

文章编号: 1004-8227(2009)08-0777-06

基于遥感技术的鄱阳湖-长江 水体清浊倒置现象的分析

邬国锋¹, 崔丽娟^{2*}, 纪伟涛³

(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, 湖北 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;

3. 鄱阳湖国家级自然保护区管理局, 江西 南昌 330038)

摘 要: 长期以来, 在鄱阳湖和长江的交汇处, 江水混浊而湖水清澈, 然而, 近年来江水清澈而湖水混浊。这种鄱阳湖-长江清浊倒置现象引起了广泛的关注, 但鲜有研究人员系统分析这种现象的成因。借助中分辨率成像光谱仪 (MODIS) 和 Landsat 影像分析这种清浊倒置现象的起始时间和成因。基于 MODIS 影像反演的鄱阳湖和长江水体透明度显示在 2004 年以前鄱阳湖北部的透明度明显高于长江, 而在 2005 和 2006 年长江水体透明度高于鄱阳湖北部, 出现清浊倒置现象; 同期鄱阳湖北部和长江水体透明度对比分析发现这种水体清浊倒置现象受长江水体透明度增加和鄱阳湖水体透明度下降的双重影响, 但鄱阳湖北部透明度的变化在其中扮演主要角色; 由 Landsat 影像识别的采 (运) 砂船数量及其与鄱阳湖北部透明度关系的分析表明, 自 2001 年开始的鄱阳湖北部的采砂活动引起此区域水体透明度的显著下降。

关键词: 鄱阳湖; 长江; 水体清浊倒置; 遥感技术

文献标识码: A

鄱阳湖(东经 $115^{\circ}50' \sim 116^{\circ}44'$, 北纬 $28^{\circ}25' \sim 29^{\circ}45'$) 位于江西省北部、长江中下游南岸(图 1), 是目前中国第一大淡水湖。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^[1]。自 2001 年兴起的在鄱阳湖北部的采砂活动对其生态系统产生一系列的负面影响^[2]。长江是中国第一长河, 在湖北省宜昌市以上为上游, 宜昌至江西省湖口间为中游, 湖口以下为下游。三峡大坝坝址位于宜昌市三斗坪, 距湖口大约 1 000 km。三峡大坝的修建对长江中下游的水文状况也产生一定影响^[3, 4]。

长期以来, 在鄱阳湖和长江的交汇处, 江水自西而来, 水体混浊, 湖水注入长江, 水体清澈透明, 形成一条长长的清浊分明的水界线。然而, 近期以来, 这种江水浊而湖水清的现象不复存在, 取而代之的是江水清而湖水浊。这种清浊倒置现象引起广泛的关

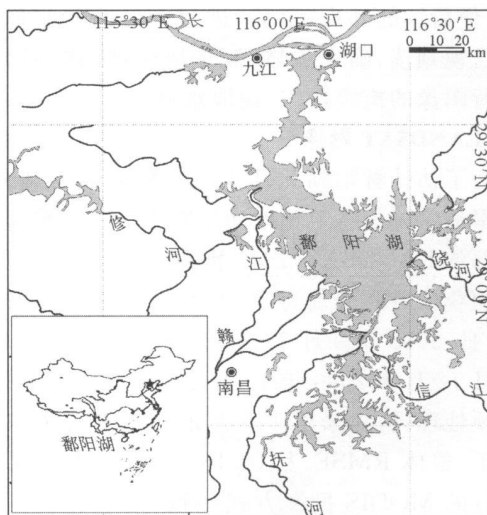


图 1 鄱阳湖位置及与长江的关系

Fig. 1 Location of the Poyang Lake and Its Relation to the Yangtze River

收稿日期: 2008-07-14; 修回日期: 2008-08-28

基金项目: 测绘遥感信息工程国家重点实验室专项科研经费; 湿地自然保护区环境监测分析技术引进项目(国家林业局“948”项目 2004-4-34)

作者简介: 邬国锋(1969~), 男, 黑龙江省林甸人, 副教授, 主要从事地理信息系统、遥感和湖泊生态的研究。

E-mail: guofengwu@gmail.com

* 通讯作者 E-mail: lkyclj@126.com

注,许多新闻媒体和专家把这种现象与三峡大坝和鄱阳湖北部的采砂联系起来,但鲜有研究人员系统分析这种现象的成因。

本文目的在于借助遥感技术,分析这种清浊倒置现象的起始时间和成因,以期为鄱阳湖的合理化管理提供科学基础和依据。

1 影像数据

1.1 MODIS 影像

为了分析这种清浊倒置现象的起始时间和成因,借助美国国家航空航天局(NASA)的 Earth Observing System Data Gateway (<http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome>) 下载覆盖鄱阳湖地区 2000~2006 年 6~10 月中分辨率成像光谱仪(MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer-MODIS)反射率产品(MOD09 或 MYD09),每月各一景。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 500 m 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(250 m)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。

