

基于 MODIS 数据的鄱阳湖总悬浮物浓度监测分析

江 辉^{1,2}, 刘 瑶^{1,2}

(1. 南昌工程学院 水利与生态工程学院, 江西 南昌 330099; 2. 南昌大学 教育部鄱阳湖湖泊生态与生物资源利用重点实验室, 江西 南昌 330031)

摘要:为了利用遥感卫星影像资料对湖泊水质进行连续、大范围的监测,以鄱阳湖为研究对象,通过对水体实测高光谱的特征分析,采用分期统计回归的方法建立总悬浮物(TSS)浓度反演模型,利用 MODIS 影像反演鄱阳湖 TSS 浓度的空间分布,并分析其时空分布特征。研究结果表明:红光和近红外波段是反演水质参数 TSS 的敏感波段,在同一环境下分析,可以有效地减少各种内外因素的影响,提高 TSS 浓度遥感反演模型的适用性和精度,因此,利用 MODIS 数据遥感反演模型监测分析湖水水质是可行的。

关 键 词:总悬浮物(TSS); 遥感; 时空特征; MODIS; 鄱阳湖

中图法分类号:X52

文献标志码:A

湖泊水体总悬浮物浓度直接影响湖泊生态条件,对湖泊的泥沙冲淤变化过程影响很大。总悬浮物浓度的监测对河流、水质、地形地貌、生态环境的研究以及湖泊的开发、治理和保护等具有重要的意义,许多国家都将它作为基本水质指标之一^[1]。常规的水体采样实验分析方法受人力、物力、气候、水文等条件的限制,需要大量的经费支持,难以长时间、大范围跟踪监测。另外,水质监测急需从点上监测向面上监测发展,从静态监测向动态监测发展,常规的方法也难以实现这一目的。利用遥感技术监测水质,探索水体水质参数的波谱特征,并进一步利用卫星遥感影像大面积监测水质无疑是一项极具价值的研究。

20 世纪 70 年代国内外已开始水质遥感监测技术研究,悬浮物是首先被选中的水质分析参数,目前国内外学者已进行了很多研究^[2],采用半经验法,利用 MODIS 数据反演得到较好的应用效果^[3-5]。鄱阳湖是典型的季节性浅淡水湖,不同的季节水质差异很大。以往的研究人员利用不同时期的水质监测数据综合建

模,一方面未考虑不同时期水体的水力条件变化;另一方面未考虑外界条件的干扰,如气温、湿度、光照条件等,以及湖水位较低时湖底对水体反射率的影响等。鉴于这种原因,本文采用分期统计回归的方法,在同一环境下,利用 MODIS 影像反演鄱阳湖 TSS 浓度的时空分布特征,可以有效地减少各种内外因素的影响,提高遥感反演水质模型的适用性和精度。

1 数据获取与分析

1.1 数据采集

数据采集在确定的采样点定期进行,常规采样点 14 个,主要分布在湖区和五河入口处,能较好地反映鄱阳湖水质变化(图 1(a))。鄱阳湖 7、8 月丰水期的湖水水位较高,可以进行大规模采样,即除了在常规采样点采样外,还在湖中布点采样(图 1(b))。采样深度为水面以下 50 cm。光谱采样时间为 2010 年 10 月 26 日和 2011 年 2 月 21 日,光谱采集实验使用美国 ASD 公司生产的 FieldSpec HandHeld 地物光谱仪,采

收稿日期:2011-07-07

基金项目:国际科技合作资助项目(2006DFB91920);国家水体污染控制与治理科技重大专项项目(2008zx07526-008-03)

作者简介:江 辉,男,副教授,博士,主要从事 3S 技术在水环境中研究及应用工作。E-mail:jnhuily@163.com

通讯作者:刘 瑶,女,讲师,硕士,主要从事工程项目管理教学研究。E-mail:liuyaojj@163.com

用水面以上光谱测量方法倾斜观测^[6]。

1.2 MODIS 数据预处理

遥感影像先要利用 ERDAS 遥感图像处理软件进行几何纠正,用1:10 000地形图作为基准图,GCP 控制点一般选桥梁、水库大坝、十字路口、标志性建筑物等不变的标志物,30 个地面控制点均匀分布。采用二次多项式对获取的 MODIS 数据进行纠正,采用最小邻近法校正全图,校正精度以均方根误差在 0.5 个像素以内控制。重采样后地面分辨率与原始数据 2 个系统相同,地图坐标投影系统采用 Projection UTM, spheroid WGS84。大气校正采用在 MODTRAN 模型基础上发展起来的 Flaash 模型进行,气溶胶去除采用 2 - Band (K - T)法,大气校正 ENVI 遥感处理软件中完成。本次研究的水体是正常年份的通江水体,通过多波段谱间关系法、植被指数法相结合的方法,利用遥感图像决策树分析进行了水体提取,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。

