

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2017.16231

空间插值法在北部湾渔业资源密度评估中的应用

孙铭帅¹, 陈作志¹, 蔡研聪¹, 张俊¹, 孙志伟²

1. 中国水产科学研究院 南海水产研究所, 农业部外海渔业开发重点实验室, 广东 广州 510300;
2. 中国水产科学研究院 南海水产研究所, 广东 广州 510300

摘要: 为弥补采样过程中可能存在的缺陷, 进而获得更加合理的渔业资源密度分布情况, 本研究将空间插值方法与渔业声学技术相结合, 利用 Echoview 渔业声学数据处理系统(Version 6.1)对 2014 年 7 月至 8 月间的北部湾渔业声学调查数据进行预分析, 再对实际探测数据进行反距离权重插值(IDW)、普通克里格插值(OK)、简单克里格插值(SK)。通过计算对比几种插值模型的决定系数(R^2)、平均误差(ME)、均方根误差(RMSE)等, 筛选最优插值模型。结果表明, 鱼类密度总体分布较均匀, 相对集中的区域较少, 分别在中东部沿岸区域、中越共同渔区中西部区域和北部远岸海域, 而在中南部远岸海域分布稀少; 比较 3 种插值参数发现, R^2 和 RMSE 显示的优劣顺序相似, $OK > SK > IDW$, ME 显示的优劣顺序为 $OK > IDW > SK$, 说明在该区域进行的渔业声学资源密度评估中, 普通克里格插值(OK)能够更好的预测北部湾海域的资源密度分布情况。

关键词: 克里格插值; 北部湾; 决定系数; 渔业资源

中图分类号: S93

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2017)04-0853-09

北部湾渔场是中国的“传统四大渔场”之一, 由于海洋污染及违规捕捞等原因, 出现鱼类资源过度消耗、近海生态系统退化等现象, 因此北部湾海域渔业资源密度及资源量的变化受到广泛关注^[1-2]。

水声学技术在渔业资源领域的应用日趋广泛, 具有直观、快捷、连续、取样率大和时空数据丰富等优点, 可有效评估渔业资源密度^[3]。但是受科研经费及环境条件限制, 对于大跨度调查区域, 往往采用大间距断面调查, 走航路线无法覆盖整个区域, 仅可获取有限的离散采样点数据。此外, 不合理的采样点布置, 难以真实反映区域渔业资源的空间分布特征。这两大因素严重影响着海域渔业资源评估结果的可靠性与准确性。如何获取整个区域的信息是改善当前评估方法的前提。而由点及面的信息扩展正是解决途径之一, 其中较

为常用、成熟的方法是空间插值法。

空间插值法是一种科学有效的空间分析方法, 根据适当数量的已知点推求区域中的未知点数据, 即将离散点的测量数据转换为连续的数据面, 对调查范围内所有位置的相关属性进行预测。目前, 该方法已广泛应用于诸多领域, 比如气象分析^[4-5]、水文监测^[6-7]、采矿^[8]、环境监测^[9-10]、渔业资源评估^[11-14]等。而在渔业声学领域的应用少有报道, 同时, 由于空间插值方法种类繁多, 在特定领域应用时, 须特别注意插值方法的选择^[15]。因此, 本研究通过将空间插值方法与渔业声学技术相结合, 对比分析几种主要空间插值方法在相同声学数据情况下的相关参数及插值效果, 筛选适当的空间插值方法, 以期获得较为准确的声学资源密度预测数据。

收稿日期: 2016-11-17; 修订日期: 2017-02-13.

基金项目: 国家自然科学基金项目(31602157); 公益性行业(农业)科研专项经费(201403008); 农业部财政专项-南海北部近海渔业资源调查(2014-2018); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(中国水产科学研究院南海水产研究所)资助项目(2016TS06).

作者简介: 孙铭帅(1986-), 男, 助理研究员, 从事海洋渔业声学及鱼类行为学研究. E-mail: wasersun@163.com

通信作者: 陈作志, 研究员. E-mail: zzchen2000@163.com

1 材料与方 法

1.1 声学数据

2014 年 7—8 月, 由“北渔 60011”单船底拖网渔船(渔船主机功率 441 kW, 总吨位 242 t, 船体长度 36.8 m, 宽度 6.8 m)搭载双频 Simrad EY60 便携式分裂波束科学探鱼仪(70 kHz 和 120 kHz)对北部湾区域进行声学数据采集。走航路线见图 1。

利用 Echoview 渔业声学数据处理系统(Version

6.1)进行声学数据分析^[16]。所有声学数据都被逐一仔细检查, 非走航时段内的数据不用于资源量计算。声学数据分析水层是 5 ~ 300 m。基本积分航程单元设为 5 nmi。积分阈值设置为 -80 dB。对于背景噪声较多的区域, 采用 Background Noise Removal 对背景噪声进行后期消除^[17-18]。最终获得海洋面积散射系数(nautical area scattering coefficient, NASC)。

