

拖网对海底环境压力评价方法分析

张胜茂 (中国水产科学研究院东海水产研究所, 农业部东海渔业资源开发利用重点实验室, 上海 200090)

摘要 底拖网捕捞是最有效的捕捞作业方式之一, 但一些学者和渔业管理人员已经观察到其对海底环境影响的严重性和持久性。声纳、视频、遥感、渔船监控系统等技术可以应用于拖网对海底环境压力评价, 声纳与视频辅助可以从微观角度评价拖网对海底沉积物影响, 遥感影像可以用拖网轨迹宽度、长度量化评价, 渔船监控系统可以用累计距离、累计功率距离等参数量化评价。声纳与视频适合小范围, 遥感适合大范围评价, 但两者在水体浑浊的情况下都不适用, 渔船监控系统时空分辨率都较高, 可以很好地应用于拖网对海底环境压力评价。

关键词 捕捞学; 底拖网; 环境压力; 渔船监控系统

中图分类号 X 834; S 975 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2019)20-0057-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.20.016



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Analysis of Environment Pressure Assessment Method for Bottom Trawling

ZHANG Sheng-mao (Key Laboratory of East China Sea Fishery Resources Exploitation, Ministry of Agriculture, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090)

Abstract Bottom trawling is one of the most effective fishing methods. But some scholars and fishery managers have observed the seriousness and persistence of its impact on the seabed environment. Sonar, video, remote sensing, fishing vessel monitoring system and other technologies can be used to evaluate the bottom environmental pressure of trawl. Sonar and video can be used to evaluate the impact of trawl on the bottom sediment from a microscopic perspective. Width and length of trawl trajectory can be quantitatively used to evaluate the affection by remote sensing images. Accumulated distance and accumulated power distance can be used to evaluate the affection by fishing vessel monitoring system. Sonar and video are suitable for small area. Remote sensing is suitable for large area evaluation. But both of them are not applicable in the case of turbid water. The space-time resolution of fishing vessel monitoring system is high, which can be well applied to the evaluation of bottom environmental pressure by trawl.

Key words Fishing science; Bottom trawling; Environment pressure; Vessel monitoring system

20 世纪 90 年代后, 随着国际渔业管理的加强, 渔业活动监控和管制已成为保护海洋渔业资源的必要组成部分^[1]。国际上, 渔船监控管理技术以 GPS(global positioning system) 实时监控为主, 辅以 SAR(synthetic aperture radar) 遥感和光学遥感影像的渔船分布监控, 并结合具体应用, 构建了许多实用的渔船监控系统(vessel monitoring system, VMS)^[2]。船位监控系统最初是为了渔船管理和渔船安全^[3-5], 同时也为渔业科学研究提供了一种新的数据来源。1996 年欧盟要求欧洲所有长度大于 24 m 的渔船强制安装 VMS, 到 2012 年, VMS 的强制安装范围扩大到了所有长度大于 12 m 的渔船, 美国、澳大利亚、新西兰等渔业国家都相继应用 VMS^[6], 许多发展中国家与地区也建立了类似的监控系统。中国 2006 年开始基于北斗卫星导航系统, 在海南构建北斗渔船船位监控系统^[7], 我国近海渔船已安装北斗终端约 6 万艘^[8]。VMS 数据记录了渔船实时的船位、航速、航向、转向率等动态信息, 已被广泛应用于渔船状态识别、捕捞努力量估算、渔民行为分析、渔场判别、捕捞追溯等^[9]。

VMS 渔船监控具有覆盖广、可靠性高、实时性强、可全天候工作等特点, 在强化渔业管理、保障渔船航行作业安全、履行相关国际义务等方面发挥了重要作用。基于卫星遥感技术的渔船监控能够较准确获取渔船时空分布信息, 虽不具有

