

商用探鱼仪南极磷虾声学图像的数值化处理

张吉昌^{1,2} 赵宪勇^{2*} 王新良² 汤 勇¹

(¹大连海洋大学, 116023)

(²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)

摘 要 为充分利用渔船所获渔业资源的分布信息, 提出了一组商用探鱼仪声学图像数值化处理方法, 并将其应用于以数码相机拍摄的南极磷虾回波图像处理, 对南极磷虾的集群特征进行了研究。通过对图像进行拍摄角度与亮度调整等预处理、像素色彩标准化与二值化处理后, 对虾群厚度、密度中心以及相对集群密度等集群特征进行了分析。30 幅图像的处理结果表明, 图像所示虾群的平均厚度范围为 5.6~55.8 m, 中值厚度为 25.7 m, 均值厚度为 27.1 m; 虾群密度中心所处水深为 40.0~156.5 m, 中值水深为 68.8 m, 均值水深为 77.3 m。磷虾的集群特征存在较为明显的昼夜变化, 白天集群密度高、厚度小, 夜间密度低、厚度大。本研究所述方法为利用渔船商用探鱼仪进行渔业资源研究提供了一种有效技术手段。

关键词 商用探鱼仪 图像 数值化 南极磷虾 集群特征

中图分类号 O427.9; S931.1; TP751.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2012)04-0064-08

Numericalization of pictorial image of Antarctic krill echogram taken from a commercial echo-sounder

ZHANG Ji-chang^{1,2} ZHAO Xian-yong^{2*} WANG Xin-liang² TANG Yong¹

(¹Dalian Ocean University, 116023)

(² Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture;

Key Laboratory for Fishery Resources and Eco-environment, Shandong Province;

Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071)

ABSTRACT In order to make the best use of the information on fishery resources derived from fishing vessels, a series of processing methods were probed to numericalize the pictorial image of the acoustic echogram taken from a commercial echo-sounder. The resulting methods were then applied to analyze the swarming characteristics of Antarctic krill *Euphausia superba* utilizing echogram image photos taken from a Chinese Antarctic krill fishing vessel. The thickness, gravity center and relative density were analyzed after a series of preprocessing including adjustment of shooting angle and luminance of the photos, and standardization of the RGB Triplets and binarization of each pixel. Results from 30 images showed that the mean thickness of

农业部“南极海洋生物资源开发利用”项目和公益性行业(农业)科研专项(201203018)共同资助

* 通讯作者。E-mail: zhaoxy@ysfri.ac.cn, Tel: (0532)85835363

收稿日期: 2012-04-06; 接受日期: 2012-05-17

作者简介: 张吉昌(1987-), 男, 硕士研究生, 主要从事渔业声学应用研究。E-mail: zjc021205@yahoo.cn

these krill swarms ranged from 5.6 m to 55.8 m, and the median thickness and mean thickness were 25.7 m and 27.1 m, respectively. The gravity center of these swarms were found between depths of 40.0 m and 156.5 m, and the median depth and mean depth were 68.8 m and 77.3 m, respectively. There was an apparent diel variation in the swarming characteristics of Antarctic krill. the swarms were relatively thinner but krill densities were relatively high in day hours; and the opposite were true at night. This exercise provided an effective tool for the study of fishery resources using fishing vessels where only commercial echo-sounder is available.

KEY WORDS Commercial echosounder Pictorial image Numericalization
Antarctic krill Swarming characteristics

南极大磷虾 *Euphausia superba* (以下简称南极磷虾或磷虾)是世界上单种生物量最大的可捕海洋生物资源,是人类重要的蛋白储库,并具有广泛的医药与工农业应用前景(Nicol *et al.*, 1997)。合理地开发利用南极磷虾资源对人类具有重要的意义。

国际上南极磷虾渔业始于20世纪60年代(Nicol *et al.*, 1999),迄今已有近50年的历史。我国对南极磷虾资源的实质性开发利用始于2009/2010渔季(朱国平等, 2010),但尚属探捕性质;对磷虾资源的研究还处在起步阶段,对直接影响渔业生产效益的磷虾资源变动规律及其集群分布特征的了解仍较匮乏,亟须开展相关研究,以支撑我国南极磷虾渔业的发展。

