

基于水声学的太湖贡湖湾沉水植物盖度调查

吴东浩, 王 玉, 徐兆安

(太湖流域水文水资源监测中心, 江苏无锡 214024)

摘 要:沉水植物是湖泊生态系统的重要组成部分,掌握贡湖湾沉水植物分布及变化对于科学评估贡湖湾水生态状况具有重要意义。应用 DT-X 多功能回声探测仪开展了贡湖湾沉水植物盖度调查,并将调查结果重点与遥感解析结果进行了对比。结果表明,1m 和 10m 断面的仪器检测结果和人工调查结果差异较小,应用水声学技术开展沉水植物盖度调查简单、高效且精度更高,可以填补现有沉水植物调查方法的空白。

关键词:水声学;沉水植物;盖度;调查;贡湖湾

中图分类号:X171

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2016)04-0044-04

沉水植物是湖泊生态系统的重要组成部分,其分布、组成及变化可以科学反映特定水域的水生态状况,一直是湖泊富营养化治理重点关注的指标^[1];另外,沉水植物在抑制底泥再悬浮和蓝藻水华方面具有重要作用^[2-3],太湖的集中式饮用水源地也基本都位于沉水植物丰富的水域。人工样方调查和卫星遥感监测是沉水植物调查的两种主要方法^[4-5],但人工样方调查方法随机性较强,精度较差;卫星遥感方法分辨率较低,水草稀疏分布的水域精度较差。探索新的沉水植物调查方法对于弥补现有方法的不足具有重要意义。

水声学方法用于鱼类资源调查至今已有近百年的历史,陶江平应用水声学调查了三峡水库成库期间的鱼类的时空分布特点^[6]。近年来,该技术在沉水植物调查方面也得到广泛应用。Sabot^[7]和 Winfield^[8]分别应用该技术对浅水湖泊中的沉水植物进行了调查,取得了良好的效果;根据《欧盟水框架指令》的要求,Paul 应用回声探测技术对奥地利的 Lake Weissensee、Lake Zellersee 等水体的水生植物进行了调查^[9]。诸邈莹等应用 DT-X 多功能回声探测仪对浙江舟山枸杞岛附近的底栖海藻分布状况进行了调查,研究探索了高效评估底栖海藻资源量的新方法^[10]。但国内尚未见应用回声探测技术开展浅水湖泊沉水植物调查研究的相关报道。

贡湖湾是引江济太的直接受水区,每年约有 $10 \times 10^8 \text{ m}^3$

的长江水通过望虞河进入贡湖湾^[11]。掌握贡湖湾沉水植物分布及变化,对科学评估贡湖湾水生态状况具有重要意义。2015 年 8 月,应用水声学技术对贡湖湾沉水植物盖度进行了调查,并重点对比分析了与遥感解析结果之间的差异,以期完善沉水植物盖度调查方法。

1 研究水体与研究方法

1.1 研究水体

太湖是我国第三大淡水湖,面积 $2\,338 \text{ km}^2$,平均水深 1.89m,是太湖流域水资源调度的中心。贡湖湾是太湖的一个湖湾,位于太湖的北部,面积 164 km^2 。贡湖湾的沉水植物分布呈现明显的空间差异性,沉水植物主要分布在南部水域,北部水域几乎无沉水植物分布^[12]。

1.2 水声学调查

为得到贡湖湾沉水植物最大分布面积及盖度,调查在 2015 年 8 月底进行。沉水植物水声学探测使用的仪器为 Biosonics DT-X 型回声探测仪(9.3° 分裂波束数字换能器,工作频率为 420kHz)。借鉴 ADCP 测流经验,在三体船的基础上改进拖体,避免了调查过程中可能发生的水草缠绕问题。使用渔船进行走航调查,将换能器固定于改进后的拖体,入水 0.15m,进行垂直探测,探测航速约为 5km/h。

采用平行断面法调查贡湖湾的沉水植物分布状

收稿日期:2015-10-01

基金项目:水利部引进国际先进水利科学技术计划项目(“948”项目,No.201417)

作者简介:吴东浩(1987-),男,江苏宿迁人,工程师,主要从事水生态监测与评价工作。E-mail:wudonghao@126.com

况,野外走航线路按照室内基于 Google 地图绘制的航线进行。在贡湖湾的南部水域及水草边际线附近水域断面间的间距较小,其它水域间距较大(图 1),利用 Garmin Oregon 450 导航仪进行野外调查航线导航。本次调查一共走航 160km,按照 Aglen 覆盖率公式计算水声学调查的覆盖率,本次调查覆盖率为 12.5,远超出 Aglen 提出的覆盖率在 6 以上的标准^[13-14],保证了调查结果的代表性。

