

基于遥感技术的鄱阳湖采砂对水体透明度的影响

邬国锋¹, 崔丽娟^{2,*}

(1. 武汉大学资源与环境科学学院 & 武汉大学教育部地理信息系统重点实验室, 武汉 430079)

(2. 中国林业科学研究院林业研究所 & 国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091)

摘要:采砂是一项具有巨大生态影响的经济活动。其引起沉积泥沙的再悬浮,降低水体透明度,减弱水下光环境以及产生一系列的生态影响。旨在利用遥感技术监测鄱阳湖自 2001 年开始的采砂活动对水体透明度的影响。时间序列的 LANDSAT 影像用于船只的识别和同期的水体透明度反演,MODIS 影像用于估计湖区 2000~2005 年 6~10 月期间水体透明度的动态变化。结果显示鄱阳湖北部自 2001 年以来随着船只数目的增加水体透明度显著下降。结合对船只最终目的地以及船只分布与水体透明度变化一致性等方面的分析,可以确认采砂是引起此区域水体透明度下降的主要原因。夏季频繁发生的长江江水倒灌推动鄱阳湖北部的浑浊水体向南移动,从而扩大采砂的影响范围至鄱阳湖中部,甚至南部。采砂繁荣了地方经济,同时也对鄱阳湖生态系统具有重大的负面影响。平衡经济发展与生态保护之间的关系,将因采砂而造成的负面影响下降到最低限度,使鄱阳湖的各种生态功能全面发挥是当务之急。

关键词:鄱阳湖;遥感;水体透明度;采砂;倒灌;栖息地

文章编号:1000-0933(2008)12-6113-08 中图分类号:Q143 文献标识码:A

Remote sense-based analysis of sand dredging impact on water clarity in Poyang Lake

WU Guo-Feng¹, CUI Li-Juan^{2,*}

1 School of Resource and Environmental Science & Key Laboratory of Geographic Information System of Ministry of Education, Wuhan University, Wuhan 430079, China

2 Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry & Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration, Beijing 100091, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(12): 6113 ~ 6120.

Abstract: Sand dredging is an economic activity with severe ecological effects. It stirs up sediment, thereby reducing water clarity and underwater light climate, which in turn results in a series of environmental impacts. This study aimed to monitor the water clarity in Poyang Lake affected by the dredging, which started in 2001. A time series of LANDSAT images were used to identify vessels and estimate the concurrent water clarities, while MODIS images were used to estimate the dynamic change of water clarity in the six June-October seasons from 2000 to 2005. The results indicated that the water clarity declined significantly with the increasing number of vessels from 2001 in northern Poyang Lake. The analyses of the final destinations of vessels and their location with the change of water clarity confirmed that the dredging was the main reason

基金项目:国家“十一五”科技支撑资助项目(2006BAD03A19);国家林业局“948”资助项目(2004-4-34)

收稿日期:2007-07-24;修订日期:2007-12-14

作者简介:邬国锋(1969~),男,黑龙江人,副教授,主要从事地理信息系统、遥感和湖泊生态研究。E-mail: guofengwu@gmail.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lkyclj@126.com

Foundation item: The project was financially supported by the national key science and technology program in the 11th five-year plan of China (No. 2006BAD03A19) and the National forest Bureau “948” Project (No. 2004-4-34)

Received date: 2007-07-24; **Accepted date:** 2007-12-14

Biography: WU Guo-Feng, Associate professor, mainly engaged in GIS, remote sensing and lake ecology. E-mail: guofengwu@gmail.com

results in the decline of water clarity. The frequent backflow from the Yangtze River into Poyang Lake in summer pushes the turbid water from northern Poyang Lake southward, which extends the region affected by the dredging to central or even southern Poyang Lake. Sand dredging improved the local economy, but at the same time significantly and negatively affecting the Poyang Lake ecosystem. There is an urgent need to balance the relation between economic development and ecological conservation, minimize the negative effects of dredging and preserve the various productive, environmental and ecological functions provided by Poyang Lake.

Key Words: Poyang Lake; remote sensing; water clarity; dredging; backflow; habitat

目前,鄱阳湖是中国第一大淡水湖,其在经济、旅游、娱乐以及生物多样性保护等方面有着非常重要的功能。然而,近年来由于长江经济带建设的快速发展,建筑砂石需求量大增,同时长江中下游干流河道全线禁采江砂以及采砂所带来的可观的经济利益等原因驱动,鄱阳湖采砂业自 2001 年以来迅速兴起^[1]。采砂是一项具有巨大生态影响的经济活动,其降低水体透明度、减弱水下光环境、导致水生植物生物量的降低甚至植物的死亡以及产生噪音和水体油污、重金属污染等^[1~5]。对鄱阳湖这个特定区域,钟业喜和陈姗^[11]详细讨论了采砂对渔业的影响,Fok 和 Pang^[6]认为江豚(Yangtze finless porpoise)数目的快速减少与鄱阳湖采砂业的快速发展有一定的关系。鄱阳湖被誉为长江流域的一盆清水,其健康状况不仅关系到周边地区生态、经济和旅游等方面的发展,也维系着长江中下游的饮水和生态安全,同时也影响全球的生物多样性。然而,到目前为止,对于采砂如何影响鄱阳湖水体透明度还仅仅局限于一些野外的观察,而且对于其影响范围和程度更是知之甚少。