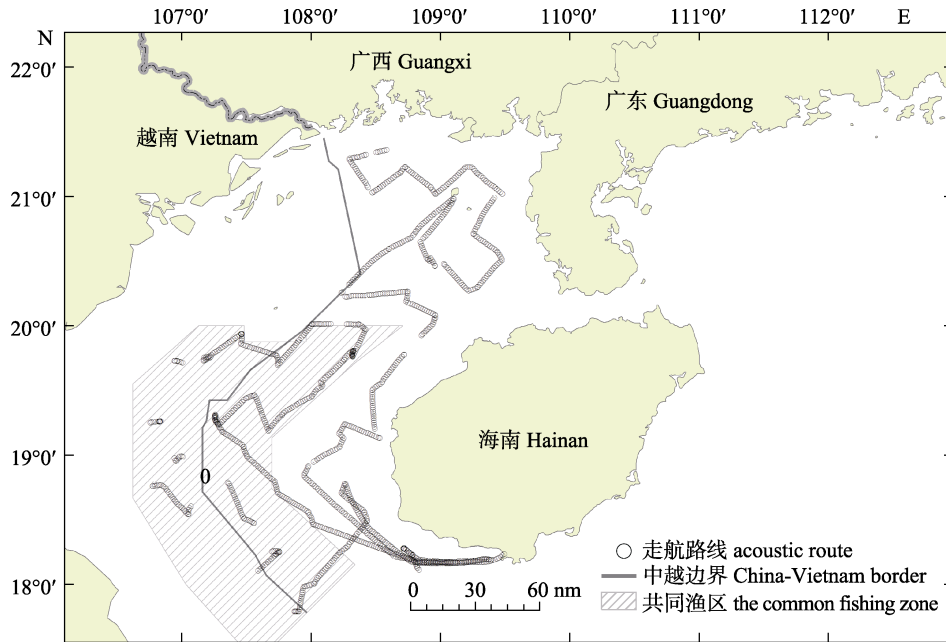


图 1 北部湾调查区域及走航路线

Fig. 1 Survey area and acoustic route

1.2 空间插值方法

经纬度坐标转换成平面坐标, 并对实际探测数据进行对数转换处理, 使数据呈正态分布后, 分别做反距离权重插值(IDW)、普通克里格插值(OK)、简单克里格插值(SK)。

反距离权重插值(inverse distance weighted, IDW), 是以插值点与样本点间距离为权重进行加权平均, 离插值点越近的样本点赋予的权重越大^[19]。其表示公式为:

$$Z = \left(\sum_{i=1}^n (D_i)^{-P} Z_i \right) / \sum (D_i)^{-P}$$

式中, Z 是估计值; Z_i 是第 i ($i=1, \dots, n$) 个样本点实测值; D_i 是插值点与样本点间的距离; P 是距离的幂, 它显著影响内插的结果。权重是与预测点到

局部邻域内实测点的距离有关的, 随着预测点和实测点之间距离的增加, 权重呈指数降低。

克里格插值(Kriging), 又称为空间自协方差最佳内插法。分为两步: 第一步是对空间场进行结构分析, 也就是说, 在充分了解场的性质的前提下, 提出变差函数模型; 第二步是在该模型的基础上进行克里格计算。

实测值权重是利用变异函数计算获得, 公式为:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

式中, h 为两点空间分隔距离; n 为被 h 分割实验数据的数目; $\gamma(h)$ 是变量 Z 以 h 为间距的半方差; $Z(x_i)$ 和 $Z(x_i + h)$ 分别是区域化变量, Z 为在空间位置 x_i 和 $x_i + h$ 上的实测值。

普通克里格法(ordinary Kriging, OK)常称为局部最优线性无偏估计。其一般公式为^[20]:

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \omega_i Z(x_i)$$

式中, $Z(x_i)$ 为观测值, 它们分别位于区域内 x_i 位置; x_0 是一个未采样点; ω_i 为权重, 并且其和等于 1。

与普通克里格插值相似, 都是在保证估计量无偏的前提下使得估计方差最小。不同之处在于, 简单克里格插值法(simple Kriging, SK)假定该随机函数是二阶平稳的, 且随机函数的均值是已知的。一般公式为:

$$\hat{Z}(x_0) = m + \sum_{i=1}^n \omega_i [Z(x_i) - m]$$

式中, m 为该随机函数的数学期望。

1.3 插值精度的评价方法

交叉验证法是插值结果验证的常用方法, 它假定每一个站点位置的属性值未知, 采用其周围站点的值进行估算, 最后对比分析所有站点处的实测值与估算值的误差。本文采用决定系数(R^2)、平均误差(ME)和均方根误差(RMSE)衡量误差大小, 以此评价插值方法的优劣。

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}}$$

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}}$$

式中, n 为样本总数; P_i 和 O_i 分别为第 i 个插值估算值及其对应的观测值; \bar{P} 和 \bar{O} 分别为插值估算序列数据与实测序列数据的均值。

2 结果与分析

2.1 模型拟合度分析

该调查海域的 NASC 值介于 0.10~3384.40, 其平均值为 91.57, 标准差 246.92, 偏度为 7.05, 峰度是 63.04, $K-S$ 检验 Sig 值 $0.002 < 0.05$, 不符合

正态分布。经对数转换后, 偏度 -0.30, 峰度 0.52, $K-S$ 检验 Sig 值 $0.180 > 0.05$, 符合正态分布。

实测数据初级拟合模型为指数模型(图 2), 块金值(nugget variance)=0.7680, 基台值(structural variance sill)=3.1670, 变程(range)=0.8820。