鉴于南极磷虾的浮游习性,国内外多采用声学方法对其资源量进行调查评估(郭南麟等, 1993;陈雪忠等, 1996;Malgorzata, 1993;Hewitt *et al.*, 2000,2004)。渔业资源的声学评估有赖于对探鱼仪回波映像的处理与分析(赵宪勇等, 2003;张俊等, 2011)。由于我国磷虾探捕船载的声学仪器多为商用探鱼仪,既不具备现代科学探鱼仪的回波信号积分功能,也不具备回波映像数据储存功能,因此无法开展磷虾资源科学评估。然而这些探鱼仪同样具有映像显示功能,海洋生物的回波映像显示器上停留的时间尽管短暂,但仍包含很多有关探测对象的集群特征信息,如分布水层及集群密度特征等。为充分利用这些信息,作者利用数码拍照的方式对磷虾映像进行了记录。本研究旨在探索一套所获数码图像的分析处理方法,以充分利用现有条件下可获得的信息对磷虾资源进行研究。

1 材料与方 法

1.1 图像资料的采集

磷虾图像资料采自我国南极磷虾探捕船上的Furuno FCV-1200L型探鱼仪,所用工作频率为50 kHz。此型号探鱼仪不具备映像数据存储功能,磷虾图像系利用数码相机(SONY A550)面向探鱼仪显示屏拍摄而得。图像采集日期为2011年2月7~22日,图像采集地点见图1。图像采集时的船位读自船装GPS,时间记录以船时(当地时)为准。

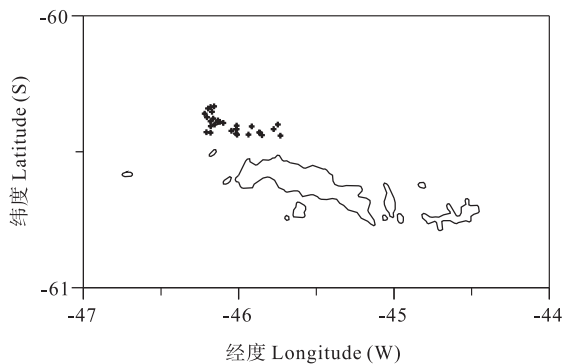
探捕期间共采集图像300余幅。由于船舶摇晃以及屏幕反光等原因,所得照片质量参差不齐,在此仅选择了30幅质量较好的图像进行示范性处理分析,其中一幅示例见图2。

1.2 图像处理与信息提取

从图2可以看出,图像内不仅含有虾群映像,还有标志线、数字等非生物回波映像等“噪声”;另外,由于图像拍摄角度、取景范围以及环境光线等因素的影响,图像间缺少应有的一致性与可比性,因此首先对图像进行了角度调整以及“去噪”等预处理,然后再利用预处理后的图像进行磷虾映像信息的提取与分析,相关步骤如图3所示。

除特别说明外,图像的处理与信息提取均在MATLAB(V7.7)平台下编程完成(张志涌等, 2003;赵书兰

等 2009), 信息数据的后续分析则利用 SYSTAT(V10.2) 统计软件进行。



南奥克尼群岛西北, 粗十字标注

Northwest of the South Orkney Islands, shown as bold cross

图1 南极磷虾映像图像的采集地点

Fig. 1 Sampling site of the pictorial image of the Antarctic krill echogram

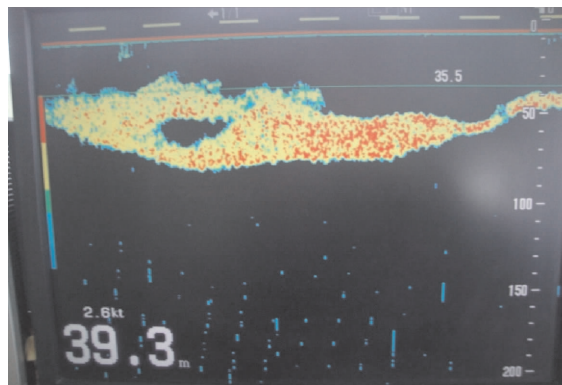


图2 数码相机拍摄的商用探鱼仪磷虾映像图像

Fig. 2 Pictorial image of krill echogram taken from a commercial echosounder by a digital camera

1.2.1 拍摄角度及亮度调整

为便于图像间数据的可比性, 首先利用 Photoshop (V8.0) 软件对图像的拍摄角度、取景范围、图像亮度、对比度进行了初步调整处理, 通过旋转、裁切等操作选取有效图像区域; 通过亮度、对比度调整力求图像色彩的一致性。此步操作同时对难以利用 MATLAB 进行批处理的部分“噪声”进行了消除处理。其中, 当图像需要在垂向进行裁切时, 裁切边界均定位在映像的水深刻度线上, 以便进行水深范围换算。