本文在综合近两年来利用遥感手段对鄱阳湖采砂、水体透明度及长江江水倒灌等研究基础之上分析采砂对整个鄱阳湖水体透明度影响的范围和程度,以期为后续研究和湖泊的合理化管理提供科学基础和依据。

1 研究区域

鄱阳湖(东经 $115^{\circ}50'$ ~ $116^{\circ}44'$, 北纬 $28^{\circ}25'$ ~ $29^{\circ}45'$)位于江西省北部、长江中下游南岸(图 1)。其承纳赣江、抚河、信江、饶河和修河五大江河及博阳河、漳河和潼河来水,经调蓄后由湖口注入长江,是一个过水性、吞吐型、季节性湖泊。每当洪水季节,五河洪水入湖、水位高涨、湖面宽阔、一望无际。在枯水季节,水位下降、洲滩出露、湖水归槽、水面缩小、蜿蜒一线。鄱阳湖是长江流域最大的天然洪水调蓄区、长江中下游的重要水源地、重要的生物物种遗传基因库、我国最大的淡水鱼产区、也是国际重要湿地和世界著名的候鸟越冬栖息地,其中,全球 95% 的白鹤和迄今发现的世界上最大鸿雁群体在此越冬^[7,8]。

2 影像数据

2.1 MODIS 影像

为了分析采砂对水体透明度的影响,借助 NASA 的 Earth Observing System Data Gateway (<http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome>)下载了覆盖鄱阳湖地区 2000 ~ 2005 年 6 ~ 10 月的中分辨率成像光谱仪(MODerate

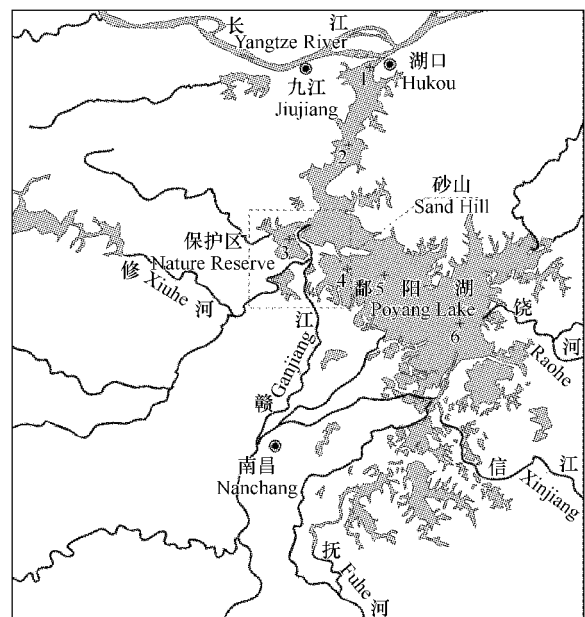


图 1 鄱阳湖、鄱阳湖国家自然保护区(保护区)、砂山以及用于评价水体透明度变化的 6 个样点(+)的位置

Fig. 1 Locations of Poyang Lake, Poyang Lake national nature reserve (Nature Reserve), Sand Hill, and six sampling points (+) for assessing the change of water clarity

1: 湖口 Hukou, 2: 鄱阳湖北部 Northern Poyang Lake, 3: 蚌湖 Banghu, 4: 大汊湖 Dachahu, 5: 鄱阳湖中部和 Central Poyang Lake, 6: 鄱阳湖南部 Southern Poyang Lake

resolution Imaging Spectroradiometer-MODIS) 反射率产品 (MOD09 或者 MYD09), 每月各一景。另外, 为了描述长江江水倒灌鄱阳湖对水体透明度的影响, 补充了 2004 年两次江水倒灌前后的另外 3 景 MODIS 反射率产品, 它们的获取时间分别为 2004 年 7 月 27 日、8 月 8 日和 9 月 24 日。对下载的影像作如下预处理: 首先把所有影像的投影方式转换为 WGS84/UTM 投影; 然后裁剪出只包括研究区域的矩形范围内的影像; 其次, 对空间分辨率为 500m 的 3、4 波段 (蓝、绿) 进行空间重采样, 使其与 1、2 波段 (红、红外) 的空间分辨率 (250m) 一致, 然后合并 1~4 波段形成一个影像文件, 以便后续的处理; 最后, 进行影像的非监督分类以及目视判读, 确定水域, 制作掩膜层, 并利用掩膜层进行图像的掩膜操作, 提取水域。