交叉验证效果如图 3~图 5, 对比 3 种插值方法的决定系数(R^2)、平均误差(ME)和均方根误差(RMSE)(表 1), R^2 和 RMSE 显示的优劣顺序相似, $OK > SK > IDW$; ME 显示的优劣顺序为 $OK > IDW > SK$ 。

表 1 各方法的决定系数、平均误差、均方根误差比较
Tab. 1 Comparison of each method's R^2 , ME, and RMSE

参数 coefficient	R^2	ME	RMSE
反距离权重(IDW)	0.558	-26.78	164.30
普通克里格(OK)	0.612	-24.92	153.93
简单克里格(SK)	0.603	-37.30	155.71

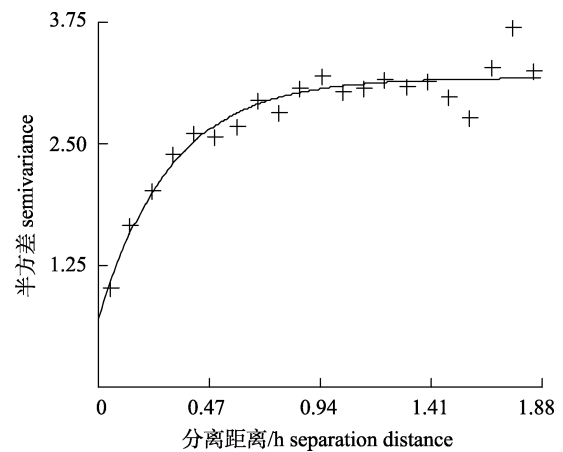


图 2 积分值的半变异函数

Fig. 2 Semi-variation function of NASC

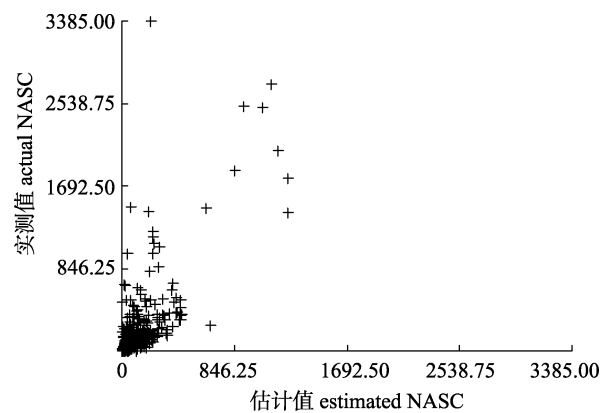


图 3 反距离权重交叉验证图

Fig. 3 Cross validation of IDW

2.2 反距离权重插值

反距离权重插值预测效果如图 6, 密度最高区域集中分布在中东部沿岸区域和中越共同渔区中西部区域, 其次在北部区域有集中分布, 中南部区域出现空白区。其余区域分布较平缓。最大值附近可能存在较大范围估值过高的现象。

2.3 普通克里格插值

普通克里格插值预测效果如图 7, 整体分布较均匀, 集中分布区域在中东部沿岸区域和中越共同渔区中西部区域, 其次在北部区域有集中分布, 中南部区域出现显著空白区。

普通克里格插值预测标准误差效果如图 8, 最大值区域存在小范围估值误差偏大, 其余绝大部分区域估值误差相对较稳定。

2.4 简单克里格插值

简单克里格插值预测效果如图 9 所示, 相对普通克里格插值, 大值区域更少, 整体分布密度较低, 少量集中分布区域在中东部沿岸区域及中北部远岸海域, 中南部区域出现显著空白区。