1.2.2 参数文档的建立

为便于图像的批量处理, 在对图像进行裁切处理时, 即为每幅图像建立了一个数据文档, 参数包括探鱼仪显示器的尺寸、图像显示的水深范围、考察船的航速以及“去噪”处理参数等。

1.2.3 图像“去噪”预处理

如图2所示, 图像上方的黄色短线、发射脉冲信号(零水深线区域)以及图像左侧的色标、虾群下方的噪声等可以通过将这些区域强行设置成黑色加以消除; 数字是白色, 其灰度值必然与其他颜色不同, 通过设定一个灰度阈值, 就可以将数字和水深刻度线消除(贾爱莲等 2006)。其他难以批处理的, 则在拍摄角度调整预处理过程中进行针对性的单独处理。

1.2.4 像素色彩的标准化处理

图像中磷虾的集群密度是以像素的颜色来表示的, 冷色代表密度较低, 暖色代表密度较高。本研究所用探鱼仪的映像显示色标分为4个色系(红、黄、绿、蓝)、8个或16个色彩等级(FURUNO 2000); 现场设定为8个等级。然而从图2可以看出, 由于拍照角度及光线等原因, 图像的颜色以肉眼往往仅能分辨出4个色系, 同一色系内的颜色等级很难明晰区分。利用 Photoshop 对图像像素灰度值的分析结果显示, 在肉眼可分辨的4种颜色中, 每个色系像素的灰度值均呈单峰分布, 同样难以利用像素灰度值在色系内进行颜色等级区分。为便

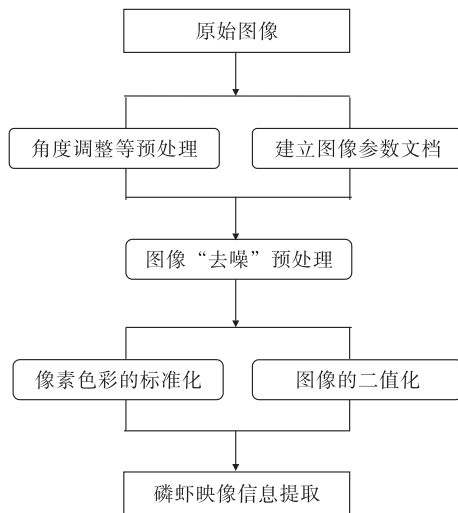


图3 图像处理与南极磷虾映像信息提取流程

Fig. 3 Flow diagram of pictorial image processing and Antarctic krill echogram information acquisition

于后续定量分析,特对图像中磷虾映像的像素色彩进行了标准化处理,即所有像素仅以4种颜色表示,每个色系像素的三原色分量值均以同一数值表示,其中红色系为(255,0,0),黄色系为(255,255,0),绿色系为(0,255,0),蓝色系为(0,0,255)(色彩学编写组 2001;赵书兰等 2009)。

1.2.5 图像的二值化处理

为计算磷虾集群特征参数,需将磷虾映像从整个映像的背景中提取出来。磷虾映像的提取采用图像二值化技术,将带有磷虾映像的像素赋值为1,其他背景像素赋值为0,图像中赋值为1的映像区域即为磷虾的分布区域。

1.3 图像像素信号强度的计算

如前所述,图像中磷虾的集群密度是以像素的颜色来表示的。为定量估测磷虾的某些集群特征,需将像素的颜色再转换回能够表示磷虾密度的回波信号强度。

从严格的渔业声学意义而言,探鱼仪回波信号的强度是一个连续的物理量。由于图像中磷虾回波信号的强度信息是以有限数量的颜色进行表述的,因此仅以同一色系像素所代表信号的平均强度来表示各自色系像素的信号强度。另外,由于商用探鱼仪对声波传播损失的补偿不是根据严格的声学理论和声波传播损失模型进行的,且未进行系统性能校正,因此无法在严格的物理学意义上计算信号的绝对强度,而是仅能计算不同颜色像素所代表信号间的相对强度。