2.2 LANDSAT 影像

为了估计鄱阳湖北部水体透明度以及采砂船数目和分布, 从中国科学院遥感卫星地面站购买了 7 景覆盖鄱阳湖北部的 LANDSAT TM5 影像, 轨道号为 121/40。它们的获取时间分别为 2001 年 9 月 2 日 (Julian 日期: 2001-245)、2002 年 8 月 20 日 (2002-232)、2003 年 8 月 23 日 (2003-235)、2004 年 8 月 9 日 (2004-222)、2004 年 10 月 28 日 (2004-302)、2005 年 8 月 12 日 (2005-222) 和 2005 年 10 月 31 日 (2005-304)。对全部影像作如下预处理: 首先采用 1:5 万地形图进行影像的几何校正, 整体 RMSE 为 10.13m, 同时为了保持与转换后的 MODIS 投影方式一致, 把它们也转换为 WGS84/UTM 投影; 然后利用 Modeler 模块实现 COST 模型^[9,10], 进行全部影像的大气校正; 第三, 从校正后的影像中裁减出包含研究区的矩形区域; 最后, 利用影像非监督分类所创建的掩膜层去除研究区域内的陆地和小的水体。另外, 为了估计 2000 年的采砂船信息, 从全球土地覆盖数据库 (Global Land Cover Facility-<http://glcfapp. umiacs. umd. edu/index. shtml>) 下载了一景覆盖鄱阳湖的 LANDSAT ETM+ 影像, 其获取时间为 2000 年 9 月 23 日。

3 方法与结果

3.1 基于 LANDSAT 的透明度反演与采砂船识别

Wu 等^[11]建立了鄱阳湖水体透明度 (SDD) 与 LANDSAT TM5 影像红 (Red)、蓝 (Blue) 波段之间的线性关系模型 ($\ln(SDD) = 1.133 - 10.533 \times \text{Blue} - 13.805 \times \text{Red}$, $R^2 = 0.83$, $s.e. = 0.20m$, $P < 0.001$), 并以此模型对鄱阳湖北部地区 2001~2005 年 7 个时期的水体透明度进行了反演^[12]。反演结果 (图 2) 揭示从 2003 年开始此区域的水体透明度明显下降, 从大约 1m 降到小于 0.25m。

由于 LANDSAT TM5 中红外波段 (5、7 波段) 反射率受水体混浊度影响非常小, 因而它们在所有波段中具有最大的潜力以用来进行船只的识别^[13]。基于此结论, 利用获取的 8 景 TM 和 ETM+ 影像的波段 7 提取了 2000~2005 年 8 个时期的船只数目和分布信息, 并分析这期间内船只数目的变化以及不同季节船只分布的空间差异。

图 2 描述了 2001~2005 年夏秋季船只的分布特征。在 2001~2002 年, 采砂仅仅集中在鄱阳湖北部的主航道及赣江。而从 2003 年开始, 采砂范围扩大到砂山北部区域。从 2004~2005 年夏季 (2004-222 和 2005-224) 和秋季 (2004-302 和 2005-304) 的船只分布信息发现采砂区域具有明显的季节性差异, 即夏季分布于鄱阳湖北部的比较广泛区域, 而由于秋季相对低的水位采砂仅局限于主航道。另外, 2003~2005 年夏季砂山北部的船只分布与水体透明度的变化具有很好的一致性, 即从东南向西北流动的比较清澈的湖水在经过采砂船之后马上变得浑浊。同时, 在砂山以南并未发现船只, 这说明砂山北部区域是这些船只的最终目的地之一。

图 3 描述了从 TM 和 ETM+ 影像上派生的 2000~2005 年鄱阳湖北部和赣江的船只数目。在 2000 年几乎没有发现大型的船只, 到 2001 年数目大约为 140 艘, 在 2002 和 2003 年数目迅速增加到大约 230 和 430 艘, 到 2004 年数目达到约 450 艘, 在 2005 年数目有所下降, 但仍旧还有 350 艘左右。

3.2 基于 MODIS 的水体透明度反演

借助 TM 影像, 2001~2005 年鄱阳湖北部和赣江水体透明度的变化情况得到一定程度的描述。然而, 用每年一景的影像反映一年的情况具有一定的随机性。另外, 因未曾购买采砂之前 (早于 2001 年) 的影像, 所以无法从 TM 影像了解这阶段的水体透明度情况。Wu 等^[11]建立了鄱阳湖水体透明度 (SDD) 与 MODIS 影像