简单克里格插值预测标准误差效果如图 10 所示, 相对普通克里格插值, 总体预测标准误差相对更稳定, 极少出现大误差区域。

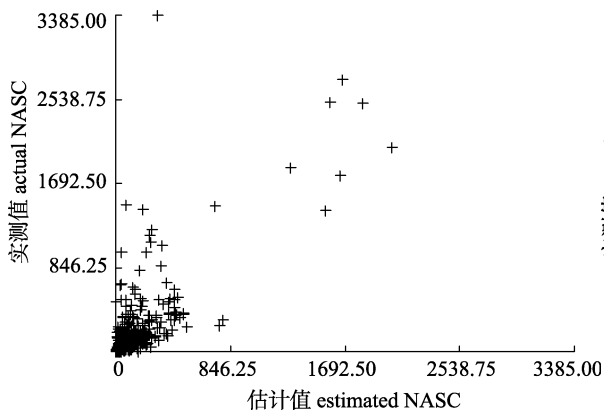


图 4 普通克里格插值交叉验证图
Fig. 4 Cross validation of OK

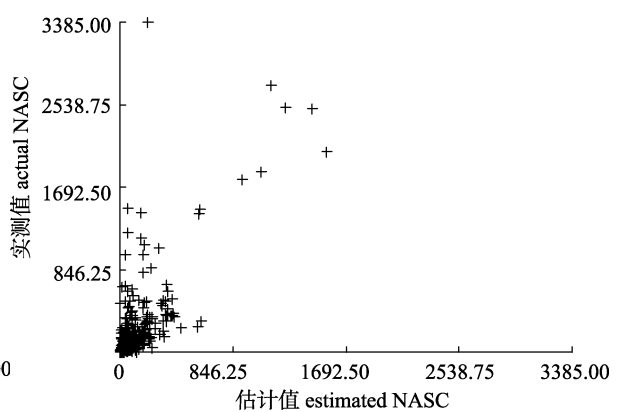


图 5 简单克里格插值交叉验证图
Fig. 5 Cross validation of SK

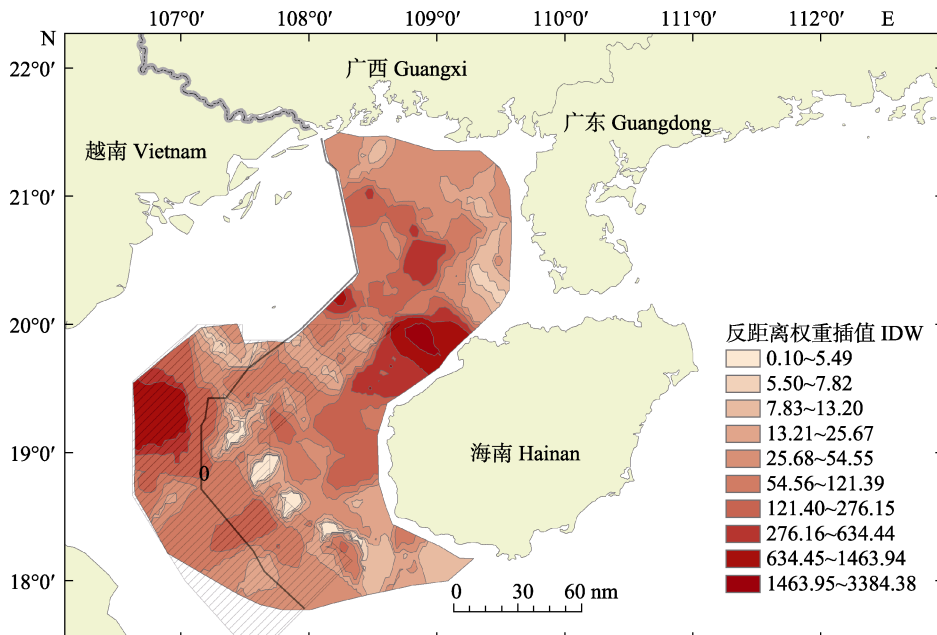


图 6 NASC 值之反距离权重插值示图
Fig. 6 Inverse distance weighted interpolation map of NASC

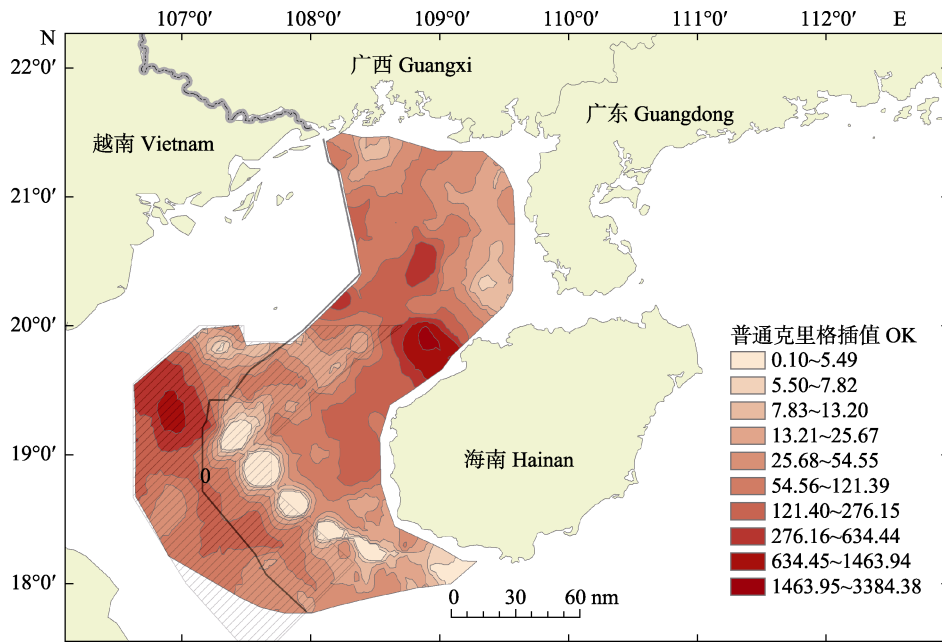


图 7 NASC 值之普通克里格插值示图
 Fig. 7 Ordinary Kriging interpolation map of NASC

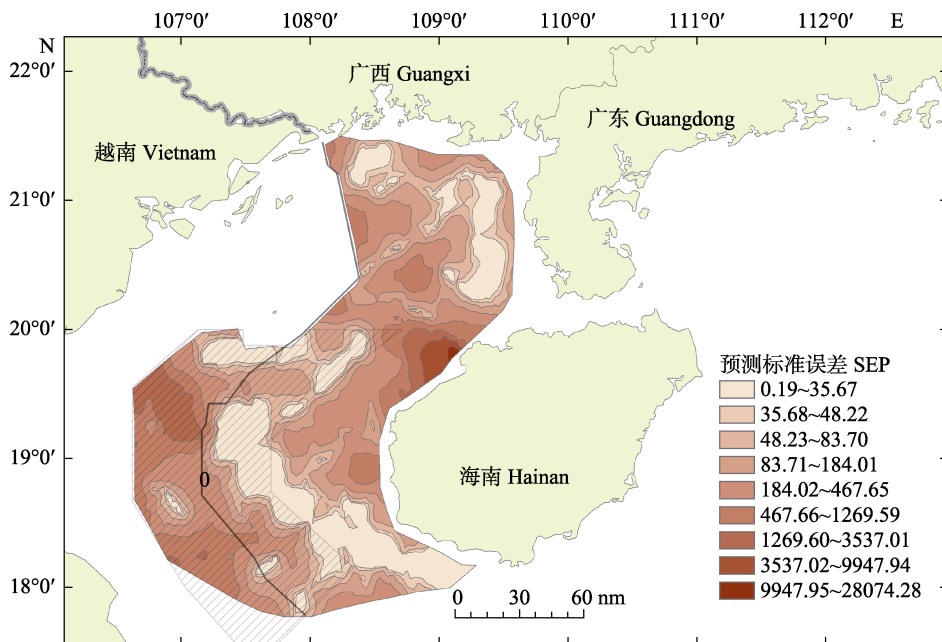


图 8 普通克里格插值的预测标准误差图
 Fig. 8 Standard error of prediction of OK

