,约64%的磷虾聚集在地形崎岖、有涡流的80 m水层。Kawaguchi等<sup>[18]</sup>在实验水槽中对南极磷虾进行了研究,他们发现食物和光照强度对南极磷虾的游泳模式和集群行为有影响。白天自然光刺激下能够形成稳健而紧密的集群,而夜间则未出现类似情况。Strand等<sup>[19]</sup>指出在0.4 μE光照强度下,南极磷虾在实验水槽中集群的速度最快。光照强度小幅变化或者渐变对集群没有影响,且当光照强度不高时,集群能够迅速恢复。

尽管我国已经执行27次南极科考,但至今尚

收稿日期:2011-05-11 修回日期:2011-07-11

资助项目:南极海洋生物资源开发与利用项目(D-8003-09-0153);上海市重点学科建设项目(S30702)

通讯作者:许柳雄,E-mail:lxxu@shou.edu.cn

未见有关南极磷虾行为习性方面的文献报导。由此,依托农业部南极海洋生物资源开发利用项目,大型加工拖网渔船“安兴海”轮于 2011 年南极海域执行任务期间,在船上利用简易水箱对捕获的南极磷虾所展示的行为进行观察,并做初步分析,供今后研究和生产参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验对象

鲜活南极磷虾 45 尾,体长范围为 37 ~ 50 mm。样品采自中国大型拖网渔船“安兴海”轮,通过乌克兰制四片式单船中层磷虾拖网采集样品。

### 1.2 实验设备

南极磷虾暂养及行为实验在透明塑料水箱中进行,水箱规格为 60 cm × 30 cm × 30 cm。实验水箱设置在“安兴海”轮加工间内,以保持实验水温。使用 TES-1322A 电子照度计对室内照度进行测量。使用温度计测量水温,日平均气温情况根据航海日志记录进行计算后得出(图 1)。实验过程中使用 HDR-CX520E 型索尼摄像机和 EOS-500D 型佳能数码相机对南极磷虾行为进行记录。

### 1.3 实验方法

实验对象采集于 2011 年 2 月 10 日,取自每网中最先从网囊中转移出的南极磷虾,再从中挑选出腹足运动较多,身体也能进行伸缩运动的对象转移到水箱中暂养。所取样品转移至水箱中暂养 24 h,随后进行行为学实验。每日使用塑料软管将磷虾排泄物虹吸排掉,再换水一次,换水量为

水箱内水量的 1/2。观察光照条件下南极磷虾的行为。水箱中采用静水环境,观察南极磷虾在静水环境下的个体及集群行为;在每天换水过程中,观察南极磷虾在有流情况下的行为。鉴于目前我国南极磷虾捕捞作业均在白天进行,为了观察光照条件的改变是否对南极磷虾的行为产生影响,实验在光照条件下进行,水面光照为 220 lx,水温为 0 ℃。每日 11:00、16:00 和 21:00 进行 3 次观察,当磷虾聚集到箱体角落,位置保持稳定时,记录每个角落磷虾的聚集数量;有水流情况下,记录磷虾集群后的尾数,使用 SPSS 软件对数据进行分析。

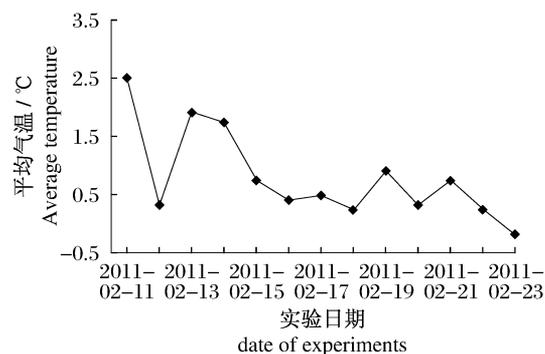


图 1 日平均气温

Fig. 1 Average daily temperature during experiments

## 2 结果

实验采用鲜活南极磷虾 45 尾,暂养及行为学实验共持续了 13 d。实验过程中共有 11 尾样本死亡,存活 34 尾,存活率为 75.6% (表 1)。

表 1 南极磷虾死亡情况

Tab. 1 The number of dead Antarctic krill during the experiments period

日期 date	2011-02-11	2011-02-12	2011-02-13	2011-02-14	2011-02-15	2011-02-16	2011-02-17	2011-02-18	2011-02-19	2011-02-20	2011-02-21	2011-02-22	2011-02-23
死亡尾数/尾 the number of dead	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	4	2