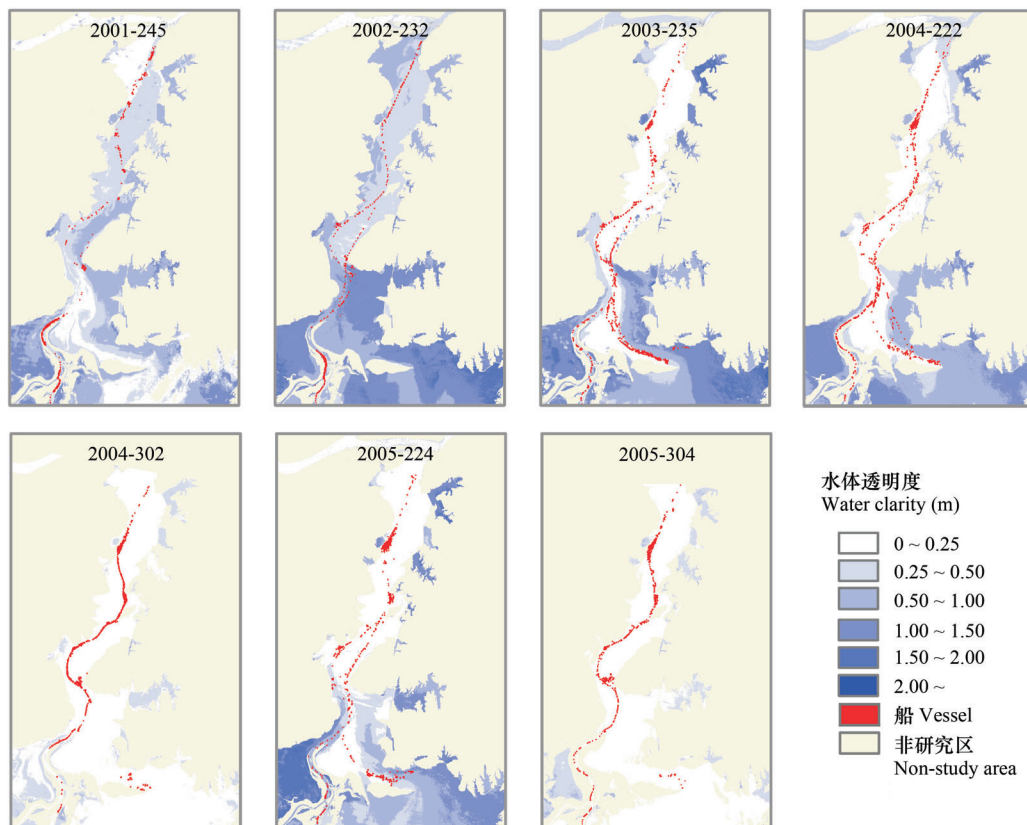


图2 基于 LANDSAT 的 2001 ~ 2005 年鄱阳湖北部和赣江的船只和水体透明度分布

Fig. 2 LANDSAT-based distributions of vessel and water clarity of 2001 ~ 2005 in the northern Poyang Lake and Ganjiang

红、蓝波段之间的线性关系模型($\ln(\text{SDD}) = 0.474 + 15.240 \times \text{Blue} - 21.130 \times \text{Red}$, $R^2 = 0.88$, $s. e. = 0.37\text{m}$, $P < 0.001$), 并以此模型反演了鄱阳湖北部地区 2000 ~ 2005 年 6 ~ 10 月的水体透明度^[12]。这样, 鄱阳湖北部和赣江在采砂之前以及采砂以来夏秋季的水体透明度情况(图 4)得到比较好的展现。

图 5 显示了从图 4 计算得到的鄱阳湖砂山至湖口区域 2000 ~ 2005 年 6 ~ 10 月每年 5 个月份的平均水体透明度随时间的变化情况。在 2000 年夏秋季的水体透明度最高达到 1.5m 左右(2000-198、2000-214 和 2000-193), 而从 2001 年开始明显下降, 到 2004 ~ 2005 年仅 有 0.1 ~ 0.5m。

3.3 采砂引起水体透明度下降

图 6 进一步揭示了 2000 ~ 2005 年鄱阳湖砂山至湖口区域夏秋季水体平均透明度与此区域船只数目之间存在显著的负线性相关性($R^2 = 0.92$, $F(1, 4) = 60.38$, $P < 0.005$)^[12], 即随着船只数目的增加水体透明度显著下降。但这种相关性并不意味着船只数目增加与透明度下降之间的因果关系, 因为降雨、风以及其它因素同样也可以降低水体透明度。然而, 通过对船只最终目的地以及船只分布与水体透明度变化的一致性等方面的分析, 可以确认采砂是引起此区域水体透明度下降的主要原因。