3 讨论

3.1 模型拟合优度

Keskin 等^[41]认为执行交叉验证的目的是确定插值模型的质量, 换言之, 交叉验证有助于准确地判断哪个模型提供了最佳预测。按照冯永玖等^[21]的研究方法, R^2 和 RMSE 显示的优劣顺序相似,

OK>SK>IDW, 即普通克里格插值的模型拟合优度最高, 其次是简单克里格插值, 最后是反距离权重插值, 说明在该区域进行的渔业声学调查中, 普通克里格插值具有更好的稳定性和适应性, 同时也说明克里格插值的“屏蔽效应”, 可帮助消除由于采样不均带来的误差, 有助于形成更加符

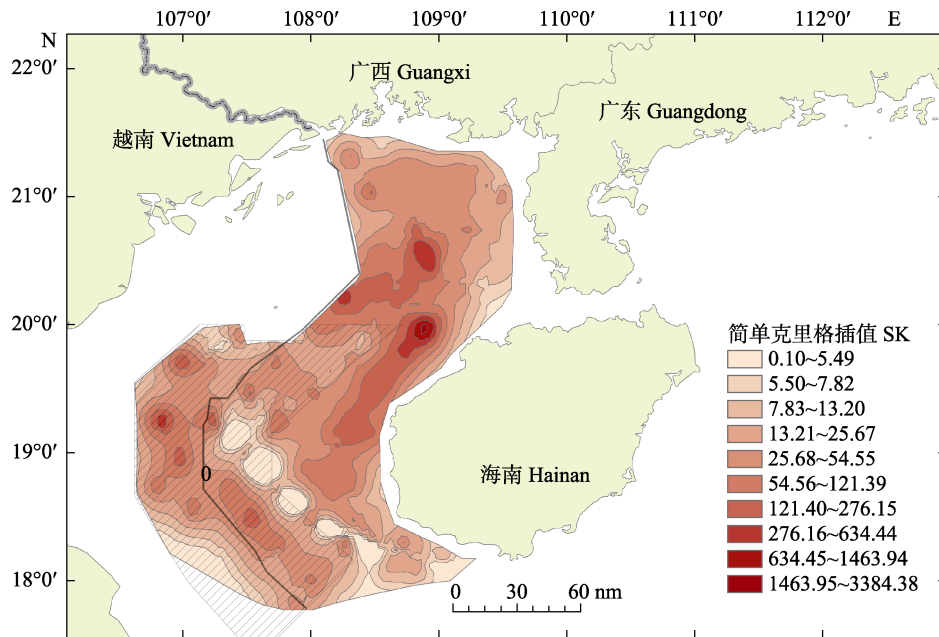


图 9 NASC 值之简单克里格插值示意图
Fig. 9 Simple Kriging interpolation map of NASC

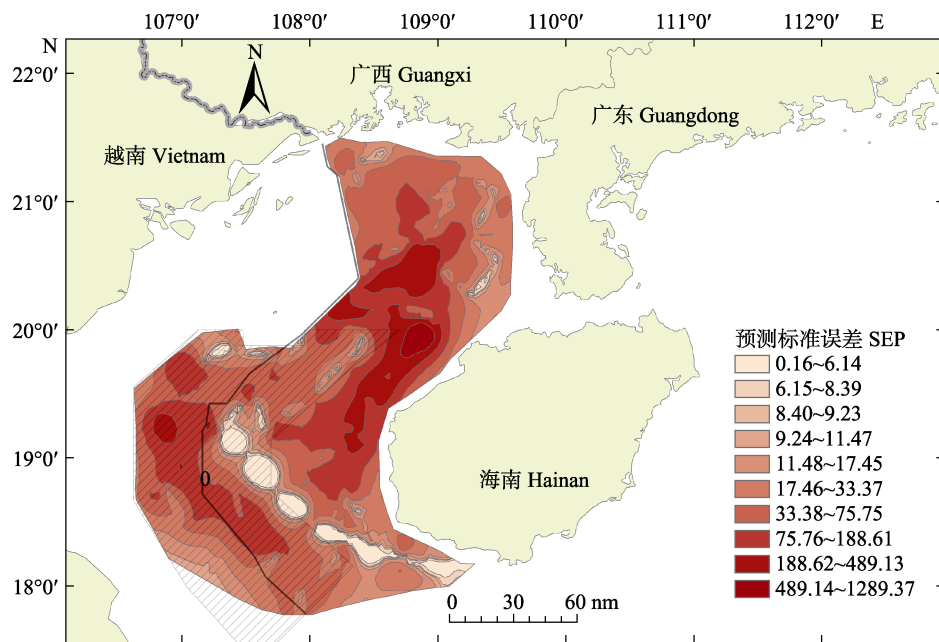


图 10 简单克里格插值的预测标准误差图
Fig. 10 Standard error of prediction of SK

合实际的插值结果。另外，按照各方法的假设前提(当假设属性值的期望值为某一已知常数时，选用简单克里格；当假设属性值的期望值是未知的，选用普通克里格)，研究中并未确定预测值的期望值，因此普通克里格更符合应用要求。

