

## 南极磷虾渔业CPUE及其丰度估算适用性

朱国平<sup>1,2,3\*</sup>, 王 芮<sup>1</sup>

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;

2. 上海海洋大学国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 210306;

3. 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,  
极地海洋生态系统研究室, 上海 201306)

**摘要:** 作为一种衡量渔业资源丰度变化的指标, CPUE常用于多种渔业资源评估。南极磷虾作为一种集群性的生物资源, 其资源存在着较为明显的时空变化特征, 加之该物种本身所具有的特殊性以及渔业特点, 这也使得采用CPUE作为衡量该资源丰度指标的有效性存在着较大的不确定性。为此, 本实验详细介绍了4种南极磷虾渔业CPUE的常用估算方法, 并总结了这些方法所具有的特点、优势以及劣势, 在此基础上从时空尺度和环境影响因素等方面对南极磷虾渔业CPUE估算的影响进行了分析。最后, 实验就CPUE作为评估南极磷虾资源丰度的适用性及可行性进行了探讨。近年来, 南极磷虾渔业日益受到全球的关注, 但如何将渔业调查数据纳入到南极磷虾资源评估当中, 一直未得到统一的结论, 从而导致基于生态系统的南极磷虾渔业管理进展缓慢, 本研究结果可为更好地开展南极磷虾资源评估和丰度估算提供思路。

**关键词:** 南极磷虾; CPUE; 资源丰度

**中图分类号:** S 934

**文献标志码:** A

在全球85种磷虾中, 南极磷虾(以下简称磷虾) (*Euphausia superba*)因其巨大的生物量和潜在的渔业价值以及在南极生态系统中的特殊生态地位而日益受到关注<sup>[1-2]</sup>。与之同时, 有关该资源生物量及资源状况的评估研究也日益增多。但迄今为止, 关于其生物量估算的方法和手段也存在着较大的差异<sup>[3]</sup>。众所周知, 对一个区域性渔业资源进行评估时, 需要找到一种方便实现且可较好地反映其真实情况的方法。南极磷虾因特殊的生理特性及地理特征, 致使该资源的生物量评估工作较难开展, 究其原因: 1) 南极磷虾隶属于甲壳纲(Crustacea), 具有甲壳动物的明显特征, 即蜕壳现象, 因此暂无法利用鱼类等所具有的硬质部位开展年龄鉴定研究, 虽目前已有利用复眼长度估算南极磷虾的生长状况, 但尚无十分准确的鉴龄结果; 2) 除了蜕壳现象,

南极磷虾还存在负生长的现象; 3) 南极磷虾生活于环境相对恶劣的南极南大洋海域, 夏季时间明显较其他区域短, 季节性明显但温度趋于稳定; 4) 南极磷虾资源较为集中的斯科舍海域地理环境与物理条件极为复杂, 导致该水域南极磷虾资源丰度存在着极为明显的年际及季节性变化。因无准确的鉴龄结果, 无法通过年龄结构评估模型开展生物量评估工作, 而蜕壳及负生长又使得基于体长的资源评估研究存在较大的不确定性。因此, 针对磷虾这样一种特殊的渔业资源, 目前许多学者均尝试通过计算某一区域的磷虾渔业单位捕捞努力量渔获量(catch per unit effort, CPUE)估算该区域磷虾资源的丰度(生物量), 因而在磷虾渔业初期较长一段时间内, CPUE也逐渐成为估算磷虾资源丰度及资源量变化最为重要的指数之一<sup>[4]</sup>。但在研究过程中, 因

收稿日期: 2015-06-14 修回日期: 2015-12-12

资助项目: 教育部留学回国人员科研启动基金项目; 公益性行业(农业)科研专项(201203018); 国家科技支撑计划(2013BAD13B03)

通信作者: 朱国平, E-mail: gpzhu@shou.edu.cn

磷虾特殊的生态特性, 如集群类型、季节性分布、种群输送及生活史等差异, 不同研究对磷虾渔业CPUE的估算方法有着明显的不同, 这也导致所评估的资源量存在着较大差异。另外, 南大洋特殊的环境条件也增加了磷虾渔业CPUE估算结果的不确定性。鉴于此, 本实验对近些年来磷虾渔业CPUE的估算方法进行了分析, 归纳了影响CPUE波动的相关因素, 并探讨了CPUE作为磷虾资源丰度指标的可行性, 以期为深入开展磷虾资源生物量的估算研究提供科学参考。