### 2.1 体色变化

挑选出的鲜活实验对象按红色素的多少分为两种,其中“红虾”较少,“红虾”进入水箱,在有光照条件下,1 h 后,红色素褪去,红色素存在面积小于体表面积的 50%;而称之为“白虾”的较透明磷虾,进入水箱后体色会变得更加透明,红色素很少或完全消失。实验过程中,磷虾始终保持体色透

明或少量红色素存在状态。南极磷虾的体色变化情况如图 2 所示。

### 2.2 游泳行为

静水环境中的游泳行为 通过观察发现,刚进入实验水箱的南极磷虾多集中于实验水箱底部,侧卧,只见腹足运动。约 10 min 后,可在实验水箱底部游动。

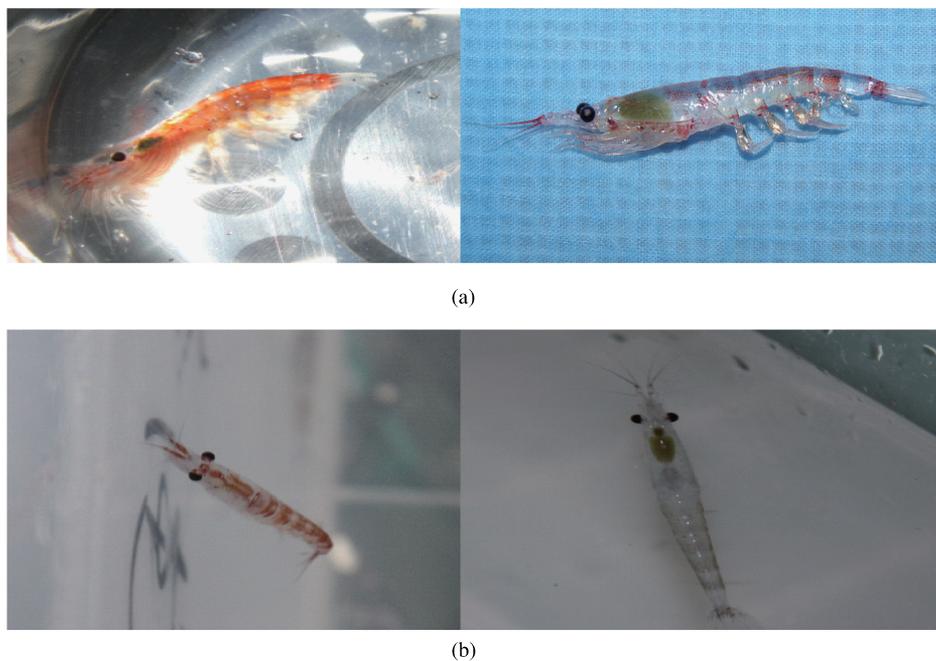


图2 南极磷虾体色变化

(a) 观察前南极磷虾的体色; (b) 进入实验水箱后南极磷虾的体色变浅。

Fig. 2 The change of body color for Antarctic krill

(a) body color of Antarctic krill before observations; (b) brightening body color after being put into test tank.

前2天实验对象主要在水箱底部活动,南极磷虾在实验水箱的4个角落形成小的集群。实验对象存在角落间的水平移动现象,每次1~2尾会从一个角落沿着水箱壁移动至临近的角落,移动完成后保持在角落内相对固定的位置上。当实验对象远离箱壁5cm左右时,趋向箱壁游动,较少经过水箱中间的区域。有2~4尾的南极磷虾在水表面活动,活动规律与水箱底部活动的实验对象类似。

第3天至实验结束,进行垂直移动的实验对象数量增多,每次观察有约10尾游动至水表面活动。活动区域仍然集中于实验水箱的4个角落。水箱中的南极磷虾上浮游动,头部朝向水箱壁,触须保持与水箱的接触。较为活跃的对象游速较快,有翻转游动现象。表层及底层或垂直移动后的实验对象均处于相对静止状态,保持在角落固定位置的时间较长。南极磷虾个体在水面进行大范围活动时,则同前2天行为相同,主要沿着水箱壁四周进行活动,较少进入水箱中部。南极磷虾静水环境中游泳状态及集群情况如图3和图4所示。