不同颜色像素所代表回波信号的相对强度,利用探鱼仪映像色标的信号强度级差计算而得。某给定色系像素所代表信号的平均相对强度是以定积分近似算法实现的,其算式为:

$$I^* = \sum_{i=1}^K 10^{0.1 \times (I_L + (i-1) \times \Delta I)} \quad (1)$$

式中, I^* 代表给定色系像素所代表信号的平均相对强度在线性域的表达式,它与信号强度的分贝表达式 $I(\text{dB})$ 之间的关系为 $I = 10 \log I^*$ (MacLennan *et al.* 1992); I_L 代表给定色系相对强度级差范围的下限值(dB)、 ΔI 代表平均运算过程的信号强度递增步幅(dB); K 代表平均运算的循环次数,其算式为:

$$K = (I_U - I_L) / \Delta I + 1 \quad (2)$$

式中, I_U 代表给定色系相对强度级差范围的上限值(dB)。

根据探鱼仪参数设置,假设经像素色彩标准化处理后,图像中虾群像素的4种颜色代表的相对强度级差为6 dB(见 § 3.2.3 的讨论),则蓝、绿、黄、红4色代表的信号强度的相对强度范围分别为 $[0, 6)$ 、 $[6, 12)$ 、 $[12, 18)$ 、 $[18, 24]$ dB;其中方括号表示含边界值,圆括号代表不含边界值。平均运算时,不含边界值时减少一个递增步幅。步幅的选择以运算结果精确至小数点后第3位为准。

1.4 南极磷虾集群特征参数的计算

1.4.1 虾群厚度的计算

虾群的厚度利用二值化图像,根据虾群映像垂向像素数和图像代表的水深范围计算而得,其算式为:

$$H = \sum_{i=1}^M (R \times n_i / N) / M \quad (3)$$

式中, H 代表虾群的平均厚度(m); R 代表图像涵盖的水深范围,取决于探鱼仪的显示量程(水深范围);本研究依据磷虾的垂直分布共使用了100、150、200 m三档量程,起始水深均为0 m; M 代表图像水平方向上的像素数,亦即图像中像素的总列数; n_i 代表第*i*列像素中磷虾映像占据的像素数, N 代表图像中每列的像素总数,亦即图像中像素的总行数。

一般而言,图像的像素数由数码相机的分辨率设置而定;然而由于对原始图像进行了裁切处理,因此每幅图像的像素数将依其裁切程度而定,在利用MATLAB进行图像处理时读取。

1.4.2 虾群重心水层的计算

虾群的垂直分布特征以虾群重心(密度中心)的分布进行描述。若以回波信号强度代表虾群的密度,以图

像中磷虾映像像素的颜色代表磷虾回声信号的强度, 虾群重心所处水深则可由虾群像素的色系所代表的相对信号强度对像素所处水深进行加权平均而得, 其算式为:

$$D = \sum_{i=1}^M \left(\sum_{j=1}^N I_{ij}^* \times d_{ij} / \sum_{j=1}^N I_{ij}^* \right) / M \quad (4)$$

式中, D 代表虾群重心所处水深(m); I_{ij}^* 代表图像第 i 列、第 j 行像素的相对信号强度(线性域的表达式), 根据式(1) 计算而得; d_{ij} 代表第 i 列、第 j 行像素所处水深(m), 由像素所在行数 j 、图像中像素的总行数 N 以及图像所涵盖的水深范围 R 计算而得; M 代表图像中像素的总列数。

1.4.3 虾群相对密度的计算

为研究磷虾集群密度的昼夜变化特征, 还需了解图像中虾群的密度。由于磷虾映像的强度信息是以像素颜色进行表述的, 因此利用图像像素色系所代表的相对信号强度以及虾群中各色系像素的数量来计算磷虾集群的相对密度, 其算式为:

$$\rho = (I_R^* \times n_R + I_Y^* \times n_Y + I_G^* \times n_G + I_B^* \times n_B) / (n_R + n_Y + n_G + n_B) \quad (5)$$

式中, I_R^* 、 I_Y^* 、 I_G^* 、 I_B^* 分别代表红、黄、绿、蓝 4 色系像素各自代表的相对信号强度, 根据式(1) 计算而得; n_R 、 n_Y 、 n_G 、 n_B 分别代表虾群映像中红、黄、绿、蓝各色像素的数量, 利用经像素色彩标准化处理后的图像在 MATLAB 平台下编程统计而得。

1.5 磷虾集群特征的昼夜变化

捕捞对象分布特征的昼夜变化是影响渔业生产的重要因素; 查明捕捞对象的昼夜分布特征对渔业生产具有重要的指导意义。

磷虾集群特征的昼夜变化利用 SYSTAT(SYSTAT Software Inc., 2002) 统计软件的 DWLS(距离加权最小二乘法) 平滑算法进行变化规律分析, 所用趋势线的张力参数为 0.5, 即当计算某时刻的趋势时, 该时刻周围占总样本 50% 的数据参与该时刻趋势的预测。