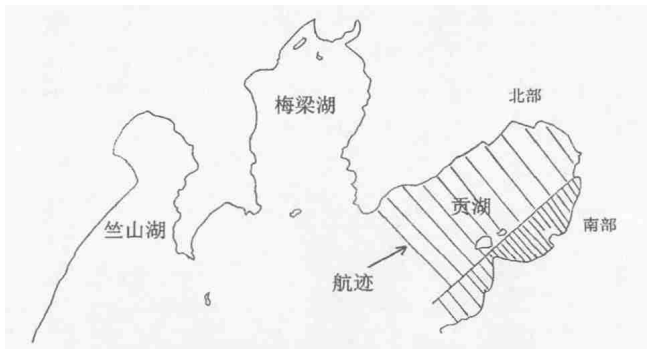


图 1 野外走航调查航迹

Fig.1 Survey track by DT-X ecosounder in Gonghu bay

采用 Garmin GPS 19x NMEA 对 GPS 数据同步采集存储,利用便携式电脑安装的 BioSonics Acquisition 6.0 软件进行实时的水声学数据采集,采集过程中换能器脉冲频率为 10pps,脉冲宽度为 0.1ms,数据收集阈值为-130dB,数据收集距离为 0.2~6.0 m。

1.3 水声学数据处理和 GIS 建模

对采集到的水声学数据用 BioSonicsHabitat 进行分析,经过大量的人工调查结果和仪器检测结果比对,最终将底泥和水生植物的回波阈值(echo threshold)分别设定为-50dB 和-70dB,时变增益(TVG)设为 30lgR。从调查断面的起点至末尾,每 80 个脉冲作为一个分析单元,波束数据分析范围 0.2~6.0m,分析结果包括单元起始坐标、单元平均水深、单元沉水植物高度和单元沉水植物盖度等。

采用 ArcGIS 10.0 软件进行沉水植物盖度的建模,将计算出的单元沉水植物盖度值、单元中心坐标 GPS 数据分别以 KML 格式和 CSV 格式导出。将 KML 格式数据导入 Google 地图,得到调查断面沿线沉水植物盖度分布图;将 CSV 格式数据导入 ArcGIS 平台,基于克里格(Kriging)插值法得到贡湖湾沉水植物盖度分布图。

1.4 数据统计分析

基础的数据统计在 Excel 中完成,相关性分析在 SPSS 中完成。

2 结果与分析

2.1 仪器监测结果检验

借助 DT-X 多功能回声探测仪,可以实时获取调查断面沉水植物盖度、高度以及水深等指标(图 2),监测结果直观明了。

选取不同沉水植物盖度和底质类型、长度分别为 1m 和 10m 的断面,进行仪器检测结果与人工调查结果比对。比对过程中保证人工调查断面和仪器走航断面一致(见表 1)。结果表明,57 个 1m 长度的断面和 41 个 10m 长度的断面两种方法得到的监测结果差异较小,且呈极显著正相关(r 分别为 0.86 和 0.87, $p < 0.01$)。

2.2 贡湖湾沉水植物空间分布

将 KML 格式数据导入 Google 地图后,可以直观显示调查断面上每个分析单元的监测时间、沉水植物盖度状况指标值。借助 Google 地图,可以实现重点水域,尤其是水草边界线的沉水植物盖度变化连续观测,为评估水生态学系统变化提供系统数据。结合 GIS 技术绘制贡湖湾沉水植物盖度分布图,可以清晰的看出,贡湖湾的沉水植物分布呈现了明显的空间差异,南部水域沉水植物丰富,北部水域几乎无沉水植物分布(图 3)。就贡湖湾南部水域而言,贡山以东沉水植物盖度最高,盖度在 70% 以上;贡山以南盖度较低,盖度