动水环境中的游泳行为 每日换水过程中,观察南极磷虾在有流情况下的行为。当流速为0.5 m/s时,南极磷虾游动开始增多,位置开始

发生变化。有水流时,处于顶流状态下游动的个体,头部保持原有方向不变;而处于顺流游动状态下的个体,会调整游动姿势至顶流状态,并保持顶流游动,形成小群。当流速增加,实验对象腹足运动加快,仍能保持群体运动。流速继续增加至1 m/s时,1~2尾个体立即不能顶流并被冲向下游时,虾群也不再做顶流运动,群体很快消失,分散到流速较低的区域,头部朝向也不统一。这种游泳状态从实验第2天开始持续出现。



图3 南极磷虾在静水环境中的游泳状态

Fig. 3 Swimming pattern of Antarctic krill in the hydrostatic condition



图4 南极磷虾在静水环境中的集群情况

Fig.4 Schooling pattern of Antarctic krill in the hydrostatic condition

**集群** 静水环境中,南极磷虾主要聚集于水箱的四个角落,形成4个小集群,交替着有3~4尾南极磷虾进行较大范围的游动。而在有流条件下,能够形成一个集群,不聚集的南极磷虾一般为10~15尾,有水流条件下,南极磷虾的聚集情况明显好于无流条件,使用SPSS软件对两种环境下南极磷虾的聚集尾数进行统计。统计结果表明有流条件下聚集形成群体的南极磷虾数量与静水条件下集群数量存在极显著性差异( $P < 0.01$ )。动水与静水条件下的聚集情况如图6所示。

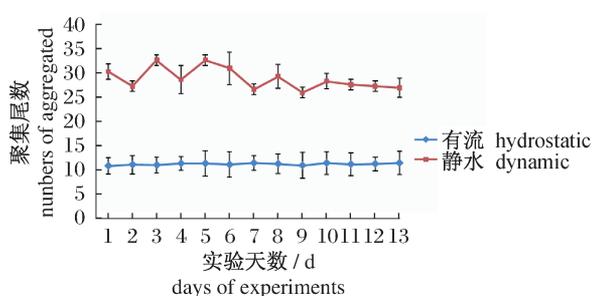


图5 静水与有流情况下南极磷虾的集群

Fig.5 The schooling pattern of Antarctic krill in the hydrostatic and dynamic condition

### 2.3 生长

通过观察发现,在实验第6~9天,每日在实验水箱底部发现3~5块数目不等的完整虾壳,褪掉的虾壳呈透明状(图6)。在这段南极磷虾蜕壳的时间内,每天只在11:00观察时有虾壳出现,其余观察时间均未观察到水箱中有虾壳存在。南极磷虾的平均体长增长5~8mm。



图6 南极磷虾蜕去的虾壳

Fig.6 The ecdysis of Antarctic krill

### 3 讨论

由于南极磷虾独特的遗传特点,阳光的照射不易于南极磷虾的生长<sup>[20]</sup>。南极磷虾通过体色的变化响应阳光照射,这种体色的变化分为短期的生理学颜色变化和长期的形态学颜色变化。光照条件下短期的生理学体色会沿着大量密集的微管迅速变化,而在黑暗情况下,颜色会聚集,从而导致身体颜色变浅。Auerswald等<sup>[20]</sup>认为阳光中UVB对南极磷虾的伤害大于UVA和PAR(光合有效辐射)。在实验过程中,南极磷虾的体色是由深变浅的。这可能是由于实验水箱设置的位置不会受到阳光的直接照射,而人工光源产生可见光,在保持了光照强度的情况下,阳光中的紫外线照射量的减少可能是实验对象的体色变浅原因。