2 结果

2.1 图像处理效果

图 4 展示了图 2 所示原始图像的各步处理结果。经图像旋转、边缘裁切及亮度、对比度调整等第一步预处理(图 4a), 原始图像中的无效区域(如探鱼仪显示器边框)以及虾群周边的“噪声”已经去除, 图像也较为“端正”、清晰。再经“去噪”批处理后, 图像中仅剩磷虾映像存留其中(图 4b); 此时除经亮度、对比度适当调整外, 磷虾映像仍基本维持原有色彩, 但 4 个色系像素间的可分辨性已略有增强, 外界光线的干扰明显减弱。

图 4c 给出了像素色彩标准化处理后的图像, 此时磷虾映像中的 4 种颜色以肉眼即可清晰分辨; 同色系各像素的三原色分量已有统一的赋值, 可在 MATLAB 下进行准确地区分、统计或运算。图 4d 展示了二值化处理后的图像, 其中磷虾群以白色表示, 赋值 1; 背景以黑色表示, 赋值 0。经此处理, 大大简化了虾群几何尺度(如厚度)的计算。

2.2 图像像素代表的相对信号强度

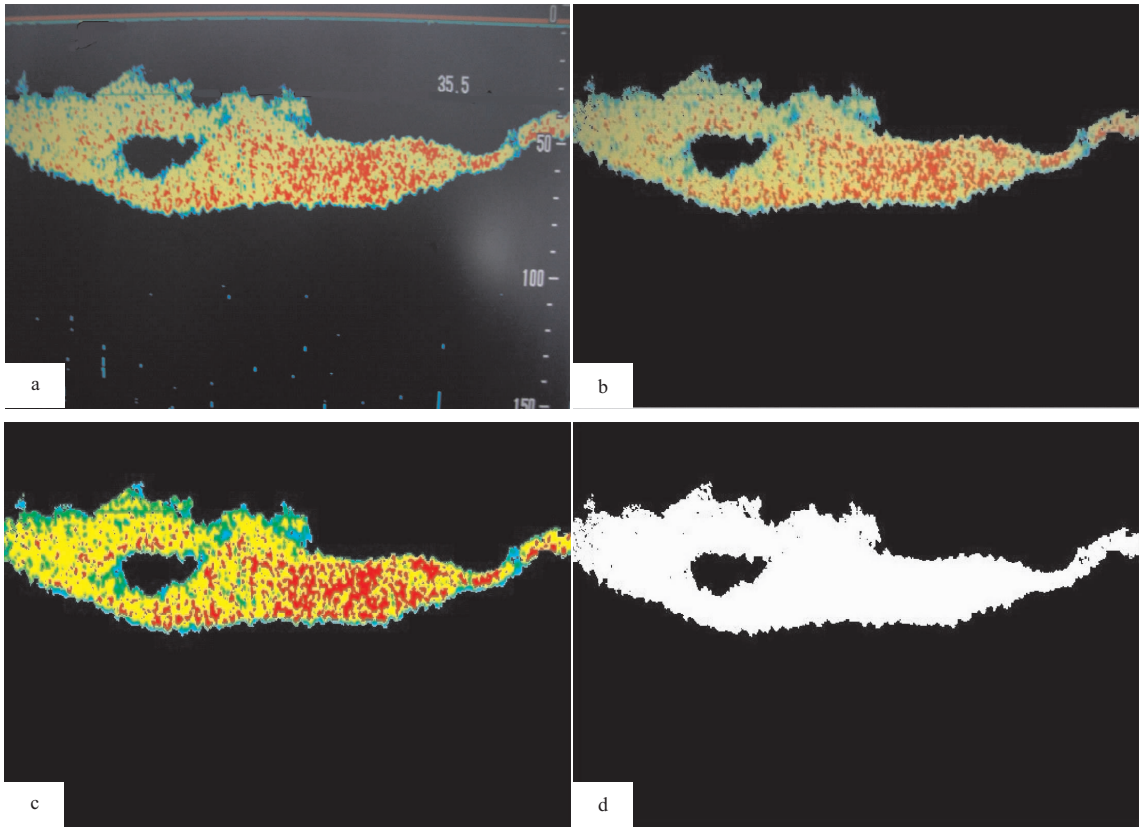
经运算试验, 当平均运算的递增步幅 ΔI 为 0.01 dB 时, 相对信号强度的运算结果即非常稳定(精度即达 0.001)。为确保目标精度的实现, 以 0.001 dB 为递增步幅进行计算, 得蓝、绿、黄、红 4 色所代表相对信号强度分别为 2.158、8.590、34.199、134.147, 所对应的分贝表达式分别为 3.34、9.34、15.34、21.34 dB。