1.2 LANDSAT 影像

为了估计鄱阳湖北部采(运)砂船数目和分布,从中国科学院遥感卫星地面站购买了 6 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、2002 年 8 月 20 日、2003 年 8 月 23 日、2004 年 8 月 9 日、2005 年 8 月 12 日和 2006 年 12 月 21 日。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 10.13 m,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^[5,6],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(运)砂船信息,从全球土地覆盖数据库(Global Land Cover Facility-http://glcfapp.umiaccs.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。

2 方法

2.1 基于 MODIS 的水体透明度反演

Wu 等^[7,8]利用鄱阳湖国家自然级保护区内两个湖泊 2004~2005 年 4~10 月的常规水体透明度监测数据和对应的 MODIS 影像通过统计分析方法建立了鄱阳湖水体透明度(SDD)与 MODIS 影像红(Red)、蓝(Blue)波段之间的线性关系模型($\ln(SDD) = 0.474 + 15.240 * \text{Blue} - 21.130 * \text{Red}$, 决定系数(R^2)=0.88,估计标准差(s.e.)=0.37 m, $P < 0.001$)。此模型基于两年不同季节的数据建立,因此具有一定的时间稳定性。另外,鄱阳湖国家级自然保护区在夏季高水位时与鄱阳湖合为一起,它们具有较为相似的水体光学性质,因此模型也存在一定的空间稳定性,即此模型同样适合于鄱阳湖主湖区域。应用此模型结合处理的 MODIS 影像反演 2000~2006 年 6~10 月鄱阳湖北部地区以及长江湖口段的水体透明度,用以估测此区域的水体透明度变化。其反演过程具体如下:利用 Erdas 软件 Modeler 模块实现建立的模型,然后运行此模型,把预处理的 MODIS 作为输入文件进行水体透明度的计算,计算结果保存到文件中以便后续的分析。

2.2 基于 LANDSAT 的采(运)砂船识别

由于 LANDSAT 影像的中红外波段(5、7 波段)反射率受水体混浊度影响非常小,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^[8]。基于此结论,利用获取的 7 景 TM 和 ETM+ 影像的波段 7 提取了 2000~2006 年 7 个时期的鄱阳湖北部以及赣江内的采(运)砂船数目和分布信息,用以分析这段期间内船只数目的变化。

2.3 统计分析

利用图 2 中定义的 2 个采样区域,针对从每景 MODIS 影像反演的水体透明度,分别计算此区域内的水体透明度平均值,用以代表 2000~2006 年夏秋季鄱阳湖北部及湖口上游的长江水体透明度状况;统计分析鄱阳湖和长江水体透明度的变化情况与鄱阳湖北部的采(运)砂船数目以及三峡大坝蓄水时间的关系,探究引起鄱阳湖-长江清浊倒置的原因。

3 结果及讨论

图 3 描述了从 MODIS 影像反演的 2000~2006



图 2 用于估算鄱阳湖北部和湖口上游的平均水体透明度的采样区域(白色网格区域)

Fig. 2 Sampling Regions (Identified by White Grids) Used for Estimating Average Water Clarities in the Northern Poyang Lake and the Upstream of Hukou

年 6~ 10 月份鄱阳湖北部及湖口上游的长江水体透明度的时间和空间分布情况。从这些时间序列的影像可以发现鄱阳湖北部水体的透明度存在明显的下降趋势,而长江水体的透明度变化不是很明显。

图 4 显示了从图 3 计算得到的鄱阳湖北部及湖口上游长江采样区域 2000~ 2006 年 6~ 10 月份的平均水体透明度随时间的变化情况。鄱阳湖北部在 2000 年夏秋季的平均水体透明度高达 1.1 m 左右,而从 2001 年开始明显下降,到 2004~ 2006 年仅有 0.2~ 0.3 m。长江同期水体平均透明度在 2000~ 2003 年期间在 0.2 m 左右,从 2004 年开始上升,到 2006 年达到 0.4 m 左右。单因素方差分析(One-way ANOVA)揭示湖口上游长江水体透明度在 2000~ 2006 年期间无显著变化($F=2.083, d.f.=28, P=0.09$),而鄱阳湖北部的水体透明度变化显著($F=8.147, d.f.=28, P<0.001$)。从鄱阳湖和长江水体的历年变化可以发现:在 2004 年以前,鄱阳湖的水体透明度明显高于长江,而在 2005 和 2006 年,长江水体透明度高于鄱阳湖,出现清浊倒置现象。