全球卫星导航系统对渔船实时监控的功能, 但对于进行事后的渔业捕捞生产评估、渔业资源管理、渔船生产效果评价等仍具有一定的科学价值和应用意义。

1 拖网作业对海底环境的影响

拖网是目前海洋渔业生产中效益最高的渔具, 也是对环境破坏较大的一种渔具, 在全球各地均有使用。拖网的网板犁刹、沉纲刮割、网囊拖抹, 引起环境破坏^[10]。拖网会扰动海底的底泥等物质, 使沉积物悬浮造成水质混浊、引起水体污染^[11-12]; 拖网拖曳过程出现“犁地填沟”现象, 海洋大陆斜坡上的峡谷皱褶被扫平, 平滑的泥沙被犁出沟壑^[13]; 有学者在西班牙沿海进行调查时发现, 一些地方海底环境与自然状态相比有很大差异, 海底表面平滑的泥沙经拖网拖曳产生许多沟壑。拖网长期拖曳渔场, 不仅危及生物的生存和繁殖, 而且严重破坏了海洋生境和生态平衡^[14-16], 不加强管理与保护, 海底将形成“海底沙漠”; 拖网渔船所过之处的几百米范围内, 也会对海底管线、电缆及其他水下结构物^[17]造成严重的威胁或损害。在捞走大量鱼虾的同时, 还把海洋生物赖以生存的海底家园“犁”了一遍, 剩下的海洋生物会更难生存。美国地球资源卫星对 1999 年墨西哥湾拍摄的遥感影像显示, 每个长条沉积物痕迹末端的白点都是独立的渔船, 拖网捕捞使海底沉积物产生密集的划痕^[18], 对底层鱼类栖息地造成巨大破坏^[19]。

鉴于海底拖网捕鱼作业对生态系统的影响, 许多国家和地区都对这一作业方式进行了限制。如为了恢复海洋渔业资源量, 维持海岸渔民的生活, 美国海洋大气局宣布减少拖网过度捕鱼和保护必要的鱼类生境。为了维护 and 合理利用

基金项目 上海市自然科学基金项目(17ZR1439800); 国家自然科学基金项目(31772899); 中国水产科学研究院基本科研业务费项目(2019CY0402)。

作者简介 张胜茂(1976—), 男, 河北沧州人, 副研究员, 博士, 从事渔业数据挖掘、遥感与地理信息研究。

收稿日期 2019-04-12; **修回日期** 2019-06-18

沿海渔业资源,加强渔场管理,中共中央国务院早在 1955 年就划定了渤海、黄海及东海机轮拖网渔业禁渔区。

2 拖网海底环境影响评价

2.1 声纳与视频辅助拖网海底影响评价 局部、小范围的拖网海底量化影响可以通过侧扫声纳和 underwater 视频评估^[20],侧扫声纳能在 2~3 knot 速度下,获取幅宽 200 m、分辨率 20 cm 的数据,水下视频能在 1 knot 速度下,获取 1~2 m 幅宽、分辨率 1~2 cm 数据,使用该方法在伊拉克利翁湾区 200 m 水深分析拖网对粉质黏土沉积物的影响。在英国东部海域约 28 km×12 km 面积,使用侧扫声纳与传统生物抽样方法相结

合,映射拖网作业范围内海底栖息地和相关的底栖生物群落的分布,每个声区内基底的分布一般是均匀的,沉积物类型从卵石、粗砾石到泥沙变化^[21]。

2.2 遥感数据辅助拖网海底影响评价 资源卫星可以观测到拖网作业产生的轨迹^[22],从而推算出轨迹宽度、长度等信息,多个国家都在使用拖网作业(图 1),如瓜亚斯厄瓜多尔(图 1A)、美国路易斯安那州(图 1B、C)、菲律宾吕宋岛(图 1D)、墨西哥索诺拉、马来西亚等,借助遥感图像可以揭示拖网对海底沉积物的影响规模。