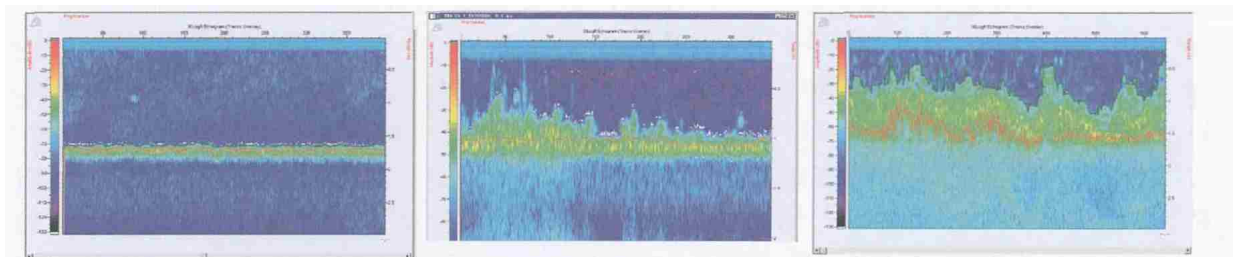


图 2 无水草分布(左)、水草稀疏分布和水草密集分布(右)断面仪器实时监测结果

Fig.2 Real-time monitoring results of no submerged macrophyte area, sparse area and dense area by DT-X ecosounder

表1 同一断面人工样方调查和水声学方法结果对比
Table1 Comparison between quadrate investigation and hydroacoustic investigation

| 断面 | 样方调查 | 仪器调查 | 断面 | 样方调查 | 仪器调查 |
|-------|-------|--------|-------|-------|--------|
| 断面 1 | 63.00 | 74.85 | 断面 21 | 68.00 | 68.09 |
| 断面 2 | 69.00 | 77.70 | 断面 22 | 70.00 | 67.55 |
| 断面 3 | 63.00 | 70.14 | 断面 23 | 93.00 | 100.00 |
| 断面 4 | 57.00 | 34.65 | 断面 24 | 85.00 | 98.25 |
| 断面 5 | 53.00 | 16.31 | 断面 25 | 74.00 | 71.83 |
| 断面 6 | 41.00 | 17.95 | 断面 26 | 80.00 | 73.24 |
| 断面 7 | 62.00 | 56.12 | 断面 27 | 88.00 | 87.93 |
| 断面 8 | 26.00 | 18.02 | 断面 28 | 75.00 | 81.41 |
| 断面 9 | 42.00 | 24.82 | 断面 29 | 80.00 | 88.65 |
| 断面 10 | 48.00 | 36.87 | 断面 30 | 77.00 | 82.35 |
| 断面 11 | 87.00 | 98.50 | 断面 31 | 84.00 | 95.79 |
| 断面 12 | 91.00 | 100.00 | 断面 32 | 72.00 | 89.75 |
| 断面 13 | 71.00 | 70.89 | 断面 33 | 92.00 | 93.82 |
| 断面 14 | 70.00 | 61.32 | 断面 34 | 78.00 | 89.73 |
| 断面 15 | 46.00 | 30.41 | 断面 35 | 72.00 | 85.36 |
| 断面 16 | 58.00 | 37.22 | 断面 36 | 85.00 | 89.85 |
| 断面 17 | 67.00 | 52.82 | 断面 37 | 0.00 | 0.50 |
| 断面 18 | 74.00 | 58.38 | 断面 38 | 0.00 | 2.00 |
| 断面 19 | 66.00 | 51.98 | 断面 39 | 0.00 | 0.10 |
| 断面 20 | 70.00 | 39.00 | 断面 40 | 0.00 | 0.25 |

在 40%以下。

2.3 与遥感解析结果比较

图 4 是贡湖湾沉水植物分布遥感解析结果，数据来源获取的时间是 2015 年 8 月初，与仪器调查时间基本相当。通过比较图 3 和图 4 可以看出，两幅图反映的贡湖湾沉水植物分布特征总体相似，但也存在一定的差异。仪器调查显示的沉水植物分布面积明显大于遥感解析结果，主要表现在贡山周边、贡湖湾南部与大太湖交界处以及贡湖湾南-北部交界处等沉水植物盖度较低的水域。现场调查结果表明，这些水域有马来眼子菜、狐尾藻等沉水植物分布。

3 讨论

一直以来，水声学在鱼类资源调查中应用的较多，鱼体目标强度(Target Strength)是调查过程中的关键参数^[14]。与鱼类资源调查相似，沉水植物调查中关键参数有两个，分别为底质检测阈值参数（Rising Edge Threshold）和植物检测阈值参数（Plant Detection Threshold），通过大量的实验，最终确定了本研究中上述两个参数分别为-50dB 和-70dB。另外，水草缠绕问题是应用该技术开展浅水湖泊沉水植物调查的又一个关键技术难题。贡湖部分水域沉水植物都长至水面，用仪器自带的拖体开展调查，换能器经常被水草缠绕，影