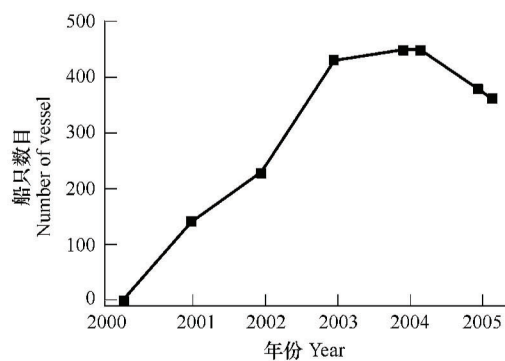


图3 基于 LANDSAT 的 2000 ~ 2005 年鄱阳湖北部和赣江的船只数目变化

Fig. 3 LANDSAT-based number of vessel of 2000 ~ 2005 in the northern Poyang Lake and Ganjiang

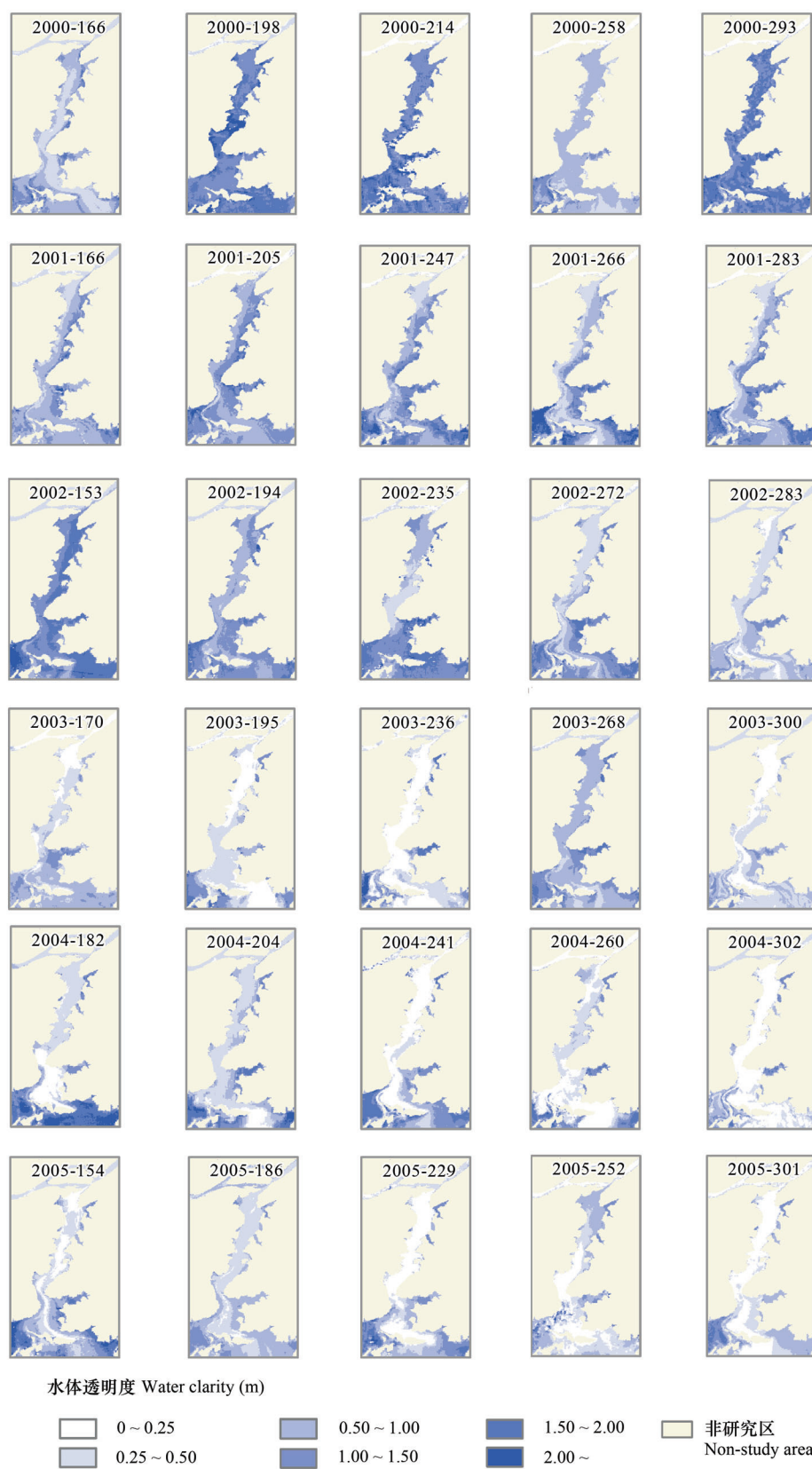


图 4 基于 MODIS 的 2000 ~ 2005 年 6 ~ 10 月份鄱阳湖北部和赣江的水体透明度

Fig. 4 MODIS-based water clarity of June-October 2000 ~ 2005 in the northern Poyang Lake and Ganjiang