含氧的叶黄素,如虾青素、黄体素和玉米黄素等是甲壳类体内起主要呈色作用的色素,虾蟹等甲壳类动物为虾青素。所有甲壳类均不具备合成叶黄素的能力,故必需从食物中摄取叶黄素<sup>[21]</sup>。磷虾是以浮游植物为主要食物的滤食性生物,藻类的细胞内含物能将磷虾的消化系统内空腔染绿。摄食活跃的磷虾个体,其肝胰脏通常表现为亮绿色。仲学锋<sup>[22]</sup>对南极磷虾的摄食率和排空率进行研究后发现,食物通过肠道的时间为2.34h。而在暂养过程中,没有对实验对象进行投喂,磷虾个体干胰脏颜色也多为绿色变为浅绿色甚至无色,磷虾的摄食量明显下降或根本不摄食。南极磷虾体色的变化很可能与摄食强度有关。

南极磷虾在静水中聚集在角落,而在有流条件下南极磷虾可形成一个较大群体,而且具有极显著性。这说明了一定的水流环境可以促进南极磷虾集群。这可能与其自身游泳能力较弱有一定

关系。在静水环境中南极磷虾不需要大范围游动就可以保持其位置的稳定,当有一定水流存在时,需要对抗水流冲击,形成集群有利于其进行大范围的活动,其可以顶流游动并能形成群体,证明南极磷虾也存在趋流性。

南极磷虾在无流情况下聚集于箱体的角落,实验过程中由于箱体透明,有光照,并没有产生阴影,这可能与其生活习性有一定关系。很多鱼虾均有趋边习性,可能因为在有边界时,可以为其提供躲避敌害、摄食或产卵的场所。可能与其游泳能力较弱有关,虽然南极磷虾在有流情况下可以顶流游动,但当流速增加到 10 BL/s 以上时,虾群立即消失。

通过观察发现,本次实验中南极磷虾蜕壳发生在 21:00 至次日 11:00 之间,其他观测时间没有发现水箱用有虾壳存在。Brown 等<sup>[23]</sup>对南极磷虾在 -1、1 和 3 °C 的蜕皮时间等参数进行研究发现,1 °C 是最佳的生长温度,而 -1 和 1 °C 相对于 0 °C 的生长而言,体长增加量没有明显不同。在其实验中同样指出,实验水槽对南极磷虾的蜕壳时间有一定的影响。在 21:00 至次日 11:00 间,舱内需要保温关闭舷窗以及实验水箱封闭时间较长,可能导致水箱内温度稍有上升,接近 1 °C,从而导致磷虾生长的加快。而在白天由于换水及开窗,使水箱内水温变化,接近 0 °C,从而影响了南极磷虾的蜕壳。

感谢辽宁省大连海洋渔业集团公司经理何易哉、领队何学刚、“安兴海”轮船长邢延胜等领导 & 全体船员的大力配合,同时也对中国水产科学研究院东海水产研究所李灵智、中国水产科学研究院黄海水产研究所王新良及大连工业大学秦磊、袁起新和大连海洋大学硕士研究生殷雷明等同志在海上实验及论文修改过程中给予的帮助表示感谢。