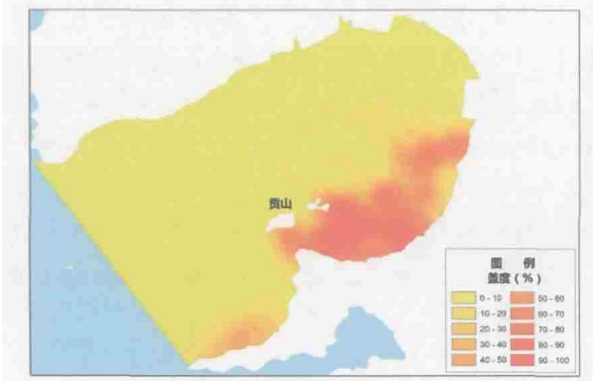


图 3 贡湖湾沉水植物盖度状况

Fig.3 The submerged macrophyte coverage of hydroacoustic data in Gonghu bay

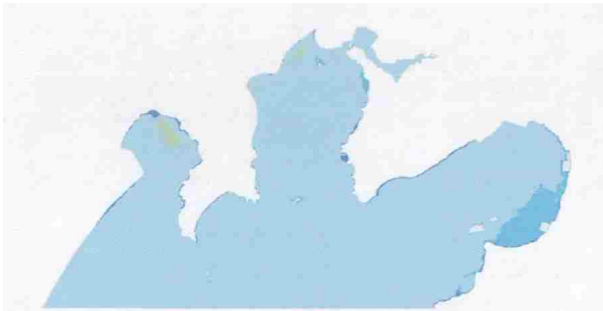


图 4 太湖贡湖湾沉水植物遥感解析

Fig.4 The submersed vegetation distribution of remote sensing in Gonghu bay

响调查工作的顺利开展。借鉴 ADCP 测流经验，通过多次实验，专门定制了用于浅水湖泊沉水植物调查的拖体，有效地解决了该技术难题。

1m 和 10m 的人工调查与仪器检测结果表明，两种方法得到的沉水植物盖度值极显著正相关，仪器调查结果可以客观反映水体中的沉水植物盖度状况。另外，由于仪器检测效率高，借助仪器可以在相同的时间内调查数倍于人工调查的水域面积，结果的代表性更高。第三，仪器的野外操作简单，开展沉水植物盖度调查方便快捷。第四，借助仪器开展沉水植物盖度调查，不会破坏原有的沉水植物群落结构。第五，仪器维护成本低，经济效益明显。应用水声学技术开展湖泊沉水植物盖度调查，可以填补现有调查方法存在的空白。

仪器的调查结果显示贡湖湾沉水植物基本都分布在南部水域，这与人工调查和遥感解析结果基本一致。但与现有的两种沉水植物调查方法相比，仪器调查方法更简单，仪器检测结果更详实、更直观。就贡湖湾而言，通过人工样方调查获取与本次仪器调查相当的数据量几乎是不现实的。与遥感解析结果相比，仪器调查结果可以更准确地反映水草稀疏区的沉水植

物盖度状况,保证调查结果的准确性和客观性。

“水草边际线”的沉水植物的盖度变化可以科学反映水体的生态状况,所以该水域的沉水植物调查是一个重点,也一直是一个难点,而人工样方调查和遥感监测都较难以科学掌握该水域的沉水植物分布状况。贡湖湾现为草藻过渡型湖湾,在沉水植物生长阶段,借助DT-X 回声探测器对重点水域“水-草边际线”开展系统的走航式调查,在不破坏原有群落结构的基础上,可以掌握研究水域的沉水植物分布及变化状况,为科学客观的评估贡湖湾水生态系统变化提供数据支撑。

参考文献:

- [1] 王华,逢勇,刘申宝,等. 沉水植物生长影响因子研究进展[J]. 生态学报, 2008,28(8):3958-3968. (WANG Hua, PANG Yong, LIU Shenbao, et al. Research progress on influencing of environmental factors on the growth of submersed macrophytes [J]. Acta Ecologica Sinica, 2008,28(8):3958-3968. (in Chinese))
- [2] ZHU MY, ZHU GW, Nurminen L, et al. The influence of macrophytes on sediment resuspension and the effect of associated nutrients in a shallow and large lake (Lake Taihu, China) [J]. Plos One, 2015,10(6):e0127915. doi:10.1371/journal.pone.0127915.
- [3] Horppila J, Nurminen L. Effects of different macrophyte growth forms on sediment and P resuspension in a shallow lake [J]. Hydrobiologia, 2005,545(1):167-175.
- [4] 方精云,王襄平,沈泽昊,等. 植物群落清查的主要内容、方法和技术规范[J]. 生物多样性, 2009,17(6):533-548. (FANG Jingyun, WANG Xiangping, SHEN Zehao, et al. Methods and protocols for plant community inventory [J]. Biodiv Sci, 2009,17(6):533-548. (in Chinese))
- [5] 周林飞,赵言稳,高云彪. 石佛寺人工湿地水生植物调查与动态变化研究[J]. 中国农村水利水电, 2014,10(10):35-38. (ZHOU Linfei, ZHAO Yanwen, GAO Yunbiao. Research on dynamic changes of aquatic plants of Shifosi artificial wetland [J]. China Rural Water and Hydropower, 2014,10(10):35-38. (in Chinese))
- [6] 陶江平,陈永柏,乔晔,等. 三峡水库成库期间鱼类空间分布的水声学
- 研究[J]. 水生态学杂志, 2008,1(1):25-33. (TAO Jiangping, CHEN Yongbo, QIAO Ye, et al. Hydroacoustic surveys on spatial distribution of fishes in the Three Gorges reservoir first impoundment [J]. Journal of Hydroecology, 2008,1(1):25-33. (in Chinese))
- [7] Sabol B, Eddie Melton R, Chamberlain R, et al. Evaluation of a digital echo sounder system for detection of submersed aquatic vegetation [J]. Estuaries, 2002,25(1):133-141.
- [8] Winfield I J, Onoufriou C, Or Connell M J, et al. Assessment in two shallow lakes of a hydroacoustic system for surveying aquatic macrophytes [J]. Hydrobiologia, 2007,196(1):111-119.
- [9] J ger P, Pall K, Dumfarth E. A method of mapping macrophytes in large lakes with regard to the requirements of the water framework directive [J]. Limnologia - Ecology and Management of Inland Waters, 2004,34(1):140-146.
- [10] 诸邈莹,刘洪生,张婧雯. 枸杞岛周围底栖海藻分布的回声探测及其插值研究[J]. 上海海洋大学学报, 2012,3(3):445-451. (ZHU Liying, LIU Hongsheng, ZHANG Jingwen. Research on the benthic algae distribution around Gouqi island using digital echo sounding system and interpolation [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2012,3(3):445-451. (in Chinese))
- [11] 高怡,毛新伟,徐卫东. “引江济太”工程对太湖及周边地区的影响分析[J]. 水文, 2006,26(1):92-94. (GAO Yi, MAO Xinwei, XU Weidong. Analysis of the influence on the Taihu lake and the area around diversion from the Yangtze River to the Taihu lake [J]. Journal of China Hydrology, 2006,26(1):92-94. (in Chinese))
- [12] 水利部太湖流域管理局. 太湖健康状况报告 [R]. 2014. (Taihu Basin Authority of Ministry of Water Resources, The health reports of Taihu lake [R]. 2014. (in Chinese))
- [13] Aglen A. Random errors of acoustic fish abundance estimates in relation to the survey grid density applied [J]. Fao Fisheries Report, 1983,300:293-298
- [14] 孙明波,谷孝鸿,曾庆飞,等. 不同渔业方式水库鱼类资源的水声学评估 [J]. 应用生态学报, 2013,24 (1):235-242. (SUN Mingbo, GU Xiaohong, ZENG Qingfei, et al. Hydroacoustic assessment of fish resources in reservoirs with different fishery management [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013,24(1):235-242. (in Chinese))

Hydroacoustic Investigation of Submerged Macrophyte Coverage in Gonghu Bay, Taihu Lake

WU Donghao, WANG Yu, XU Zhaoan

(Taihu Basin Hydrology and Water Resource Monitoring Center, Wuxi 214024, China)

Abstract: The coverage and variation of submerged macrophyte, which plays an important part in lake ecosystem, is a good indicator for assessing the water ecosystem of the Gonghu Bay. The submerged macrophyte coverage of the Gonghu Bay was investigated by DT-X split-beam sounder, and the results were compared with the analytical results of remote sensing. As for 1m and 10m transects coverage, there was little difference between the results of DT-X and quadrature investigation. The results show that it is easier, highly efficient and more accurate to use hydroacoustic method for submerged macrophyte coverage investigation.

Key words: hydroacoustic; submerged macrophyte; coverage; investigation; Gonghu Bay