## 1 磷虾渔业CPUE的估算方法及存在的问题

用于磷虾渔业CPUE估算的方法有10种以上<sup>[5]</sup>, 但最常用的估算方法见表1, 其中网次法是目前应用最为普遍的方法。

### 1.1 网次法

大多数研究均利用网次法估算某一区域的磷虾渔业CPUE, 我国目前的磷虾探捕渔业中亦是利用网次法估算某一区域的南极磷虾资源状况。其中拖网时间可以取每日的拖网时间、每10日(旬)的拖网时间或每个月的拖网时间等。这两种方法的最大优点是所需的数据采集简便, 数据处理也简单。当然, 简便的过程也会存在许多不可避免的问题, 利用这两种方法估算而得的磷虾渔业CPUE均未较好地考虑到磷虾自身的生物学特性和一些人为因素。

这两种估算CPUE的方法一般多被商业性渔船所用, 而商业性渔船只会 在高产季节前往高产区域进行捕捞作业。磷虾渔业作业通常集中于较为短暂的南极夏季月份, 绝大多数情况为

每年的1-3月, 这个时期是磷虾渔业的高产季节, 而估算某一区域磷虾渔业的CPUE时, 一般仅采取这3个月的数据, 也就是估算而得的CPUE仅针对于高产时期, 且时间和空间上均存在较大的限制, 这会使得CPUE估算结果出现偏差<sup>[6]</sup>。空间上的限制使得渔船不能在随机的区域内进行捕捞, 从而导致CPUE估算所采取的样本并不服从随机分布, 受人为干扰较大, 并进一步导致磷虾渔业CPUE估算的过程出现偏差<sup>[7]</sup>。上述两种方法在记录拖网网次和拖网时间上也存在较大的问题, 即需记录拖网网次总数量和拖网作业总时间<sup>[5]</sup>。记录网次时, 尤其是在高产季节, 若渔获量理想的话, 网次的数量会有所减少; 记录拖网时间时, 会出现以下3种情况: ①各网次之间几乎没有时间间隔; ②各网次之间有较长的时间间隔(每天只有几个网次); ③拖网作业时浪费时间, 比如突遇恶劣天气、转移到新渔场、停留处理船只出现的问题等。这些记录的不准确均会使得估算出的CPUE或高或低。除了捕捞时间上的集中性和网次数量、时间间隔的记录上存在的偏差会导致CPUE的估算受到影响以外, 自然因素、磷虾自身的生物学特性等在内的其他因素也会使估算的CPUE出现较为明显, 且无法避免的误差。

### 1.2 面积法

尽管大多数渔船均利用网次法估算磷虾的CPUE, 但考虑到网次法又存在着一些不可避免的影响因素, 所以一些研究试图找到更准确的方法对磷虾渔业的CPUE进行估算。1996年, Kawaguchi等<sup>[6]</sup>曾采用面积法对象岛附近、利文斯顿岛北部和乔治王岛水域的磷虾渔业CPUE进行了估算, 结果显示, 各区域的磷虾渔业CPUE变

表1 磷虾渔业CPUE的常见估算方法

Tab. 1 The common methods for estimating CPUE of Antarctic krill fishery

方法 methods	缩写 abbreviation	估算方法 definition
网次法	CPUT	渔获量/拖网网次 catch/number of net
	CPU	渔获量/拖网时间 catch/trawling time
面积法	CPUA	渔获量/拖网时间/捕捞的区域面积 catch/trawling time/fishing area
体积法	CPUV	渔获量/拖网容量 catch/volume of trawl
密度法	QD	可捕系数乘以磷虾密度 catchability coefficient (q) × density of krill

注: 表格中渔获量单位均为吨(t), 时间单位均为小时(h)。

Notes: the unit of catch was ton (t), the unit of time was hour (h) in the table.

化非常显著(年或月为单位)。Kawaguchi等<sup>[6]</sup>认为,利用渔获量除以拖网网次和利用渔获量除以拖网时间两种方法估算某一区域的磷虾渔业CPUE时,得到的结果没有明显的差异,不能较好地表现出一些因素对磷虾渔业CPUE估算的影响,而采用面积法可在一定程度上避免这些问题。朱国平等<sup>[8]</sup>利用中国磷虾渔业数据比较了网次法和面积法估算的CPUE,结果显示两种方法估算出的CPUE存在着显著的差异。但总的来讲,相关研究相对较少。