自 2003 年 6 月三峡大坝蓄水以来,长江上游进

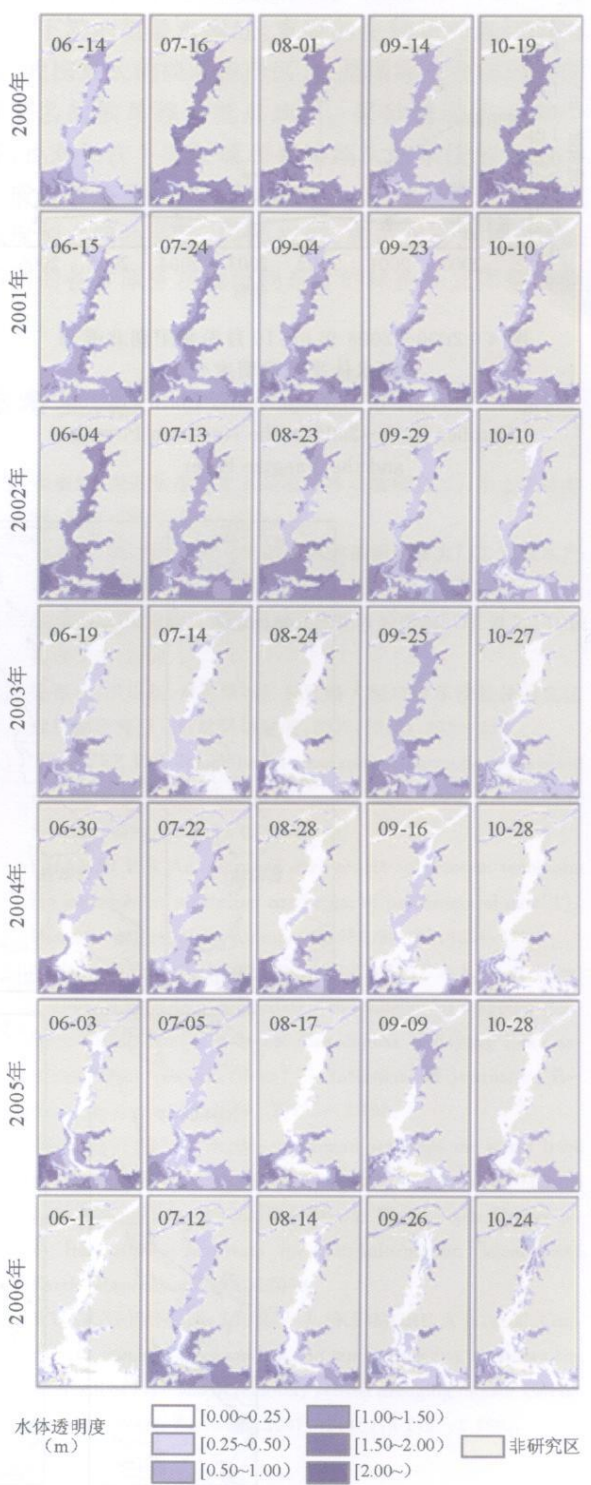


图 3 基于 MODIS 的 2000~ 2006 年 6~ 10 月份鄱阳湖北部和长江水体透明度

Fig. 3 MODIS-based Water Clarity of June~ October 2000~ 2006 in the Northern Poyang Lake and the Yangtze River

入中下游河道的含沙量减少^[3,4]。作为含沙量减少的结果,此区域的水体透明度将有所增加,这与研究观察到的自 2003 年后湖口上游区域的长江水体透明

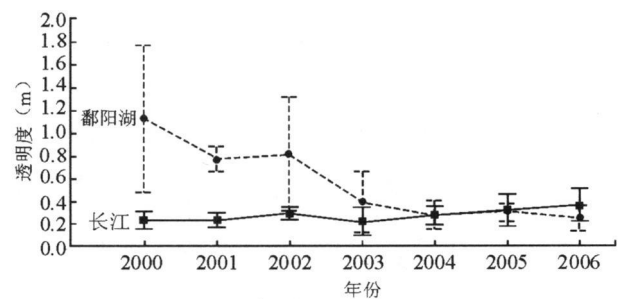


图 4 2000~ 2006 年 6~ 10 月份鄱阳湖北部和长江水体平均透明度变化
Fig. 4 Changes of Average Water Clarity of June~ October 2000~ 2006 in the Northern Poyang and the Yangtze River