2.3 磷虾的集群特征

2.3.1 虾群的厚度与重心水层分布

图 5 给出了 30 幅图像所示虾群的基本分布特征。虾群厚度(图 5a) 的分布范围为 5.6~55.8 m, 其中

90%以上的虾群厚度介于 10~50 m 之间;虾群厚度的中值为 25.7 m,均值为 27.1 m。虾群重心(图 5b)所处水深范围为 40.0~156.5 m,其中 95%以上分布在 25~125 m 之间;虾群重心水深的中值为 68.8 m,均值为 77.3 m。



a. 角度调整等第一步预处理后的图像; b. “去噪”预处理后的图像; c. 像素色彩标准化处理后的图像; d. 二值化后的图像
a. After first step preprocessing; b. After “noise elimination” preprocessing; c. After pixel-color standardization; d. Binary image

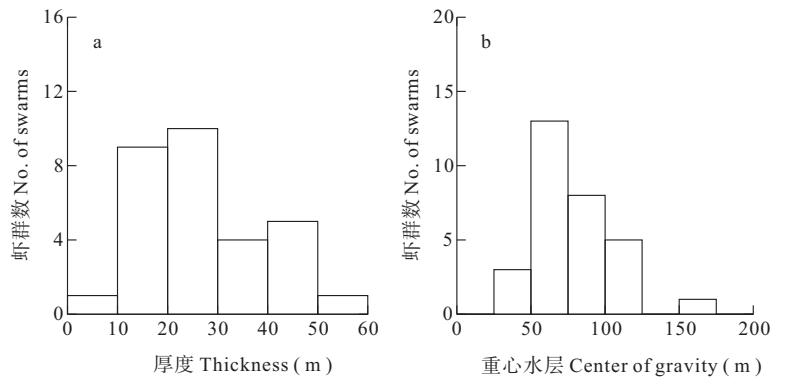
图 4 对图 2 原始图像进行处理后的效果

Fig. 4 Pictorial images of processed raw picture shown in Fig. 2

图 6 展示了虾群基本特征的昼夜变化趋势。从图 6 中的平滑线可以看出,磷虾的集群厚度(图 6a)具有明显的昼夜变化规律,白天虾群厚度小、夜间厚度大;虾群重心分布水层(图 6b)也呈现出一定的规律性,似乎拂晓和黄昏时刻的分布水层较深;由于分析的图像数量有限,且未做详细的天气条件记录,在此尚不能给出确切的结论。

2.3.2 虾群相对密度

图 7 展示了虾群相对密度的昼夜变化。总体而言,虾群的相对密度呈现出夜间低、白天高的趋势。这与虾群厚度(图 6a)的变化趋势形成良好



a. 虾群厚度; b. 虾群重心
a. Swarm thickness; b. Center of gravity

图 5 南极磷虾集群特征参数的分布

Fig. 5 Distributions of Antarctic krill aggregation parameters

的呼应,白天虾群集群度高,密度高、厚度小;夜间虾群相对松散,密度低、厚度大。

3 讨论

3.1 方法的可行性

商用探鱼仪是一种有效的助渔工具(顾浩年 1991),在渔场探寻及瞄准捕捞等渔业生产作业中发挥着重要的作用。然而商用探鱼仪一般不具备回声映像数据存储功能,大量的渔场资讯过目即逝,造成很大的资源浪费。

有鉴于此,本研究利用数码相机对船

装商用探鱼仪所获南极磷虾回波映像进行了拍照记录,并尝试利用 Photoshop 和 MATLAB 对所获图像进行数字化处理,旨在建立一套利用声学图像进行渔业资源信息提取的方法,以充分利用渔船商用探鱼仪转瞬即逝的信息进行渔业资源研究,并反馈指导渔业生产。30 幅磷虾回波映像图像的处理分析结果表明,尽管囿于图像数量及其地理空间分布的局限性,磷虾集群特征参数评估结果的普适性值得商榷,但能够获得磷虾集群特征参数自身即说明所用方法是有其应用价值且可行的。