面积法的优点是在整个计算过程中多加入了一个数量关系(拖网作业面积),使估算CPUE的过程变得更具严谨性。但该估算方法仍不完善,即记录的拖网时间会出现偏差,且拖网各月的捕捞海域面积也无法准确地计算,拖网面积根据拖网拖曳速度、拖曳时间以及拖网网口扩张程度计算,其中拖曳速度和拖网时间会出现一定的偏差,但较易记录。拖网网口的扩张程度则较难把握,因为网具在水层下进行作业时随网具的拖曳深度、速度以及作业路线的改变而随时改变,这一点会造成对拖网面积的估算出现较大的误差。此外,由于作业渔船船型可能不同,即便作业方式保持一致,但船舶参数仍存在较为明显的差别,这也会使估算某个区域各月或各年平均CPUE出现不可避免的误差。

虽然面积法加入了区域面积这一空间因子,但与网次法类似,该方法仍会受到海冰消长、海表温度变化以及磷虾自身生物学特性等非渔业因素的影响。

### 1.3 体积法

1997年, Kawaguchi等<sup>[6]</sup>利用体积法估算了利文斯顿岛和象岛附近这两个区域磷虾渔业的CPUE,他们将CPUE转换成对数形式( $\log_{10}$ ),以便更好地观察这两个区域磷虾渔业CPUE的分布情况<sup>[6]</sup>。从本质上来讲,这种方法考虑了磷虾斑块集群和垂直分布的自身生物学特性。因此,磷虾自身生物学特性对磷虾渔业CPUE的估算所产生的影响在此种方法上得到了体现,但仍缺少较为明确的内容和更为准确的估算方法。

体积法的缺点大体上可以归纳为二点:第一,仍然忽略磷虾捕捞作业在时间上的限制,作业时间相对集中在磷虾的高产季节,没有考虑不同季节海冰消长等自然因素对磷虾渔获量

的影响;第二,忽略了渔船作业时拖网的拖曳深度、拖曳速度以及网具大小对磷虾渔获量的影响。朱国平等<sup>[4]</sup>对影响南奥克尼群岛水域磷虾渔业CPUE的研究中指出,随着拖网速度的增加,平均CPUE逐渐减小,当拖速小于2.5m/s时,平均CPUE达到最大;而拖曳深度对CPUE也会产生影响,即随着拖曳深度的增加,平均CPUE逐渐减少,当拖曳深度小于25 m时,平均CPUE达到最大值,而当拖曳深度大于100 m时,CPUE显著降低。此外,考虑磷虾具有斑块分布和垂直移动的生物学特性,所以同规格网具会在同一调查范围的不同区域、不同水层中捕捞规模不同的磷虾群体。因此,以上两点会使得磷虾渔业CPUE估算产生一定的偏差。

### 1.4 密度法

1936年, Hardy<sup>[9]</sup>对浮游生物斑块分布的现象进行了较为深入的观察和具体的分析,其指出浮游生物的分布呈不均匀、不连续性,常密集成块。密度法的最大特点和优点是考虑到了磷虾自身具有的生物学特性,即斑块分布和磷虾在空间上的分布特征。斑块分布在浮游动物中较为普遍,尤以磷虾较为常见。因此, Butterworth等<sup>[10]</sup>先对所调查区域的磷虾群进行分层处理,得到每一个空间层面的磷虾资源密度,然后利用捕捞系数( $q$ )乘以各层磷虾的资源密度,以得到各层磷虾CPUE。这种方法不仅可以更加细致地对某一特定区域的磷虾资源丰度进行估计,同时也可以为捕捞生产的渔船提供更准确的作业地点和空间层面,但在研究的过程中, Butterworth等<sup>[10]</sup>提出较大的集群区域并不意味着有较大的集群密度和较高的CPUE,虽然CPUE可以作为估计某一区域磷虾资源量的一个丰度指数,但CPUE指数的选择与磷虾开发状况之间则呈现非线性关系。

虽然密度法较好地考虑到了磷虾斑块分布以及垂直分布的生物学特性,但并未考虑自然因素(海冰消长、海表温度变化)以及人为因素(作业时的拖网速度、拖曳深度及网具规格等)对磷虾渔业CPUE估算所产生的影响,而且磷虾的可获得性不仅取决于局部区域磷虾的密度,还受作业过程中船长根据磷虾集群方式所做的决策而带来的影响<sup>[5]</sup>。此外,目前没有比较系统的方法和科研条件可以相对准确地估算磷虾集群的平