3.4 长江水倒灌扩大采砂的影响范围

鄱阳湖北部和赣江的采砂活动引起沉积泥沙的再悬浮,不仅引起采砂区水体透明度的下降,而且因水体的流动对下游也产生一定的影响。从图4可以发现,在采砂之间的2000年,鄱阳湖明显清于长江,而到2005年浑浊的长江已经比鄱阳湖北部还要清澈。这说明采砂影响鄱阳湖北部水体透明度,也说明采砂活动引起鄱阳湖和长江水体透明度清浊倒置,这一问题将在另篇文章中讨论。

采砂所影响的范围不仅仅局限于鄱阳湖北部及其下游区域。由于长江和鄱阳湖流域主汛期不同,在每年7~9月份,长江江水倒灌鄱阳湖现象时有发生^[14]。据1954~1998年的统计数据,这45a中有37a发生江水倒灌^[15]。据1956~2000年统计数据每年平均倒灌2.5次,平均持续14d。当倒灌发生时,江水推动鄱阳湖北部采砂导致的浑浊水体向南移动,从而扩大采砂的影响范围。

2004年发生两次倒灌,分为位于7月22(2004-202)到27(2004-209)日和9月10(2004-254)到15(2004-259)日。图7显示了利用Wu等^[11]的方法估计的这两次江水倒灌之前、期间和之后鄱阳湖水体透明度的变化情况。在倒灌发生之前(2004-182)鄱阳湖北部水体浑浊,中、南部清澈。在倒灌发生期间(2004-204和2004-209),北部的浑浊水体倒灌到鄱阳湖的中部(白色区域),甚至远至南部。在倒灌停止之后,影响并没有停止(2004-260和2004-268),因为受影响区域的水体透明度需要一段时间恢复。

选择鄱阳湖和鄱阳湖国家级自然保护区内的6个点(图1)用来详细地描述2004年2次倒灌对水体透明度的影响。结果(图8)显示江水倒灌导致鄱阳湖中部

水体透明度从大约2m下降到大约0.2m;南部受第1次倒灌影响较大,水体透明度从大约2m下降到大约0.3m;浑浊水体不仅影响鄱阳湖的中、南部,而且渗透到保护区内的蚌湖和大汉湖,引起这些区域水体透明度的剧烈下降,从大于1m到小于0.5m。另外,从湖口和鄱阳湖北部两点的发现:没有倒灌发生时,由于采砂的作用水体浑浊;当倒灌发生时,长江水进入鄱阳湖,水体变得清澈,这在一定程度上说明近年来长江比鄱阳湖北部还要清澈。

4 结论及讨论

本研究利用时间序列的LANDSAT和MODIS影像进行了鄱阳湖水体透明度的反演,同时利用TM影像对船只数目进行估计。研究结果一方面揭示了遥感技术在监测水体透明度时空变化情况在此区域的可行性;同时,通过水体透明度和船只信息的同时监测,为得出采砂降低水体透明度这一结论提供了直接的证据。

采砂引起鄱阳湖北部和赣江的沉积泥沙再悬浮,提高水体悬浮泥沙浓度,降低水体透明度。采砂原本是局部范围的行为,但由于鄱阳湖本身复杂的水文特征,它所带来的影响不仅限于局部。夏季经常发生的江水

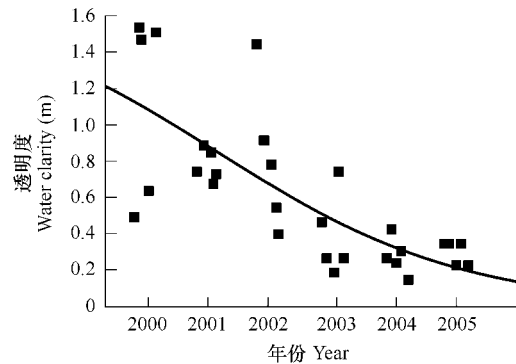


图5 基于MODIS的2000~2005年6~10月鄱阳湖砂山至湖口区域水体平均透明度变化

Fig. 5 MODIS-based change of average water clarity of June-October 2000~2005 within the region between Sand Hill and Hukou