#### 参考文献:

- [1] Siegel V. Distribution and population dynamics of *Euphausia superba*; Summary of recent findings[J]. Polar Biology, 2005, 29(1): 1-22.
- [2] 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.
- [3] 孙松. 南极磷虾[J]. 世界科技研究与发展, 2002, 24(4): 57-60.
- [4] Stephen N, Yoshinari E. Krill fisheries, development, management and ecosystem implications[J]. Aquatic Living Resource, 1999, 12(2): 105-120.
- [5] 黄洪亮, 陈雪忠, 冯春雷. 南极磷虾资源开发现状分析[J]. 渔业现代化, 2007, 1: 48-51.
- [6] 孙松, 刘永芹. 南极磷虾与南大洋生态系统[J]. 自然杂志, 2009, 31(2): 88-90.
- [7] 谢营梁. 南极磷虾(*Euphausia superba*) 开发利用的现状和趋势[J]. 现代渔业信息, 2004, 19(4): 18-20.
- [8] Atkinson I A, Siegel V, Pakhomov E A, et al. Oceanic circumpolar habitats of Antarctic krill [J]. Marine Ecology Progress Series, 2008, 362: 1-23.
- [9] Nicol S. Krill currents and sea ice: *Euphausia superba* and its changing environment [J]. BioScience, 2006, 56(2): 111-120.
- [10] 唐建业, 石桂华. 南极磷虾渔业管理及其对中国的影响[J]. 资源科学, 2010, 32(1): 11-18.
- [11] 孙雷, 周德庆, 盛晓风. 南极磷虾营养评价与安全性研究[J]. 海洋水产研究, 2008, 29(2): 57-64.
- [12] Everson I. Krill: biology, ecology and fisheries [M]. Oxford: Blackwell Science, 2000.
- [13] 孙松, 严小军. 南极大磷虾的生物活性物质及其用途研究进展 [J]. 极地研究, 2001, 13(3): 213-216.
- [14] 王荣, 孙松. 南极磷虾渔业现状与展望 [J]. 海洋科学, 1995, 19(2): 28-32.
- [15] 朱国平, 冯春雷, 吴强, 等. 南极磷虾调查 CPUE 指数变动的影响因素初步研究 [J]. 海洋渔业, 2010, 32(4): 368-373.
- [16] Zhou M, Dorland R D. Aggregation and vertical migration behavior of *Euphausia superba* [J]. Deep-Sea Research II, 2004, 51: 2119-2137.
- [17] Kasatkina S M, Malysheko A P, Shnar V N, et al. Characteristics of krill aggregations in the South Sandwich Islands subarea in January-February 2000 [J]. CCAMLR Science, 2002, 9: 145-164.
- [18] Kawaguchi S, King R, Meijers R, et al. An experimental aquarium for observing the schooling behavior of Antarctic krill (*Euphausia superba*) [J]. Deep-Sea Research II, 2010, 57: 683-692.
- [19] Strand S W, Hamner W M. Schooling behavior of Antarctic krill (*Euphausia superba*) in laboratory aquaria: reactions to chemical and visual stimuli [J]. Marine Biology, 1990, 106: 355-359.

- [20] Auerswald L, Freier U, Lopata A, *et al.* Physiological and morphological colour change in Antarctic krill, *Euphausia superba*; a field study in the Lazarev Sea [J]. *The Journal of Experimental Biology*, 2008, 211:3850–3858.
- [21] 冷向军, 李小勤, 韦友传, 等. 饲料中添加叶黄素对胡子鲶体色的影响[J]. *水产学报*, 2003, 27(1): 38–42.
- [22] 仲学锋. 肠道荧光法测定大磷虾 (*Euphausia superba* Dana) 的肠道排空率和摄食率[J]. *海洋科学*, 1995(3): 31–34.
- [23] Brown M, Kawaguchi S, Candy S, *et al.* Temperature effects on the growth and maturation of Antarctic krill (*Euphausia superba*) [J]. *Deep-Sea Research II*, 2010, 57:672–682.

## Observation on behaviours of Antarctic krill (*Euphausia superba*) in lighting condition

XU Peng-xiang<sup>1</sup>, LI Ying-chun<sup>1</sup>, ZHU Guo-ping<sup>1,2,3</sup>, XIA Hui<sup>1</sup>, XU Liu-xiong<sup>1,2,3\*</sup>

(1. *College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;*

2. *Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Shanghai Ocean University, Ministry of Education, Shanghai 201306, China;*

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

**Abstract:** In 2010—2011, active Antarctic krills (*Euphausia superba*) which survived and were collected immediately in the capture by a pelagic trawl with the factory trawler “*Anxinghai*” near South Orkney Island and were transferred to a test tank and their behaviors were observed. 45 Antarctic krills were observed during the experiment, and the body length were 37–55 mm, the light intensity of water surface in test tank was kept at 220 lx, and the temperature of the water in test tank was constant at 0 °C. The whole experiment lasted for 13 days. There are three results obtained from the experiment: (1) Body color of Antarctic krill changes rapidly after being put into test tank under lighting; (2) In static condition, Antarctic krill almost keeps in the same position in corners. When they moved, they could swim from one corner to a neighbor corner along the wall of the tank, and a few times to swim with a higher speed across the center of the test tank; In hydrodynamic conditions, they can swim against the current and aggregate to a schooling at a velocity about 0.5 m/s, schooling vanished while current is greater than 1 m/s; (3) Antarctic krill molted during the experiments, and the average body length increased about 5–8 mm.

**Key words:** *Euphausia superba*; temporarily cultivating in the sea; lighting condition; behavior

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