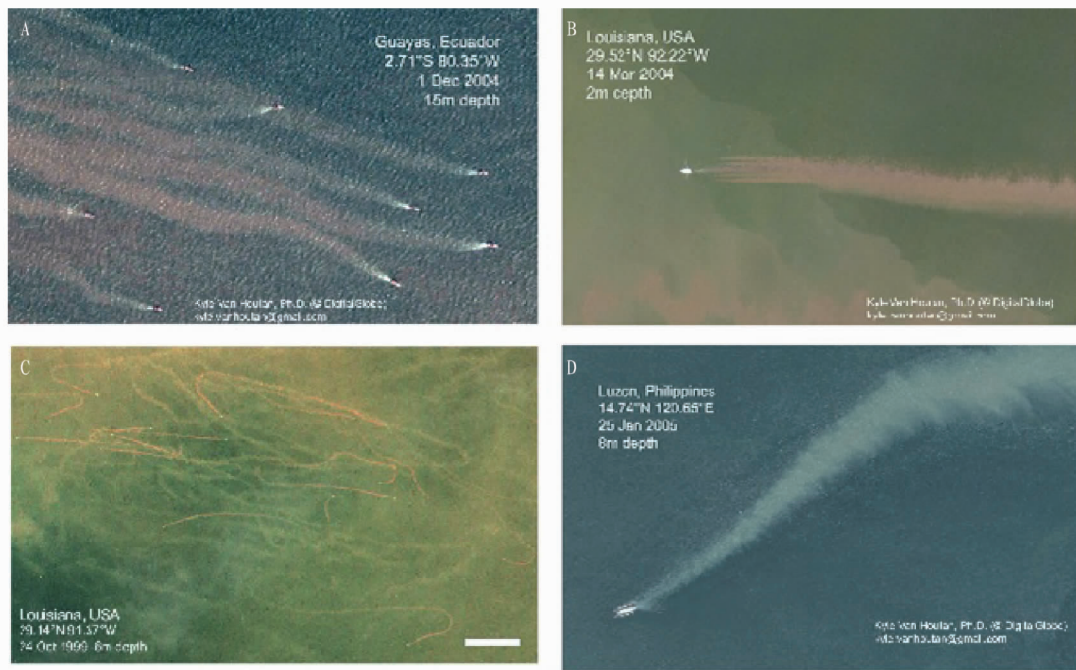


图 1 底拖网海底遥感影像^[18,22]

Fig.1 Remote sensing image of bottom trawl on seabed

2.3 VMS 辅助拖网海底影响评价 利用 VMS 数据评估拖网渔业活动对海洋环境影响的研究较多,如通过对 VMS 数据进行挖掘,估算英国马恩岛扇贝底拖网船捕捞强度的分布状况,量化分析了拖网捕捞对海洋底栖环境的影响^[23]。网格化计算爱尔兰凯尔特海底拖网渔船的捕捞强度,探讨高时空分辨率下底拖网捕捞对海洋环境的影响^[24]。计算爱尔兰坎布里亚海岸挪威拖网渔船的拖网次数和拖拽范围,并与实地海底采样相结合,分析了底拖网对海洋底栖环境、资源丰度以及生物多样性的深刻影响^[25]。在英格兰和威尔士海借助 VMS 数据,分析出 2007 年拖网海底影响强度为 0.000 2~30 (即 1 km² 的格网内每年可能已被捕捞到 30 次)^[26]。国外大部分 VMS 数据时间间隔 0.5~2 h,通过线性插值方法重构渔船轨迹^[27-28],提高分析精度。

3 基于北斗船载终端的渔船作业监测

中国东黄海拖网捕捞渔船最多,主要分布在专属经济区内(图 2),黄海是一个近似南北向的半封闭浅海,西北以辽东半岛南端老铁山角与山东半岛北岸蓬莱角连线为界,南以中国长江口北岸启东嘴与济州岛西南角连线为界,与东海相

连,平均深度 44 m^[29-30];东海北与黄海相连,南以广东南澳岛与台湾岛南端的鹅銮鼻连线为界,与南海相连,平均深度 370 m^[30-31]。黄海海底辐射沙脊群规模庞大、形状奇特,构成了一种独特的地貌形态^[32]。东海陆坡广泛发育海底峡谷—扇体系的沉积地层结构^[33],东海中南部海底分布着广泛的脊槽状地形,被冰后期陆架席状砂所覆盖^[34],海底沉积物分布有中砂、细砂、粉砂、粉土、淤泥质黏土、淤泥 6 种岩性,均属全新世浅海相松散沉积物,以粉砂为主,表层土属现代沉积,抗剪强度小^[35],在受到拖网拖曳网具扰动时,极易改变海底环境。

据《中国渔业统计年鉴》,2016 年国内海洋捕捞拖网渔船 34 141 艘,总计功率 65.9×10⁴ kW,虽然拖网渔船数量只占 19%,但总计功率占 55%^[36],其中 60% 以上的拖网船分布在东海和黄海。拖网渔船吨位、功率都比较大,船上硬件基础好,因此安装北斗终端的渔船 80% 以上是拖网渔船。北斗卫星导航系统 2012 年 12 月就完成了亚太区域组网,系统定位精度水平 10 m、高程 10 m、测速精度 0.2 m/s,很好地覆盖了东黄海。中国东黄海拖网作业渔船多,对于砂质沉积的海底