3.2 算法及插值效果比较

反距离权重插值的优点是算法简单，易于实

现^[22]。克里格插值考虑的因素较多，其先决条件要求所分析的变量服从正态分布，而且算法较为复杂，所耗时间较多。

反距离权重插值的不足是受采样点分布情况的影响较大^[23]。普通克里格和简单克里格插值法则是利用了数据间的空间相关性，根据距离远近分配权重，距离较近的权值较大，反之则小^[24]。

研究中发现, 简单克里格插值在调查海域相对普通克里格更加收敛, 减小了异常值的影响范围。原因可能是因为普通克里格插值注重局部插值, 而简单克里格更倾向于全局效果。在调查海域中, 普通克里格插值和简单克里格插值的模型拟合度相近, 而平均误差普通克里格明显小于简单克里格, 且平均误差为负值, 说明简单克里格对数据的低估程度要高于其他两种插值方法。

3.3 资源分布特征

通过3种插值对北部湾声学数据的分析及预测, 可以直观分辨出鱼类密度相对集中的区域, 分别在中东部沿岸区域、中越共同渔区中西部区域和北部远岸海域, 以及鱼类密度相对稀少的区域, 在中南部远岸海域。总体分布较均匀, 集中区域较少。后期可根据声学数据转换资源密度的公式, 进一步计算获得区域内资源量密度及资源量等信息, 并与历年数据相比较, 分析北部湾海域资源密度和资源量变化情况。

3.4 应用前景

海洋渔业资源的渔业声学调查往往受海况、温度、船速、卫星信号等因素影响, 导致探测数据的部分缺失、异常值等^[25], 这些都会影响数据结果的可信度, 并且受时间和经费的限制以及数据处理的延迟, 很难对缺失数据进行有效补充。因此, 必须对有限的数据进行最大限度的挖掘利用, 而空间插值方法正是有效手段之一。李翠平等^[26]的研究结果表明, 空间插值方法在海洋渔业资源评估领域同样也可以实现补值、构造等值面(线)、构造空间规则体数据等数据可视化效果。

当然, 空间插值方法有很多, 比如趋势面分析(trend analyst)^[27]、局部多项式插值(local polynomial interpolation)^[28]、移动平均插值法(moving average)^[29]、三角线性插值法(delaunay linear interpolation)^[30]、最近邻点插值法(nearest neighbor)^[31]、自然邻近插值法(natural neighbor)^[31-32]、最小曲率法(minimum curvature)^[33]、径向基函数插值法(radial basis function)^[34]等, 研究中采用普通克里格插值, 是因为样点数据的趋势值是一个未知常量, 而且经过对数转换后数据呈正态分布, 此时的克里格插值法是无偏估计法

中效果最好的一种方法之一。因此, 可以根据不同情况利用不同方法对数据进行挖掘分析。

4 结论

北部湾鱼类密度总体分布较均匀, 相对集中的区域较少, 分别在中东部沿岸区域、中越共同渔区中西部区域和北部远岸海域, 而在中南部远岸海域分布稀少。比较3种插值参数发现, R^2 和 RMSE 显示的优劣顺序相似, $OK > SK > IDW$, ME 显示的优劣顺序为 $OK > IDW > SK$, 说明在该区域进行的渔业声学资源密度评估中, 普通克里格插值(OK)能够更好的预测北部湾海域的资源密度分布情况。

参考文献:

- [1] Chen Z Z, Qiu Y S. Stock variation of *Parargyrops edita* Tanaka in Beibu Gulf[J]. South China Fisheries Science, 2005, 1(3): 26-31. [陈作志, 邱永松. 北部湾二长棘鲷的资源变动[J]. 南方水产科学, 2005, 1(3): 26-31.]
- [2] Zhang K, Chen Z Z, Qiu Y S. Decadal changes in growth, mortality and maturity parameters of *Ecynnus cardinalis* in Beibu Gulf[J]. South China Fisheries Science, 2016(6): 9-16. [张魁, 陈作志, 邱永松. 北部湾二长棘犁齿鲷生长、死亡和性成熟参数的年际变化[J]. 南方水产科学, 2016(6): 9-16.]
- [3] Zhang J, Chen G B, Zhang P, et al. Estimation of purpleback flying squid (*Sthenoteuthis oualaniensis*) resource in the central and southern South China Sea based on fisheries acoustics and light-falling net[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2014, 21(4): 822-831. [张俊, 陈国宝, 张鹏, 等. 基于渔业声学和灯光罩网的南海中南部鳶乌贼资源评估[J]. 中国水产科学, 2014, 21(4): 822-831.]
- [4] Keskin M, Dogru A O, Balcik F B, et al. Comparing spatial interpolation methods for mapping meteorological data in Turkey[J]. Energ Syst Manage, 2015(26): 33-42.
- [5] Ozelkan E, Bagis S, Ozelkan E C, et al. Spatial interpolation of climatic variables using land surface temperature and modified inverse distance weighting[J]. Int J Remote Sens, 2015, 36(4): 1000-1025.
- [6] Song J J, Kwon S, Lee G W. Incorporation of parameter uncertainty into spatial interpolation using Bayesian trans-Gaussian kriging[J]. Adv Atmos Sci, 2015, 32(3): 413-423.
- [7] Zhang Y, Vaze J, Chiew F H S, et al. Predicting hydrological signatures in ungauged catchments using spatial interpolation, index model, and rainfall-runoff modelling[J]. J Hydrol,