3.2 存在的问题与改进途径

3.2.1 图像采集环节存在的问题

图像采集环节存在的问题主要包括图像拍摄角度与外界光线影响,这也是本研究舍弃了大量原始图像、仅选用了 30 幅图像的主要原因。

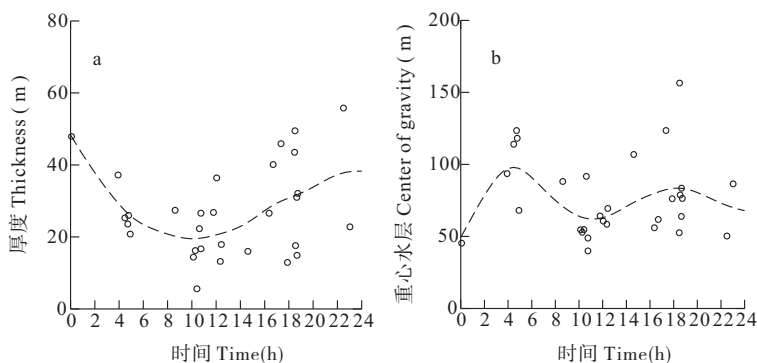
对定量分析捕捞对象集群特征参数的需求而言,最佳图像效果应是相机镜头恰与探鱼仪显示器呈垂直角度时获得的。由于船舶可能出现的摇晃以及移动平台上的拍照经验等因素的影响,许多图像存在拍摄角度问题。当拍摄角度仅存在左右扭转现象时,图像尚可通过 Photoshop 进行旋转纠正;但当拍摄角度存在俯仰倾斜时,所获图像则会发生型变,提取的集群参数则会出现误差。为克服这一问题,可将相机安装于固定支架上,以获取稳定、适宜的拍摄角度。

其次,由于探鱼仪显示器存在反光现象,外界光线会影响图像像素的色彩,严重时甚至可能造成像素色系的误判,从而在像素信号强度赋值时引起误差。为规避这一问题,应尽可能通过遮蔽室外光线、关闭或遮蔽室内相关灯光、适当调整探鱼仪显示器亮度等手段(当然必须关闭相机的闪光灯)获取较为理想的图像。

另外,图像的采集还存在图像的连续性和代表性问题。本研究所用图像系随船科学观察员在履行其本职工作期间协助采集的,因此图像的采集在时空分布上存在局限性,所获信息尚难准确、系统地描述南极磷虾的集群特征,包括其昼夜变化规律。在今后的考察工作中,可通过合理设计图像的采集来获取系统的图像资料,以对磷虾(或其他渔业资源)进行较为全面的研究;亦可利用摄像机进行摄录,并在后期处理中截取连续的图像,以对磷虾集群动态进行细致的研究。

3.2.2 图像处理过程中可能存在的问题

一般而言,探鱼仪图像中除源自研究对象的回波映像外,还含有诸如色标、标志线、数字信息以及纯正意义



a. 虾群厚度; b. 虾群重心

a. Swarm thickness; b. Center of gravity

图6 南极磷虾集群特征参数的昼夜变化

Fig. 6 Diel variations of Antarctic krill aggregation parameters

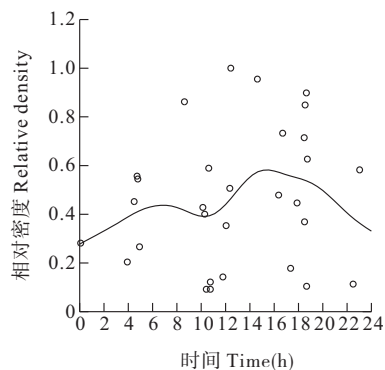


图7 南极磷虾相对密度的昼夜变化

Fig. 7 Diel variation of the relative density of Antarctic krill

上的噪声(Mitson 1995)等,当这些“噪声”与研究对象的回波映像重叠时,则会影响有效回波映像信息的提取。如图2中35.5 m处有一绿色水深标志线在图像左侧与磷虾映像发生重叠,为不损及磷虾映像,重叠的绿线仍残留在处理后的图像之中(图4),并代替了其下的磷虾映像;这一映像尽管很小,仍将在一定程度上引起与密度相关的计算误差。这可能是本方法中一个无法规避的局限。