环境影响大,北斗 VMS 在中国应用时间短^[37],基于船位的海底环境影响研究鲜见,北斗船位数据时间分辨率 3 min,拖网捕捞状态一般持续几个小时^[38],按照奈奎斯特采样定理(一般实际应用中保证采样频率为信号最高频率的 5~10 倍)可以满足信息提取的需要。北斗船位数据与国外数据相比时间分辨率更高,如利用北斗数据在没有插值处理的情况下,提取到象山渔船在近海拖网累计捕捞时间与捕捞努力量

(kW·h)^[39]。张胜茂等^[40]利用象山港 1 403 只拖网渔船 VMS 数据对 2013 年的拖网作业进行分析,采用累计距离、累计功率距离和拖网强度作为反映黄海和东海拖网作业影响的评价指标,这 3 个指标在黄海和东海中具有相似的模式,表明靠近港口的渔场具有较高的捕捞努力量,整个渔区海底平均被拖网 0.73 次,51.38%的渔场没有捕捞活动。

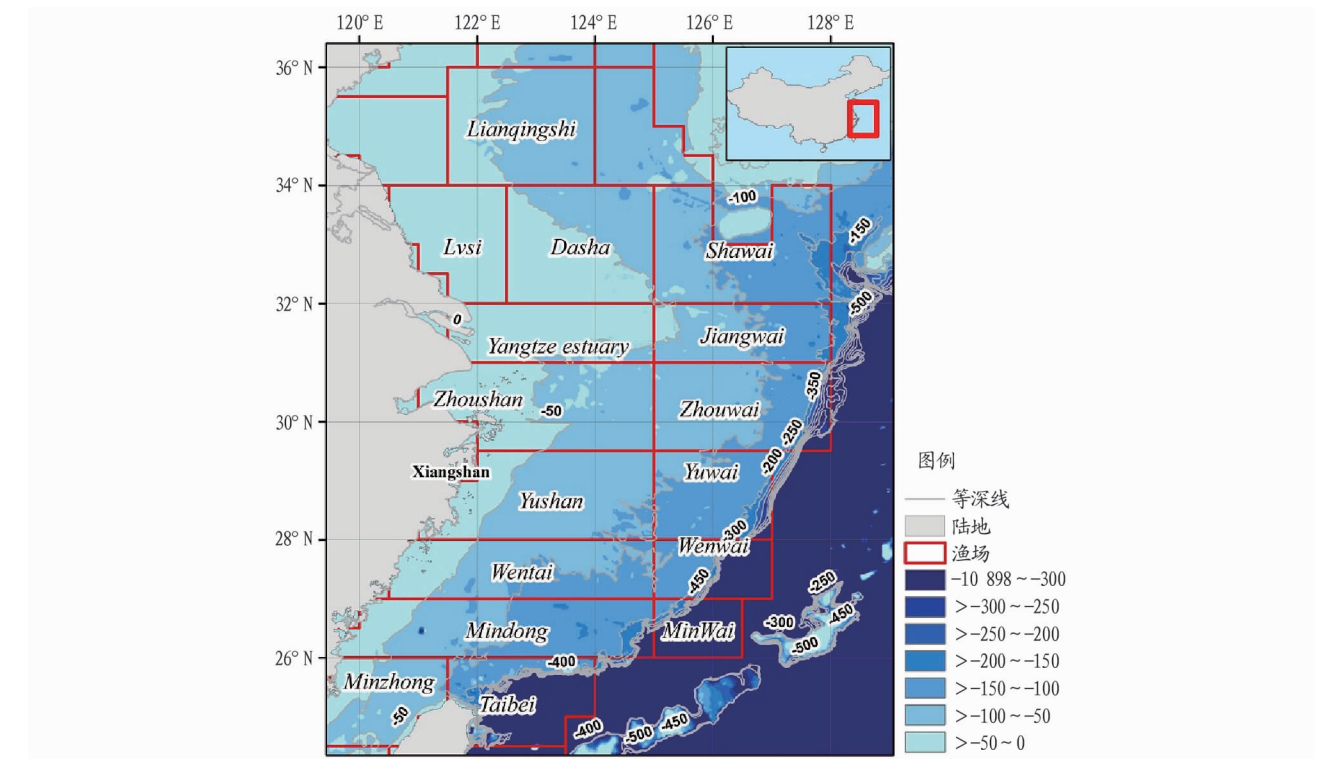


图 2 东黄海水底深度
Fig.2 Ocean depth in the Yellow Sea and East China Sea

4 结语

声纳与视频辅助评价方式适合小区域的量化分析,重复调查的时间周期长,在水体较浑浊的情况下视频方式不能使用。遥感数据辅助评价方式与声纳视频辅助评价方式相比适用范围较大,但在水体浑浊或水较深的情况下不能获取到海底影像,在有云的情况下也不能获取到影像,数据获取周期一般 2 d 以上。VMS 辅助评价方式,时间频率与 VMS 采样频率有关,空间频率与定位精度有关,北斗船位数据时间分辨率 3 min,空间分辨率 10 m,因此北斗船位数据辅助拖网海底影响量化评价,理论上也可以达到较高的分辨率。

参考文献

[1] ALLISON E H, ELLIS F. The livelihoods approach and management of small-scale fisheries[J]. Marine policy, 2001, 25(5): 377-388.

[2] KOURTI N, SHEPHERD I, GREIDANUS H, et al. Integrating remote sensing in fisheries control [J]. Fisheries management and ecology, 2005, 12 (5): 295-307.

[3] SHIH Y, CHOU C L, CHIAU W. Maritime safety for fishing boat operations and avoidable hijacking in Taiwan [J]. Marine policy, 2010, 34 (2): 349-351.

[4] 徐硕,王宇,王振洲.渔船身份识别系统在海洋渔船管理中的应用[J]. 渔业现代化, 2014(2): 63-66.

[5] 朱晖,裴兆斌.辽宁省渔船管理立法对策研究[J]. 海洋开发与管理, 2015 (4): 59-65.

[6] 曹世娟,黄硕琳,郭文路.我国渔业管理运用渔船监控系统的探讨[J]. 上海水产大学学报, 2002, 11(1): 89-93.