均密度, 而且捕捞系数 $q$ 也较难估算。这些因素会在较大程度上直接影响着磷虾CPUE的估算。

## 2 CPUE作为丰度指标的可行性

### 2.1 CPUE在渔业上的应用

CPUE是渔业资源评估中最基本的概念<sup>[11]</sup>。在渔业中, CPUE常常被假设与资源量成正比关系, 并广泛应用在渔业资源评估与管理中<sup>[12-15]</sup>, 但较多研究也表明, 许多渔业的CPUE与资源量间的正比关系因受众多因素的影响而难以成立<sup>[15-16]</sup>。所以, 在众多种渔业中, 为了有效利用渔业数据, 大多将估算所得的CPUE进行标准化, 以便更好地对资源量做出评估。事实证明, 总的来讲, 标准化后的CPUE能较好地反映渔业资源的丰度。

### 2.2 CPUE作为磷虾渔业丰度指标的可行性

在对某种资源进行评估时, 采用的方法应能最合理地表征某一资源丰度。磷虾生长环境特殊, 有负生长的现象。这也使得无法从一般鱼类的硬质部位着手年龄鉴定, 进而通过体长一年龄分布估算其资源生物量, 因此依托渔业或科学调查而得到的CPUE数据便显得尤为重要。在此过程中, 众多研究针对某一特定区域利用不同的方法计算CPUE, 估算某一区域磷虾的平均丰度, 进而评估该区域磷虾的资源状况。

早在1987年, 关于磷虾渔业CPUE与资源丰度之间关系的研究中, 有学者便提出了利用CPUE估算某一区域的磷虾丰度时会存在问题<sup>[17]</sup>。这一问题主要体现在两个方面: 一是磷虾渔业的作业时空尺度不同, 不同的时间范围内渔获量也不尽相同, 即使是在同一捕捞区域, 不同空间范围的渔获量也有明显的差异。若准确地对某一区域磷虾渔业的CPUE进行估算, 时空尺度是需要考虑的必要因素之一。从时间尺度上考虑, 因磷虾渔船是商业性渔船, 并非科考船只, 所以作业时间相对集中于南大洋磷虾的高产季节。由现有数据分析可知, 大部分捕捞磷虾的作业均发生于南极夏季月份<sup>[17]</sup>, 即南极区域海冰融化期。相关研究表明, 磷虾渔业受到海冰面积的影响较大<sup>[18]</sup>, 年均CPUE随海冰面积的增大而减小; 磷虾渔业年内CPUE则随海冰的面积先增大后减小<sup>[19]</sup>。由于海冰消长对南极磷虾的渔获量有着较大的影响, 而且南极海域一年四

季海冰的覆盖情况以及消长变化也有着较大的变化<sup>[20-22]</sup>, 所以即使每年同期对磷虾进行捕捞, 也难以较好地反映出磷虾资源的年际变化, 并使得估算出的CPUE值偏大。此外, 南极海域海冰的消长和覆盖情况与磷虾资源年补充量有着直接的联系<sup>[6, 23-24]</sup>, 而磷虾的补充量又会进一步直接影响着渔获量, 这也会影响着磷虾CPUE的估算。理论上讲, 若估算某一个特定区域的磷虾丰度, 需要一年中各月的渔获量数据, 但由于南极海域特殊以及恶劣的自然环境, 加上南极磷虾种群分布的年际变动, 通常无法在某一特定区域开展全年的捕捞作业, 因此无法基于CPUE估算对该区域的磷虾丰度做出较为准确的推断。与捕捞时间相关的自然因素中, 除海冰的消长, 海表温度也会影响某一区域的磷虾渔业CPUE的估算<sup>[25-26]</sup>。戴立峰等<sup>[19]</sup>表示, 磷虾渔业的CPUE随SST的变化趋势与海冰类似。在不同时间尺度上对磷虾进行捕捞所估算出的CPUE存在着差异, 所以捕捞作业时间集中会影响CPUE估算的准确性, 加之磷虾渔业多集中于南极大西洋扇区, 进而不能对整个南大洋的磷虾资源进行评估。除了与时间有关的自然因素以外, 因磷虾存在较为明显的昼夜垂直移动, 显著不同的捕捞时间和深度会直接影响磷虾渔业的CPUE估算结果。与此同时, 在考虑磷虾的昼夜垂直移动时, 还要了解影响磷虾昼夜垂直移动的因素(包括渔区内的光照强度、饵料状况、海冰、水温、捕食者以及其自身的年龄、生殖、蜕皮及性别等), 这些因素均直接或间接地影响着某一区域磷虾集群行为, 进而影响到磷虾渔业, 最终在CPUE估算上得到反馈<sup>[27-28]</sup>。从空间尺度上考虑, 不同的水平尺度(经、纬度)和垂直尺度(海底地形不同导致的海底深度差异)会造成磷虾渔业渔获量以及由此而得的CPUE也不同。