- 2014, 517(1): 936–948.
- [8] Shao H, Yang W, Xian W. Study on mine environmental quality evaluation index system and method: a case study in Panxi Hongge Vanadium-Titanium Magnetite[C]. ICISE, 2010: 2188–2192.
- [9] Chen S X, Zou B, Tang J W. Impact of spatial interpolation methods on identifying structure of heavy metal polluted soil[J]. Science of Surveying & Mapping, 2015, 40(1): 63–67. [陈思萱, 邹滨, 汤景文. 空间插值方法对土壤重金属污染格局识别的影响[J]. 测绘科学, 2015, 40(1): 63–67.]
- [10] Zhou B Q, Li X H, Han Z L, et al. Predict coal bed gas content based on spatial interpolation method[J]. Coal Technology, 2015, 34(7): 152–154. [周炳秋, 李晓华, 韩真理, 等. 基于空间插值方法预测煤层瓦斯含量[J]. 煤炭技术, 2015, 34(7): 152–154.]
- [11] Sun Mingshuai, Chen Daqing, Wang Ke, et al. Hydroacoustic surveys on temporal and spatial distribution of fishes in the section from Chenglingji to Yichang of the Yangtze River middle reaches[J]. J Appl Ichthyol, 2013, 29(6): 1459–1462.
- [12] Sun M S, Wang K, Duan X B, et al. Distribution characteristics of non-bottom fishes in the middle reaches of the Yangtze River from Chenglingji to Yichang section[J]. Freshwater Fisheries, 2013, 43(4): 45–50. [孙铭帅, 王珂, 段辛斌, 等. 长江中游城陵矶至宜昌江段非底部鱼类分布特征研究[J]. 淡水渔业, 2013, 43(4): 45–50.]
- [13] Kevin M B, Matthew P W, Charles A W. Hydroacoustics as a tool for assessing fish biomass and size distribution associated with discrete shallow water estuarine habitats in Louisiana[J]. Estu Coasts, 2007, 30(4): 607–617.
- [14] Zhang J, Chen G B, Chen Z Z, et al. Acoustic estimation of fishery resources in southern continental shelf of Nansha area[J]. South China Fisheries Science, 2015, 5(5): 1–10. [张俊, 陈国宝, 陈作志, 等. 南沙南部陆架海域渔业资源声学评估[J]. 南方水产科学, 2015, 5(5): 1–10.]
- [15] Zhang Z X, Zhou Q B. Application of the Spatial Interpolation Methods in GIS[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2015(2): 103–107. [张子昕, 周强波. 空间插值算法在GIS中的应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2015(2): 103–107.]
- [16] Buelens B, Pauly T, Higginbottom I. Echoview as a multi-beam sonar data processing and analysis toolkit for fisheries research[J]. J Acoust Soc Amer, 2003, 114(4): 2301–2301.
- [17] Harrison L M K, Cox M J, Skaret G, et al. The R package Echoview for automated processing of active acoustic data using Echoview[J]. Front Mar Sci, 2015, 2(15): 15.
- [18] Zhang J, Chen P M, Chen G B, et al. Study on background noise removal based on Echoview acoustic data post-processing system[J]. Progress In Fishery Sciences, 2014, 35(1): 9–17. [张俊, 陈丕茂, 陈国宝, 等. 基于Echoview声学数据后处理系统的背景噪声扣除方法[J]. 渔业科学进展, 2014, 35(1): 9–17.]
- [19] Zhuang L W, Wang S L. Spatial interpolation methods of daily weather data in northeast China[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2003, 14(5): 605–615. [庄立伟, 王石立. 东北地区逐日气象要素的空间插值方法应用研究[J]. 应用气象学报, 2003, 14(5): 605–615.]
- [20] Matheron G. Principles of geostatistics[J]. Econ Geol, 1963, 58(8): 1246–1266.
- [21] Feng Y J, Fang X Y, Chen X J, et al. Spatial interpolation and uncertainty of neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) resources in the Northwest Pacific Ocean[J]. Resources Science, 2015, 37(11): 2299–2308. [冯永玖, 方学燕, 陈新军, 等. 基于GIS的西北太平洋柔鱼资源空间插值及不确定性分析[J]. 资源科学, 2015, 37(11): 2299–2308.]
- [22] Lu G Y, Wong D W. An adaptive inverse-distance weighting spatial interpolation technique[J]. Comput Geosci, 2008, 34(9): 1044–1055.
- [23] Fan Y G. Application of space interpolation to drawing of precipitation isolines[J]. Advances In Science And Technology of Water Resources, 2002, 22(3): 48–50. [范银贵. 空间插值方法在绘制降水量等值线中的应用[J]. 水利水电科技进展, 2002, 22(3): 48–50.]
- [24] Knotters M, Brus D J, Voshaar J H O. A comparison of kriging, co-kriging and kriging combined with regression for spatial interpolation of horizon depth with censored observations[J]. Geoderma, 1995, 67(3–4): 227–246.
- [25] Hong G, Wu B H, Zou D P. Experimental study on acoustic characteristics of seafloor sediment on effects of temperature[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2011, 30(6): 70–73. [洪刚, 吴百海, 邹大鹏. 温度对海底沉积物声学特性影响实验研究[J]. 热带海洋学报, 2011, 30(6): 70–73.]
- [26] Li C P, Li Z X, Hu N L. Application of three systemization of geological mine engineering-oriented space interpolation methods[J]. Metal Mine, 2004(4): 56–58. [李翠平, 李仲学, 胡乃联. 面向地矿工程体系化3种空间插值方法的应用[J]. 金属矿山, 2004(4): 56–58.]
- [27] Wang H, Zuo R. A comparative study of trend surface analysis and spectrum–area multifractal model to identify geochemical anomalies[J]. J Geochem Explor, 2015, 155: 84–90.
- [28] Liu R, Chen Y, Sun C, et al. Uncertainty analysis of total phosphorus spatial–temporal variations in the Yangtze River Estuary using different interpolation methods[J]. Mar Pollut Bull, 2014, 86(1–2): 68–75.
- [29] Hoef J M V, Peterson E E. A moving average approach for