[7] 居礼.北斗卫星导航系统在海洋渔业的应用[J]. 卫星与网络, 2013(3): 16-22.

[8] 张胜茂,樊伟,张衡,等.基于北斗船位数据的海南省渔船航次动态监测与分析[J]. 南方水产科学, 2018, 14(5): 1-10.

[9] 张胜茂,唐峰华,靳少非,等.基于北斗卫星数据的拖网渔船状态与网次提取[J]. 渔业信息与战略, 2015(3): 205-211.

[10] PALANQUES A, PUIG P, GUILLÉN J, et al. Effects of bottom trawling on the Ebro continental shelf sedimentary system (NW Mediterranean) [J]. Continental shelf research, 2014, 72: 83-98.

[11] MARTÍN J, PUIG P, PALANQUES A, et al. Trawling-induced daily sediment resuspension in the flank of a Mediterranean submarine canyon [J]. Deep sea research part II: Topical studies in oceanography, 2014, 104: 174-183.

[12] PUIG P, CANALS M, COMPANY J B, et al. Ploughing the deep sea floor [J]. Nature, 2012, 489(7415): 286-289.

[13] JONES J B. Environmental impact of trawling on the seabed: A review [J]. New Zealand journal of marine and freshwater research, 1992, 26(1): 59-67.

[14] MUNTADAS A, SILVIA D J, DEMESTRE M. Integrating the provision of ecosystem services and trawl fisheries for the management of the marine environment [J]. Science of the total environment, 2015, 506: 594-603.

[15] JOHNSON A F, GORELLI G, JENKINS S R, et al. Effects of bottom trawling on fish foraging and feeding [J]. Proceedings of the royal society of London B: Biological sciences, 2015, 282(1799): 1-10.

[16] MUNTADAS A, DEMESTRE M, DEJUAN S, et al. Trawling disturbance on benthic ecosystems and consequences on commercial species: A north-