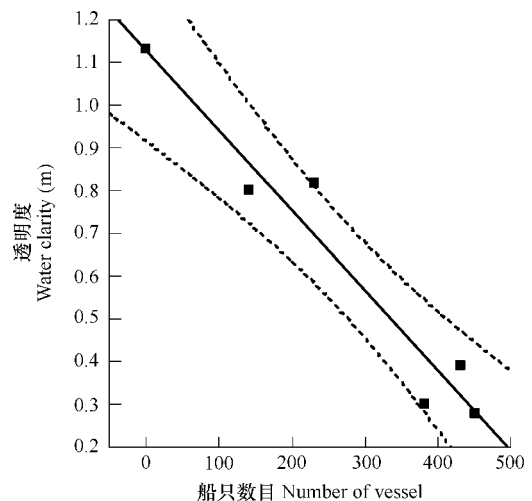


图6 2000~2005年水体透明度与船只数目之间的关系

Fig. 6 Relation between water clarity and number of vessel in 2000~2005

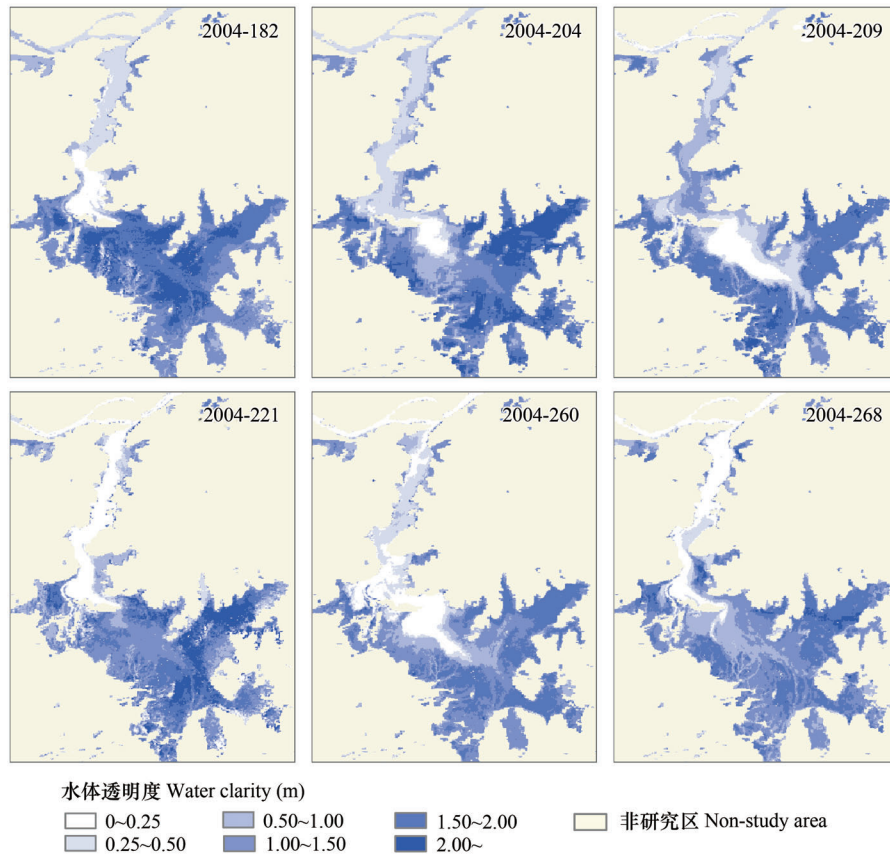


图 7 基于 MODIS 的 2004 年两次江水倒灌之前、期间和之后的鄱阳湖水体透明度分布

Fig. 7 MODIS-based water clarity distribution of Poyang Lake before, during and after two backflow events in 2004

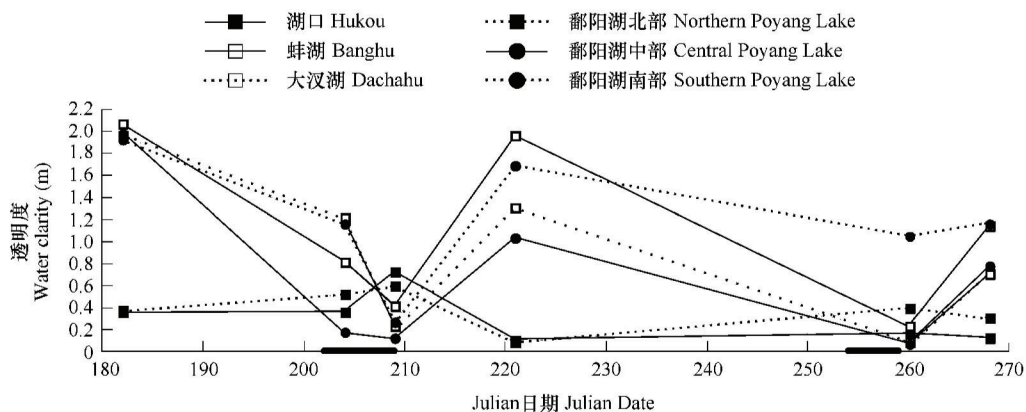


图 8 2004 年两次江水倒灌之前、期间和之后的水体透明度变化

Fig. 8 Change of water clarity at Huhou before, during and after two backflow events in 2004

图中靠近水平坐标轴的黑线条表示江水倒灌时间区间 The black lines close to horizontal axis describe the time period of backflow events

倒灌现象可能扩大采砂活动的影响范围,使采砂影响波及到鄱阳湖的中部或南部,甚至到鄱阳湖国家自然保护区的部分区域。根据遥感影像提供的数据和以上分析,可以看出采砂活动搅浑了鄱阳湖。