- spatial statistical models of stream networks[J]. *J Amer Statist Assn*, 2010, 105(489): 6–18.
- [30] Carter B R, Williams N L, Gray A R, et al. Locally interpolated alkalinity regression for global alkalinity estimation[J]. *Limnol Oceanogr-Methods*, 2016, 14(4): 268–277.
- [31] Zhou K. Application of the nearest neighbor method in delineation of noble metal ore: taking a layered platinum Ore in South Africa as an Example[J]. *Gold Sci Technol*, 2013, 21(3): 55–58.
- [32] Ma Y Z, Cai K J, Li Z T, et al. Modeling slope anchor reinforcement using enhanced discontinuous deformation analysis method (EDDA) with natural neighbor interpolation[J]. *Appl Mech Mater*, 2014, 638–640: 680–683.
- [33] Chiao L Y, Chen Y N, Gung Y. Constructing empirical resolution diagnostics for kriging and minimum curvature gridding[J]. *J Geophys Res-Solid Earth*, 2014, 119(5): 3939–3954.
- [34] Lian R J. Adaptive self-organizing fuzzy sliding-mode radial basis-function neural-network controller for robotic systems[J]. *IEEE Trans Ind Electron*, 2014, 61(3): 1493–1503.

Application of a spatial interpolation method for the assessment of fishery resources in the Beibu Gulf

SUN Mingshuai¹, CHEN Zuozhi¹, CAI Yancong², ZHANG Jun¹, SUN Zhiwei²

1. Key Laboratory of South China Sea Fishery Resources Exploitation & Utilization, Ministry of Agriculture, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China;
2. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China

Abstract: As one of the most important inshore fishery waters, the Beibu Gulf, is attracting increasing attention with regard to the density of fishery resources and resource changes. The fishery acoustic technology is increasingly being applied for fishery resource assessment, because of its advantages such as rapid, continuous, greater sampling rate, and rich spatio-temporal data. Nonetheless, this technology is influenced by some factors such as weather, sea conditions, and survey route; hence, the echo data is unreliable. In order to overcome the possible defects that exist in the sampling process, and to obtain a more reasonable density distribution of fishery resources, we combined the spatial interpolation methods with the fishery acoustic technology. We conducted a preliminary analysis of the Beibu Gulf fishery acoustic survey data obtained during July to August of 2014 by using Echoview (a fishery acoustic survey data processing system, Version 6.1). Next, Inverse Distance Weighted (IDW), Ordinary Kriging (OK), and Simple Kriging (SK) were applied to analyze the actual data after logarithmic transformation of the practical detection data, in order to obtain normally distributed data. By calculating and comparing the determination coefficients (R^2), mean error (ME), and root mean square error (RMSE) of the three interpolation models (IDW, OK, and SK), we selected the optimal interpolation model fitting the fishery acoustic survey on the Beibu Gulf. The results showed that the distribution of fish density was relatively uniform, which indicated relatively less concentrated distribution in the survey area. Further, fish were mainly concentrated in the mideast coastal area and the midwestern region of the common fishing zone. In contrast, the distribution of fish in the south-central offshore waters was rare. By comparing the three interpolation parameters, we found that R^2 and RMSE showed a good precedence similarity in the following order: OK>SK>IDW. In contrast, ME showed the order of OK>IDW>SK. Our findings suggest that OK could be a better predictor of resource density distribution of the Beibu Gulf waters for the evaluation of fishery acoustic resource density of the area and is useful for potential application in the combination analysis of fishery acoustic technology and spatial interpolation.

Key words: Kriging interpolation; Beibu Gulf; determination coefficients; fishery resources

Corresponding author: CHEN Zuozhi. E-mail: zzchen2000@163.com