- western Mediterranean case study[J]. *Scientia marina*, 2014, 78(S1): 53–65.
- [17] KRUMHOLZ J S, BRENNAN M L. Fishing for common ground: Investigations of the impact of trawling on ancient shipwreck sites uncovers a potential for management synergy[J]. *Marine policy*, 2015, 61: 127–133.
 - [18] JACQUOT J E. Trails of destruction: The impact of bottom trawling as seen from space[Z]. 2008.
 - [19] BOARD O S. Effects of trawling and dredging on seafloor habitat[M]. Washington, DC: National Academies Press, 2002.
 - [20] SMITH C J, BANKS A C, PAPADOPOULOU K N. Improving the quantitative estimation of trawling impacts from sidescan-sonar and underwater-video imagery[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2007, 64(9): 1692–1701.
 - [21] BROWN C J, COOPER K M, MEADOWS W J, et al. Small-scale mapping of sea-bed assemblages in the eastern English Channel using sidescan sonar and remote sampling techniques[J]. *Estuarine coastal & shelf science*, 2002, 54(2): 263–278.
 - [22] JUAN S D, DEMESTRE M A. Trawl Disturbance Indicator to quantify large scale fishing impact on benthic ecosystems[J]. *Ecological indicators*, 2012, 18: 183–190.
 - [23] LAMBERT G I, JENNINGS S, HIDDINK J G, et al. Implications of using alternative methods of vessel monitoring system(VMS) data analysis to describe fishing activities and impacts[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2012, 69(4): 682–693.
 - [24] GERRITSEN H D, MINTO C, LORDAN C. How much of the seabed is impacted by mobile fishing gear? Absolute estimates from Vessel Monitoring System(VMS) point data[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2013, 70(3): 523–531.
 - [25] HINZ H, PRIETO V, KAISER M J. Trawl disturbance on benthic communities: Chronic effects and experimental predictions[J]. *Ecological applications*, 2009, 19(3): 761–773.
 - [26] FODEN J, ROGERS S I, JONES A P. Recovery of UK seabed habitats from benthic fishing and aggregate extraction-towards a cumulative impact assessment[J]. *Marine ecology progress series*, 2010, 411: 259–270.
 - [27] STELZENMULLER V, ROGERS S I, MILLS C M. Spatio-temporal patterns of fishing pressure on UK marine landscapes, and their implications for spatial planning and management[J]. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil*, 2008, 65(6): 1081–1091.
 - [28] HINTZEN N T, PIET G J, BRUNEL T. Improved estimation of trawling tracks using cubic Hermite spline interpolation of position registration data[J]. *Fisheries research*, 2010, 101(1): 108–115.
 - [29] MASK A C, O' BRIEN J J, PRELLER R. Wind-driven effects on the Yellow Sea Warm Current[J]. *Journal of geophysical research*, 1998, 103(C13): 30713–30729.
 - [30] ZHANG G, ZHANG J, LIU S. Characterization of nutrients in the atmospheric wet and dry deposition observed at the two monitoring sites over Yellow Sea and East China Sea[J]. *Journal of atmospheric chemistry*, 2007, 57(1): 41–57.
 - [31] CHEN C A. Chemical and physical fronts in the Bohai, Yellow and East China seas[J]. *Journal of marine systems*, 2009, 78(3): 394–410.
 - [32] 张东生, 张君伦, 张长宽, 等. 潮流塑造—风暴破坏—潮流恢复——试释黄海海底辐射沙脊群形成演变的动力机制[J]. *中国科学(D辑: 地球科学)*, 1998, 28(5): 394–402.
 - [33] 赵月霞, 刘保华, 李西双, 等. 东海陆坡海底峡谷—扇体系沉积特征及物质搬运[J]. *古地理学报*, 2011, 13(1): 119–126.
 - [34] 杨文达. 东海海底沙脊的结构及沉积环境[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2002, 22(1): 9–16.
 - [35] 李萍, 李培英, 刘乐军, 等. 东海油气资源区海底沉积物的工程地质特征[J]. *海洋科学进展*, 2002, 20(4): 27–33.
 - [36] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 2017 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2017.
 - [37] 郭刚刚, 樊伟, 张胜茂, 等. 船位监控系统数据挖掘与应用研究进展[J]. *海洋渔业*, 2016, 38(2): 217–224.
 - [38] 张胜茂, 杨胜龙, 戴阳, 等. 北斗船位数据提取拖网捕捞努力量算法研究[J]. *水产学报*, 2014, 38(8): 1190–1199.
 - [39] 张胜茂, 崔晋森, 伍玉梅, 等. 基于北斗卫星船位数据分析象山拖网捕捞时空特征[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(7): 151–156.
 - [40] ZHANG S M, JIN S F, ZHANG H, et al. Distribution of bottom trawling effort in the Yellow Sea and East China Sea[J/OL]. *PLoS One*, 2016–11–17[2019-02-05]. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166640>.