利用CPUE作为磷虾资源丰度指标存在的第二个问题是, 磷虾所具有的较为特殊的集群特征会对CPUE的估算造成影响。磷虾的集群具有斑块分布的特征, 即集群呈现不均匀、不连续且密集成块<sup>[29]</sup>。根据磷虾群的密集程度和行为, 块状集群的类型又可分为斑块、群集和狷集等。磷虾呈块状分布时, 不同密集群中磷虾的大小、性成熟阶段和生理状况(摄食、蜕壳)均有所不同<sup>[30]</sup>。综合磷虾渔业的作业特点以及自身特

有的集群特点,在渔船作业时,由于磷虾的集群特性,可能某些时候一个磷虾集群就可以满足一次拖网的渔获量,使拖网的持续时间缩短;但若磷虾集群呈现散状,则此时拖网需要捕捞几个集群才能满足渔获量的需求,使得拖网的持续时间延长<sup>[10]</sup>。如此,利用网次法以及面积法对磷虾CPUE进行估算就会出现一定偏差,从而导致资源量的估算出现偏差。除了单日网次和拖网时间使CPUE估算出现偏差以外,基于磷虾自身的集群特性,渔船船长对磷虾集群行为的判断也会影响磷虾CPUE的估算。这是由于不同磷虾集群的生理及摄食状况不尽相同,作业渔船均以经济利益为目的进行作业,捕捞更多质量较好的磷虾为其最终目的,所以一旦遇到生理或摄食状况不好的磷虾集群,根据船长的经验以及仪器的检测会停止或减少捕捞质量不好的磷虾集群,使这一拖网的拖网时间延长或者使这一拖网的渔获量减少,从而使估算的CPUE偏低,但这并不意味着该区域的磷虾资源丰度较低。因此,若不考虑具体集群特征,而利用渔业数据估算CPUE,并以此作为该区域的资源丰度指标存在片面性。

虽然利用CPUE作为磷虾资源丰度指数是否适合存在颇多的争议,但一些研究仍表明,简单的CPUE指数会是一个预测磷虾资源丰度较为有用的工具<sup>[31]</sup>。在南极磷虾渔场中,拖网作业时覆盖的水面要远远大于磷虾的集群范围,这就表明作业区域并非仅仅为传统意义上的渔场,同时还可以直接定义为捕捞特定磷虾集群<sup>[31]</sup>。但就目前世界磷虾渔业的发展来看,这一观点在磷虾作业较为广泛的区域<sup>[23]</sup>可以成立,但不是在所有磷虾的作业区域均适合,如乔治亚岛磷虾渔场基本上集中在该岛东北侧<sup>[26]</sup>。在对CPUE是否适合作为磷虾资源丰度指标的研究中,一些学者也开发了模型,通过分析CPUE数据对磷虾渔业进行管理。如Everson<sup>[32]</sup>认为,用于捕捞的单位小时内磷虾渔业渔获量可作为CPUE指数最适合的输入量。磷虾丰度和生物量具有季节性波动<sup>[8, 33]</sup>。Siegel等<sup>[7]</sup>则采用了单位小时内的平均渔获量作为CPUE指数分析了夏季(12月至翌年3月)磷虾渔业CPUE情况。所以,目前估算磷虾CPUE的主要方法仍为网次法,虽然存在一定的问题,但该方法仍被广泛运用。即便利用CPUE作为估算磷虾丰度的指标仍存在争议,但

就磷虾渔业的发展现状而言,CPUE依然可作为估算某一区域磷虾丰度最主要的指标之一。不过,CPUE作为磷虾资源丰度指标存在的优势和劣势均较为突出。其中优势可以大体上总结为3方面:第一,CPUE的估算有多种方法,通常可选择简便且较为适合的方法进行计算;第二,磷虾自身的生物学特征(估算丰度时,主要体现在磷虾鉴龄问题上),考虑到鉴龄问题尚未有较为统一的方法和准确的结果,利用CPUE作为磷虾渔业的丰度指标可有效地避开磷虾的鉴龄问题;第三,南极特有的地域特征以及恶劣的海况使得科学性资源调查工作非常不易,通过商业性磷虾渔业数据开展资源评估工作,可为更好地评估磷虾资源提供重要的科学支撑,尤其是在磷虾年龄以及补充量等科学问题尚存在疑问的前提下,利用CPUE作为丰度指标也是目前最好的选择。而劣势大体上可以归纳为2点:第一,磷虾是生活在极地地区的浮游生物,具有较为特殊的生物学特性(主要体现为斑块分布、分层集群和昼夜垂直移动等),这些生物学特性会使得CPUE结果产生误差。因此,如何阐明磷虾生物学特征也成为将来其资源评估的基础性工作;第二,磷虾生活的极地区域,有着较为特殊的自然环境,这些环境因素也会成为估算CPUE的干扰因子,从而导致CPUE作为磷虾渔业丰度指标存在较大的不确定性。