度增加趋势相一致。然而,从统计学的角度,三峡大坝引起的这样变化不显著。

图 5 描述了从 TM 和 ETM+ 影像上派生的 2000~ 2006 年鄱阳湖北部和赣江的船只分布和数目信息。无论在高水(夏季)和枯水(冬季)季节,几乎所有的采(运)砂船都分布于砂山以北的鄱阳湖北部地区。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 和 2006 年数目有所下降,但仍有 380~ 390 艘。

图 6 进一步揭示了 2000~ 2006 年鄱阳湖砂山至

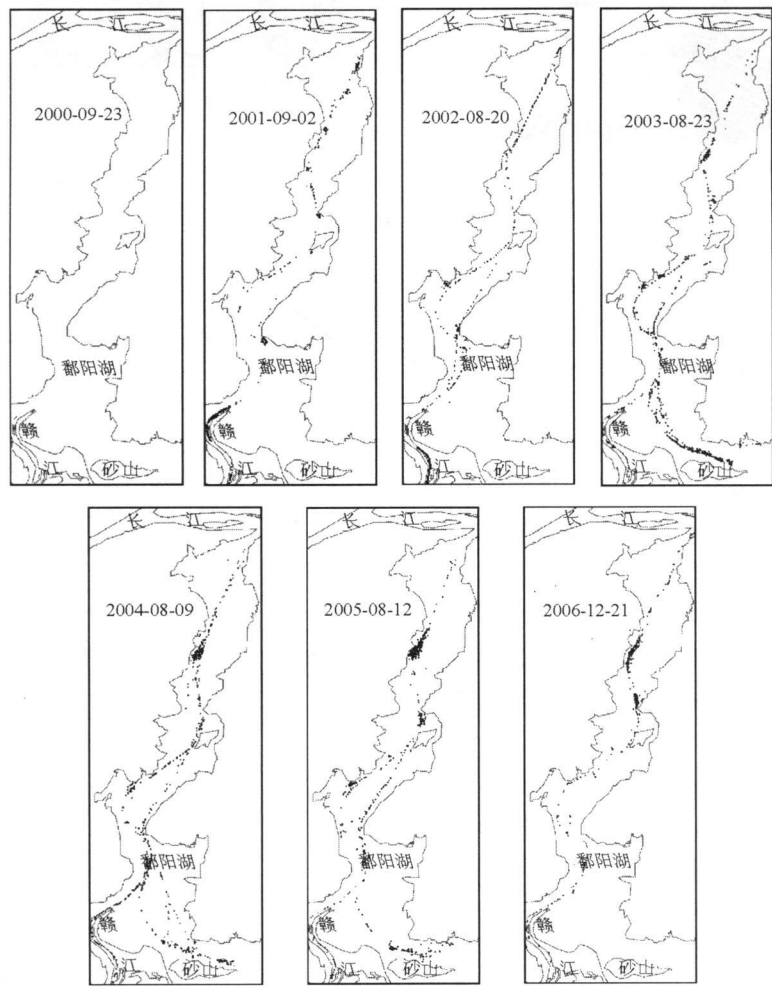


图 5 基于 Landsat 的 2000~ 2006 年鄱阳湖北部和赣江的采(运)砂船(黑色目标)分布
Fig. 5 Landsat-based Dredging Ship (Black Objects) Distributions in 2000~ 2006 in the Northern Poyang and Ganjiang River

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($R^2 = 0.92$, $F(1, 5) = 60.38$, $P < 0.005$),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

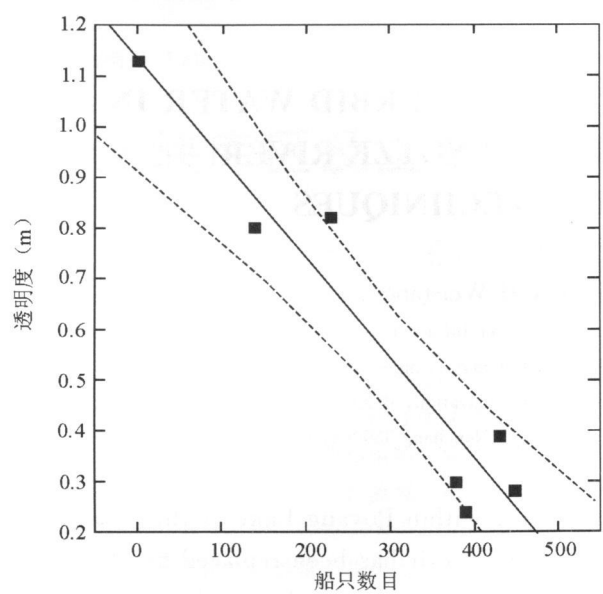


图 6 2000~ 2006 年水体透明度与
船只数目之间的关系

Fig.6 Relation Between Water Clarity and
Number of Vessel in 2000~ 2006

此区域水体透明度下降的主要原因^[9],也是引起鄱阳湖-长江水体清浊倒置的主要原因。

4 结论

本文借助遥感技术,定量分析了鄱阳湖-长江水体清浊倒置现象的起始时间和成因,主要研究结果如下:

- (1) 2004 年以前,鄱阳湖的水体透明度明显高于长江,而在 2005 和 2006 年,长江水体透明度高于鄱阳湖,出现清浊倒置现象;
- (2) 鄱阳湖-长江水体清浊倒置现象受长江水体透明度增加和鄱阳湖水体透明度的双重影响,但鄱阳湖水体透明度的变化在其中扮演主要角色;
- (3) 自 2001 年开始的在鄱阳湖北部的采砂活动引起此区域水体透明度的显著下降。

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^[1]。采砂繁荣了地方经济,也对长江下游区域和鄱阳湖生态系统的可持续发展也带来了一定的负面影响。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,使鄱阳湖的各种服务功能得到充分的保护和发挥是当务之急。

参考文献:

[1] 崔丽娟. 鄱阳湖湿地生态系统服务功能研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(2): 109~ 113.

[2] 钟业喜, 陈 姍. 采砂对鄱阳湖鱼类的影响研究[J]. 江西水产科技, 2005 (1): 15~ 18.

[3] 诸忠信. 三峡水库一期蓄水对长江泥沙的影响[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2006.

[4] 陈西庆, 严以新, 童朝锋, 等. 长江输入河口段床沙粒径的变化及机制研究[J]. 自然科学进展, 2007, 17(2): 233~ 239.

[5] CHAVEZ P S. Image-based atmospheric corrections revisited and improved[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1996, 62(9): 1 025~ 1 036.

[6] CHAVEZ P S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data[J]. Remote Sensing of Environment, 1988, 24 (3): 459~ 479.

[7] WU GUO-FENG, de LZZUW J, SKIDMORE A K, et al. Comparison of MODIS and Landsat TM5 images for mapping temporal-spatial dynamics of Secchi disk depths in Poyang Lake national nature reserve, China[J]. International Journal of Remote Sensing, 2008, 29(8): 2 183~ 2 198.

[8] WU GUO-FENG. Impact of human activities on water level and clarity and underwater light climate of Vallisneria spiralis L. in Poyang Lake, China[R]. Doctor Wageningen University & International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), 2008.

[9] WU GUO-FENG, 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[J]. Water Research, 2007, 41(15): 3 271~ 3 280.

AN ANALYSIS OF INVERSION OF CLEAR-TURBID WATER IN
THE POYANG LAKE AND THE YANGTZE RIVER
BASED REMOTE SENSING TECHNIQUES

WU Guo-feng¹, CUI Li-juan², JI Wei-tao³

(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; 3. Bureau of Jiangxi Poyang Lake National Nature Reserve, Nanchang 330008, China)

Abstract: Water was turbid within the Yangtze River while clear within Poyang Lake at their confluence for a long time. Recently, such situation however no longer exists, and it has been replaced by clear water within the Yangtze River and turbid water within Poyang Lake. This inversion of clear-turbid water in Poyang Lake and the Yangtze River has gained extensive attentions, however few researchers analyzed systematically the causes of this phenomenon. This paper, with the supporting of moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS) and Landsat images, analyzed the starting time and causes of inversion of clear-turbid water in Poyang Lake and the Yangtze River. The water clarities derived from MODIS images within the Yangtze River and the northern Poyang Lake revealed that the water clarity of the northern Poyang Lake was higher than that of the Yangtze River before 2004, the water clarity of the Yangtze River, however, was higher than that of the northern Poyang Lake in 2005 and 2006 and the inversion of clear-turbid water occurred; The comparison of synchronous water clarities of the Yangtze River and northern Poyang Lake showed that the inversion was influenced doubly by the increased water clarity of the Yangtze River and the declined one of northern Poyang Lake, in which the change of water clarity of northern Poyang Lake played one important role; The number of dredging and shipping vessels derived from Landsat images and its relation with the water clarity of northern Poyang Lake showed that the dredging activities starting in 2001 in northern Poyang Lake resulted in the prominent decline of water clarity in this region.

Key words: Poyang Lake; the Yangtze River; inversion of clear-turbid water; remote sense techniques