(上接第 56 页)

会深入调查诸城市的耕作方式、地形地貌、气候条件等与诸城市土壤养分含量以及空间分布之间的关系, 在插值方法上继续做出改进, 研究对比克里金插值与反距离权重插值对于诸城市土壤养分插值效果异同, 可以将两种方法结合应用, 进一步分析诸城市土壤养分的时空异质性, 为诸城市提出经济可靠的施肥建议, 进而改善诸城市土壤状况。

4 结论

通过对诸城市土壤养分的研究, 得出以下结论:

(1) 诸城市土壤以酸性土为主。造成土壤酸化的原因可能是大量使用化学肥料所致^[14]。政府需要因地制宜, 种植花生、马铃薯、西瓜等喜欢酸性土壤的作物, 也可以采取适量措施如使用石灰中和土壤中的酸性, 不可盲目施肥, 导致大量化肥残留在土壤中积累。

(2) 诸城市土壤有机质含量处于中等偏低水平, 政府需要加以重视并采取适当措施增加土壤中有机质含量。

(3) 诸城市土壤碱解氮含量处于丰富水平。

(4) 诸城市土壤有效磷含量极为丰富。

(5) 诸城市土壤速效钾含量处于丰富水平。

参考文献

- [1] 王康振, 胡明, 范逸飞, 等. 大荔县农业土壤养分丰缺评价与分析[J]. *中国农学通报*, 2018, 34(29): 64–68.
- [2] 高玉蓉, 许红, 周斌. 稻田土壤养分的空间变异性研究[J]. *土壤通报*, 2005, 36(6): 822–825.

- [3] 张艳玲, 尹启生, 李进平, 等. 环神农架地区植烟土壤养分分析与丰缺状况评价[J]. *烟草科技*, 2010(1): 60–64.
- [4] 高琳, 陈晓远, 林昌华, 等. 基于 ArcGIS 韶关市香芋土壤养分空间变异特征研究[J]. *西南农业学报*, 2018, 31(5): 1025–1031.
- [5] 刘建玲, 李仁岗, 廖文华, 等. 河北粮田和菜地土壤大、中、微量元素肥力研究[J]. *土壤学报*, 2009, 46(4): 652–661.
- [6] 王永豪, 王昌全, 李启权, 等. 川北烟区土壤有效磷空间变异特征及主控因素[J]. *核农学报*, 2016, 30(12): 2425–2433.
- [7] 郭旭东, 傅伯杰, 马克明, 等. 基于 GIS 和地统计学的土壤养分空间变异特征研究: 以河北省遵化市为例[J]. *应用生态学报*, 2000, 11(4): 557–563.
- [8] 魏翔, 张薇, 张德刚, 等. 云南省河口县植蕉土壤基本养分状况分析[J]. *北方园艺*, 2010(24): 174–176.
- [9] 秦仕亿, 喻阳华, 邢容容, 等. 黔西北地区优势树种根区土壤养分特征[J]. *森林与环境学报*, 2019, 39(2): 135–142.
- [10] 刘淑云, 王丽丽, 张晓艳. 山东诸城不同类型土壤养分变化趋势及其与小麦产量关系的模拟研究[J]. *山东农业科学*, 2014, 46(5): 77–81.
- [11] 王秀, 苗孝可, 孟志军, 等. 插值方法对 GIS 土壤养分插值结果的影响[J]. *土壤通报*, 2005, 36(6): 826–830.
- [12] 李晓晖, 袁峰, 贾蔡, 等. 基于反距离加权法和克里格插值的 S-A 多重分形滤波对比研究[J]. *测绘科学*, 2012, 37(3): 87–89, 46.
- [13] 陆欣, 谢英荷. 土壤肥科学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2002: 350.
- [14] 曹舰艇, 杨红, 彭艳, 等. 藏东南不同种植年限蔬菜大棚土壤 PH 及养分的变化特征[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2019, 47(8): 1–9.
- [15] 张超, 刘国彬, 薛蕙, 等. 黄土丘陵区撂荒农耕地土壤有效态微量元素演变特征[J]. *中国农业科学*, 2013, 46(18): 3809–3817.
- [16] 罗新宁, 朱友娟, 张宏勇, 等. 塔里木绿洲种植制度对棉田土壤养分性状的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2012, 30(3): 114–118.
- [17] 高琳. 广东乐昌市香芋产区土壤养分特征与香芋品质的相关性[J]. *贵州农业科学*, 2014, 42(8): 179–181.
- [18] 刘沛松, 王健胜, 楚纯洁, 等. 豫西低山丘陵区不同土地利用方式对陡坡地土壤理化性状的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2014, 32(1): 208–212.