综合CPUE作为磷虾资源丰度指标出现的问题,朱国平等<sup>[4]</sup>认为,将磷虾渔业指标(CPUE)与资源丰度之间建立联系的关键是考虑不同时空尺度上磷虾所体现的集群行为。当试图建立磷虾渔业CPUE与资源丰度的联系时,对比其他渔业对CPUE的应用,磷虾渔业所缺少的是结合环境因子、磷虾特殊的集群行为和捕捞作业特点对所估算的CPUE进行标准化,所以集合各种影响因子对磷虾渔业CPUE进行标准化将成为未来工作的重点。

### 3 结语

我国对南极浮游动物的研究起始于20世纪80年代。1984—1985年,我国首次南极科学考察对南极半岛周边海域的磷虾、桡足类等浮游动物的种类、分布和生物学等进行了研究<sup>[34]</sup>。在对某一区域磷虾生物量的早期研究过程中,很多学者试图通过对某一区域磷虾的补充量进行

判断,从磷虾的补充量入手对这一区域的磷虾的生物量进行评估,在此过程中存在的最大问题有2方面:第一,关于磷虾鉴别年龄的问题以及磷虾自身具有的各种生物学特性等;第二,所获得数据只是商业性捕捞数据,不具有科考数据的条件。因此,从磷虾的补充量入手开展资源量评估的工作会存在较多难以避免的问题和误差。相比之下,利用CPUE标准化的结果对某一区域磷虾的生物量进行评估将会有一定的发展前景,尤其是用于资源评估输入量的相关基础生物学参数尚未得到准确结论的情况下。目前,我国在对磷虾CPUE的估算方法以及资源量丰度的研究并不多。CPUE是资源量评估最为基础,作为资源量丰度的评估指数,CPUE可以较好地反映开发区域磷虾的资源量丰度,如何准确地对磷虾的CPUE做出准确的判断将是未来磷虾研究领域的重要内容。随着科技的进步,更多的影响因子将被纳入到磷虾资源量的评估当中,从而得到更为准确的结果,为将来的调查研究、渔船作业提供更好的信息和指导,尤其是近些年发展起来的渔业声学技术,可为基于渔业数据的磷虾生物量评估结论提供较好的验证。