3.2.3 图像像素信号强度计算中存在的问题

如材料与方法中所述,图像像素所代表回波信号的强度是一切与密度相关的参数计算的关键;而准确识别不同色标间的信号强度级差则是计算各色系所代表相对信号强度的关键。由于所用探鱼仪未就色标间的信号强度级差给出详细说明,本研究参考各种商用、科研用探鱼仪以及水平声纳的说明,将不同色系间的级差设定为6 dB,从而得以进行相对密度信息的提取与分析。本研究还曾将这一级差设为12 dB,结果显示,不同图像会产生方向(±)不同的差异,但其相对差异有限,对30幅图像分析结果的整体趋势影响甚微,说明级差选择的误差对虾群密度的变化趋势分析影响不大。尽管如此,级差选择的误差对磷虾密度定量分析的影响是必然的。为解决这一问题,可利用系列已知目标强度的标准目标进行测试,从而准确确定该款探鱼仪像素色系间的强度级差,提高相对密度计算的准确性。

综上所述,虽然本研究尚存在若干有待解决的问题,但为商用鱼探鱼仪声学映像的处理开辟了一个新的途径;经改进完善后的方法有望提供更为准确、更有价值的信息。本研究所用示例为南极磷虾,但其图像采集及处理方法同样适用于其他渔业资源,这为利用渔船商用探鱼仪进行渔业资源研究提供了一种有效技术手段。

参 考 文 献

- 朱国平,冯春雷,吴强,陈雪忠,赵宪勇,许柳雄,陈新军,黄洪亮,夏辉,孙坚强. 2010. 南极磷虾调查 CPUE 指数变动的影响因素初步分析. 海洋渔业, 32(4):368~373
- 色彩学编写组. 2001. 色彩学. 北京:科学出版社,40~44
- 张志涌. 2003. 精通 MATLAB 6.5 版. 北京:北京航空航天大学出版社,290~296
- 张俊,王新良,赵宪勇,李显森. 2011. 渔业声学数据后处理中积分阈的选择与优化 I:目标离散分布下积分阈的确定. 渔业科学进展,32(4):41~47
- 陈雪忠,徐震夷,陈冠镇. 1996. 南极普里兹湾外海大磷虾分布与现存量. 南极研究, 8(3):46~53
- 赵书兰. 2009. 数字图像处理与分析实例教程. 北京:化学工业出版社
- 赵宪勇,陈毓桢,李显森,陈卫忠,李永振,孙继闽,金显仕,唐启升. 2003. 多种类海洋渔业资源声学评估技术与方法探讨. 海洋学报,25(增1):192~202
- 郭南麟,陈雪忠,徐震夷,石承军. 1993. 南极普里兹湾外海大磷虾声学映像的分布分析和生物量的初步估算. 南极研究,5(4):90~103
- 贾爱莲,张淑娟. 2006. 基于 Matlab 的植物叶面积数字摄影图像处理. 山西农业大学学报,1:80~82
- 顾浩年. 1991. 鱼群探测器(一). 海洋渔业,(5):230
- FURUNO. 2000. Operator's Manual; Color LCD sounder FCV-1200L/1200LM. Nishinomiya; FURUNO Electric Co. Ltd
- Hewitt, R. P., and Demer, D. A. 2000. The use of acoustic sampling to estimate the dispersion and abundance of euphausiids, with an emphasis on Antarctic krill, *Euphausia superba*. Fisheries Research, 47(2-3): 215~229
- Hewitt, R. P., Watkins, J., Naganobu, M., Sushin, V., Brierley, A. S., Demer, D., Kasatkina, S., Takao, Y., Goss, C., Malysenko, A., Brandon, M., Kawaguchi, S., Siegel, V., Trathan, P., Emery, J., Everson, I., and Miller, D. 2004. Biomass of Antarctic krill in the Scotia Sea in January/February 2000 and its use in revising an estimate of precautionary yield. Deep Sea Research II, 51: 1 215~1 236
- MacLennan, D. N., and Simmonds, E. J. 1992. Fisheries Acoustics. Chapman & Hall, London. 286
- Malgorzata, G. 1993. Acoustic observations of krill (*Euphausia superba*) at the ice edge (between Elephant I. and South Orkney I., Dec. 1988/Jan. 1989). Polar Biology, 13(8): 507~514
- Mitson, R. B. 1995. Underwater noise of research vessels. Review and recommendations. ICES Cooperative Research. Report, 209. 61
- Nicol, S., and Endo, Y. 1997. Krill fisheries of the world. FAO Fisheries Technical Paper. No. 367. Rome, FAO. 100
- Nicol, S., and Endo, Y. 1999. Krill fisheries: Development, management and ecosystem implications. Aquatic Living Resources, 12(2): 105~120