采砂对于鄱阳湖生态系统可能产生非常重要的负面影响。过强的采砂活动一方面直接扰动了湖中栖息的动植物的生存环境,影响其繁衍生息。另一方面,水体透明度降低,水下光环境减弱后,一系列的生态影响将陆续发生。全球约 95% 的白鹤在鄱阳湖越冬,它们的主要食物是苦草冬芽^[16]。采砂所导致的水体透明度将减少苦草光合作用所需的光照,从而影响冬芽产量,进而威胁白鹤的生存。鄱阳湖还是濒临灭绝的白暨豚和

长江江豚的重要栖息地,鄱阳湖浑浊的水体、大量的采砂船只以及它们所引起的噪音和油污等污染正在摧毁着他们的栖息地。

不容质疑,砂是鄱阳湖提供给人类的重要资源,体现了湿地丰富的服务功能。采砂繁荣了地方经济,但应该平衡经济发展与生态保护之间的关系,科学规划、规范采砂秩序,使湖泊其它服务功能得到充分的保护和发挥。将因采砂而造成的负面影响降到最低限度,使鄱阳湖的各种生态功能全面发挥。

References:

- [1] Zhong Y X, Chen S. Impact of dredging on fish in Poyang Lake. *Jiangxi Fishery Sciences and Technology*, 2005, 1: 15—18.
- [2] Spencer K L, Dewhurst R E, Penna P. Potential impacts of water injection dredging on water quality and ecotoxicity in Limehouse Basin, River Thames, SE England, UK. *Chemosphere*, 2006, 63(3): 509—521.
- [3] Lubke R A, Reavell P E, Dye P J. The effects of dredging on the macrophytic vegetation of the Boro river, Okavango delta, Botswana. *Biological Conservation*, 1984, 30(3): 211—236.
- [4] Nayar S, Goh B P L, Chou L M, *et al.* *In situ* microcosms to study the impact of heavy metals resuspended by dredging on periphyton in a tropical estuary. *Aquatic Toxicology*, 2003, 64(3): 293—306.
- [5] Hossain S, Eyre B D, McKee L J. Impacts of dredging on dry season suspended sediment concentration in the Brisbane River estuary, Queensland, Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2004, 61(3): 539—545.
- [6] Fok M, Pang T. Finless porpoises in Wuhan, China. *Newsletter of the Department of Ecology & Biodiversity, The University of Hong Kong*, 2006, 34: 18—20.
- [7] Cui L J. Study on functions of Poyang Lake wetland ecosystem. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18(2): 109—113.
- [8] Cui L J, Zhao X S. Researches on the emergy analysis of Poyanghu wetland. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(7): 1480—1485.
- [9] Chavez P S J. Image-based atmospheric corrections — revisited and improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1996, 62(9): 1025—1036.
- [10] Chavez P S J. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment*, 1988, 24(3): 459—479.
- [11] Wu G, De Leeuw J, Skidmore A K, *et al.* Comparison of MODIS and Landsat TM5 images for mapping tempo-spatial dynamics of Secchi disk depths in Poyang Lake national nature reserve, China. *International Journal of Remote Sensing*, 2008, 29(8): 2183—2198.
- [12] Wu G, De Leeuw J, Skidmore A K, *et al.* Concurrent monitoring of vessels and water turbidity enhances the strength of evidence in remotely sensed dredging impact assessment. *Water Research*, 2007, 41(15): 3271—3280.
- [13] Wu G, De Leeuw J, Skidmore A K, *et al.* Performance analysis of Landsat TM bands in dredging ship detection in turbid water of northern Poyang Lake, China. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2008.
- [14] Xu D L, Xiong M, Zhang J. Analysis on hydrologic characteristics of Poyang Lake. *Yangtze River*, 2001, 32(2): 21—27.
- [15] Hu X Y, Xiong X Y. Water level character and wetland ecological conservation of Poyang Lake. *Jiangxi Forestry Science and Technology*, 2002, 5: 1—4.
- [16] Wu Y H, Ji W T. Study on Jiangxi Poyang Lake national nature reserve. Beijing: Forest Publishing House, 2002.

参考文献:

- [1] 钟业喜, 陈姗. 采砂对鄱阳湖鱼类的影响研究. *江西水产科技*, 2005, 1: 15~18.
- [7] 崔丽娟. 鄱阳湖湿地生态系统服务功能研究. *水土保持学报*, 2004, 18(2): 109~113.
- [8] 崔丽娟, 赵欣胜. 鄱阳湖湿地生态能值分析研究. *生态学报*, 2004, 24(7): 1480~1485.
- [14] 徐德龙, 熊明, 张晶. 鄱阳湖水文特性分析. *人民长江*, 2001, 32(2): 21~27.
- [15] 胡细英, 熊小英. 鄱阳湖水位特征与湿地生态保护. *江西林业科技*, 2002, 5: 1~4.
- [16] 吴英豪, 纪伟涛. 江西鄱阳湖自然保护区研究. 北京: 中国林业出版社, 2002.