#### 参考文献:

- [1] 孙松,王荣. 南极磷虾年龄鉴定研究简述[J]. 南极研究(中文版), 1995, 7(2): 59-62.  
Sun S, Wang R. Aging the Antarctic krill[J]. Antarctic Research (Chinese Edition), 1995, 7(2): 59-62(in Chinese).
- [2] 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.  
Xie Y L. Status and trend of exploitation of Antarctic krill *Euphausia superba*[J]. Modern Fisheries Information, 2004, 19(4): 18-20(in Chinese).
- [3] Miller D G, Hampton I. Biology and ecology of the Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana): A review[R]. Biomass Scientific Series No. 9. Cambridge: SCAR and SCOR, Scott Polar Research Institute, 1989: 1-66.
- [4] 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分析[J]. 海洋渔业, 2010, 32(4): 368-373.  
Zhu G P, Feng C L, Wu Q, et al. Preliminary analysis on factors impacting CPUE index variations in Antarctic krill survey[J]. Marine Fisheries, 2010, 32(4): 368-373(in Chinese).
- [5] Kawaguchi S, Candy S, Nicol S, et al. Analysis of trends in Japanese krill fishery CPUE data, and its possible use as a krill abundance index[J]. CCAMLR Science, 2005, 12: 1-28.
- [6] Kawaguchi S, Ichii T, Naganobu M. Catch per unit effort and proportional recruitment indices from Japanese krill fishery data in Subarea 48.1[J]. CCAMLR Science, 1997, 4: 47-63.
- [7] Siegel V, Damm U, Sushin V A. Catch per unit effort (CPUE) data from the early years of commercial krill fishing operations in the Atlantic sector of the Antarctic[J]. CCAMLR Science, 1998, 5: 31-50.
- [8] 朱国平,朱小艳,孟涛,等. 2012年秋冬季利文斯顿岛南极磷虾渔业CPUE指标变动及其影响因素[J]. 大连海洋大学学报, 2013, 28(4): 399-405.  
Zhu G P, Zhu X Y, Meng T, et al. The variation and impacting factors in CPUE index of Antarctic krill fishery around the Livingston Island during fall-winter of 2012[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2013, 28(4): 399-405(in Chinese).
- [9] Hardy A C. Observations on the uneven distribution of oceanic plankton[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1936:28.
- [10] Butterworth D S, Miller D G M. A note on relating Antarctic krill catch-per-unit effort measures to abundance trends[J]. South African Journal of Antarctic Research, 1987, 17(2): 112-116.
- [11] 詹秉义. 渔业资源评估[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.  
Zhan B Y. Fisheries stock assessment[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995(in Chinese).
- [12] Hilborn R, Walters C J. Quantitative fisheries stock assessment: choice, dynamics, and uncertainty[M]. London: Chapman and Hall, 1992.
- [13] Quinn T J, Deriso R B. Quantitative fish dynamic[M]. New York: Oxford University Press, 1999.
- [14] Maunder M N, Punt A E. Standardizing catch and effort data: A review of recent approaches[J]. Fisheries Research, 2004, 70(2-3): 141-159.
- [15] Harley S J, Myers R A, Dunn A. Is catch-per-unit-effort proportional to abundance?[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2001, 58(9): 1760-1772.
- [16] Ye Y M, Dennis D. How reliable are the abundance

- indices derived from commercial catch-effort standardization?[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2009, 66(7): 1169-1178.
- [17] 朱国平. 基于广义可加模型研究时间和环境因子对南极半岛北部南极磷虾渔场的影响[J]. *水产学报*, 2012, 36(12): 1863-1871.  
Zhu G P. Effects of temporal and environmental factors on the fishing ground of Antarctic krill (*Euphausia superba*) in the northern Antarctic Peninsula based on generalized additive model[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2012, 36(12): 1863-1871(in Chinese).
- [18] 杨晓明, 朱国平. 南极大西洋扇区磷虾渔业渔获率突变特征及其致因分析[J]. *中国水产科学*, 2014, 21(5): 1056-1064.  
Yang X M, Zhu G P. Mutation characteristics and the effect on catch rates in Antarctic krill fishery in the Atlantic Sector of the Antarctic Ocean[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2014, 21(5): 1056-1064(in Chinese).
- [19] 戴立峰, 张胜茂, 樊伟. 南极磷虾资源丰度变化与海冰和表温的关系[J]. *极地研究*, 2012, 24(4): 352-360.  
Dai L F, Zhang S M, Fan W. The abundance index of Antarctic krill and its relationship to sea ice and sea surface temperature[J]. *Chinese Journal of Polar Research*, 2012, 24(4): 352-360(in Chinese).
- [20] 樊伟, 伍玉梅, 陈雪忠, 等. 南极磷虾的时空分布及遥感环境监测研究进展[J]. *海洋渔业*, 2010, 32(1): 95-101.  
Fan W, Wu Y M, Chen X Z, *et al.* Progress in spatio-temporal distribution of Antarctic krill and environment survey of remote sensing[J]. *Marine Fisheries*, 2010, 32(1): 95-101(in Chinese).
- [21] 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.  
Tang J Y, Shi G H. Management of Antarctic krill and its implications for China's distant water fisheries[J]. *Resources Science*, 2010, 32(1): 11-18(in Chinese).
- [22] 王荣, 孙松. 南极磷虾渔业现状与展望[J]. *海洋科学*, 1995(4): 28-32.  
Wang R, Sun S. Krill fishery in the southern ocean-its present and future[J]. *Marine Sciences*, 1995(4): 28-32(in Chinese).
- [23] Siegel V. A concept of seasonal variation of krill (*Euphausia superba*) distribution and abundance west of the Antarctic Peninsula[M] // Sahrhage D. *Antarctic Ocean and Resources Variability*. Berlin Heidelberg: Springer, 1988: 219-230.
- [24] Siegel V. Krill (*Euphausiacea*) demography and variability in abundance and distribution[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2000, 57(S3): 151-167.
- [25] 朱国平, 冯春雷, 吴强, 等. 夏季南奥克尼群岛西部水域南极磷虾资源时空分布及其与表温之间的关系[J]. *海洋环境科学*, 2011, 30(5): 636-639.  
Zhu G P, Feng C L, Wu Q, *et al.* Spatial-temporal distribution of *Euphausia superba* in western Southern Orkney Islands and relation to sea surface temperature in austral summer fishing season[J]. *Marine Environmental Science*, 2011, 30(5): 636-639(in Chinese).
- [26] 朱国平, 刘子俊, 徐国栋, 等. 基于精细尺度的冬季南乔治亚岛南极磷虾渔获率时空与环境效应[J]. *应用生态学报*, 2014, 25(8): 2397-2404.  
Zhu G P, Liu Z J, Xu G D, *et al.* The spatial-temporal and environmental effects of catch rate on Antarctic krill fishery in the South Georgia Island in the austral winter season based on the fine scale data[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(8): 2397-2404(in Chinese).
- [27] Pearre Jr S. Eat and run? The hunger/satiation hypothesis in vertical migration: History, evidence and consequences[J]. *Biological Reviews*, 2003, 78(1): 1-79.
- [28] Ritz D A. Social aggregation in pelagic invertebrates[J]. *Advances in Marine Biology*, 1994, 30: 155-216.
- [29] 郑重, 李少菁. 海洋浮游生物斑块分布的研究[J]. *海洋科学*, 1988, 2: 58-62.  
Zheng Z, Li S J. Patchy distribution of marine plankton[J]. *Marine Sciences*, 1988, 2: 58-62(in Chinese).
- [30] Brinton F. The distribution of Pacific euphausiids[J]. *Bulletin of the Scripps Institution of Oceanography*, 1962, 8(2): 51-270.
- [31] Fedoulov P P, Murphy E, Shulgovsky K E. Environment-krill relations in the South Georgia marine ecosystem[J]. *CCAMLR Science*, 1996, 3: 13-30.
- [32] Everson I. Can we satisfactorily estimate variation in krill abundance?[M]//Sahrhage D. *Antarctic Ocean and Resources Variability*. Berlin Heidelberg: Springer, 1988: 199-208.
- [33] Siegel V, De la Mare W K, Loeb V. Long-term

- monitoring of krill recruitment and abundance indices in the Elephant Island area (Antarctic Peninsula)[J]. CCAMLR Science, 1997, 4: 19-35.
- [34] 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, 104.
- Sun S, Liu Y Q. Antarctic krill and Southern Ocean ecosystem[J]. Chinese Journal of Nature, 2009, 31(2): 88-90, 104(in Chinese).

## Catch per unit effort of Antarctic krill (*Euphausia superba*) fishery and its suitability to abundance estimation

ZHU Guoping<sup>1,2,3\*</sup>, WANG Rui<sup>1</sup>

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

2. National Distant-water Fisheries Engineering Research Center, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

3. Polar Marine Ecosystem Lab, Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Shanghai Ocean University, Ministry of Education, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** Normally, catch per unit effort (CPUE) is the total catch in a specific period (such as, year, month or season) divided by the total amount of effort used to harvest the catch in the corresponding period. As an index of measuring the abundance variation of fishery resources, CPUE is often used for fishery stock assessments. As a living marine resource with aggregation trait, the abundance of Antarctic krill has a significant spatial-temporal variation. Additionally, particularities of this species and fishery characteristics result in remarkable uncertainty in efficiently measuring the variation of abundance. Thus, this review provides detailed information on four methods to calculate CPUE of Antarctic krill fishery and summarizes the characteristics, advantages and disadvantages of these methods, and further analyzes the impacts of estimating CPUE of Antarctic krill fishery in view of temporal-spatial scale and environmental factors. The suitability and feasibility of CPUE being considered as an index of abundance were also discussed. In recent years, Antarctic krill fishery has attracted more attention worldwide, however, there is no consistent argument on how to include fishery survey data into krill fishery stock assessment, which hampers the development of ecosystem-based Antarctic krill fishery management. The conclusion derived from this review can provide ideas for conducting better stock assessment and abundance estimation of Antarctic krill resources.

**Key words:** *Euphausia superba*; CPUE; abundance

**Corresponding author:** ZHU Guoping. E-mail: gpzhu@shou.edu.cn

**Funding projects:** Scientific Research Foundation for the Returned Overseas Chinese Scholars of State Education Ministry; Special Fund for Agro-scientific Research in the Public Interest of China (201203018); National Key Technology R&D Program of China (2013BAD13B03)