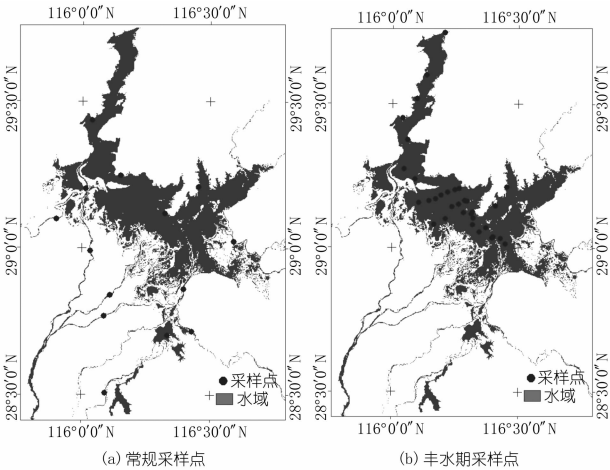


图 1 鄱阳湖采样点分布

2 结果与分析

2.1 鄱阳湖水体光谱特征分析

根据现场采样环境和样品实验分析情况,2 次收集鄱阳湖有效光谱共 19 条。实测光谱反射率曲线见图 2。

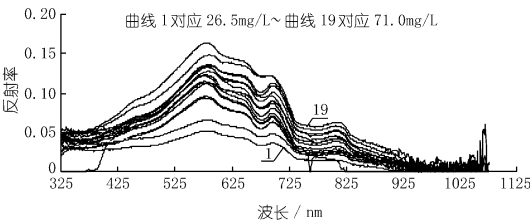


图 2 鄱阳湖实测光谱反射率曲线

从图 2 可以看出:400 ~ 500 nm 段反射率逐渐增大,该段是叶绿素的吸收带,但光谱没有明显的吸收谷;520 ~ 720 nm 范围是波谱的第一反射峰,580 nm 左右峰值达到最大,520 ~ 600 nm 波段是由于叶绿素、胡萝卜素弱吸收及植物细胞和总浮颗粒物的散射作用形成的^[7]。675 nm 左右形成吸收带,原因可能是 675 nm 是叶绿素 a 的又一吸收峰,因此水体光谱反射率曲线在该处出现谷值。叶绿素 a 在 700 nm 处形成反射峰,通常认为是荧光效应造成的;第二反射峰位于 815 nm 左右,主要是悬浮物散射造成的。从图 3 中可知光谱反射率随水体 TSS 浓度的增加而呈增加的趋势,627 ~ 865 nm 红色波段和近红外波段的 Pearson 相关系数 R 在 0.5 以上,726 nm 处相关系数最大。本次实验与孙德勇等在研究太湖的悬浮物获得的最大相关系数的波长最接近^[8],说明红光与近红外部分波段是 TSS 的敏感区域,敏感性红光大于近红外波段。

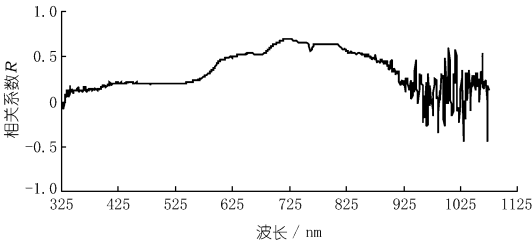


图 3 光谱反射率与 TSS 浓度的相关系数关系

2.2 分期建模

2.2.1 数据筛选

考虑到数据的有效性,采用格拉布斯准则来检验数据的异常值。经计算分析,剔除了丰水期的 4 个样品的数据,考虑到离岸边 500 m 以内的数据在遥感中主要反映地面地物的波谱特性,无代表性,经筛选,删除了 2 个样品的数据,最终确定了 33 个站的样品数据。从 33 个样品数据中,随机抽取 27 个数据建模,6 个样品数据作为验证数据,MODIS 500 m 遥感数据能够满足丰水期湖区的空间分辨率要求。为了在平、枯水期使模型更具通用性,采用多个月的采样数据联合建模,并验证模型的精度。从空间分辨率方面考虑,分辨率最高的 MODIS 250 m 遥感数据可以满足部分五河尾闾区域的水体波谱信息的提取要求,筛选了 18 个采样点数据,抽取其中任意 4 个采样点作为模型验证点,其余 14 个采样点数据用于建模。

2.2.2 不同时期的反演模型

依据回归模型相关系数最大、均方根误差最小的原则,经线性和非线性模型(指数、对数、幂和二次多项式函数)比较分析,最终确定了敏感波段或组合波

段与相应 TSS 浓度的最佳模型(图 4),丰水期、平水期、枯水期回归模型分别见公式(1)~(3),模型均呈显著相关性。

$$\begin{aligned} \rho_{\text{TSS}} &= 1\,365.5(B_3 + B_4)^2 - \\ &369.08 \times (B_3 + B_4) + 27.216 \\ R^2 &= 0.8125, RMSE = 3.23, P < 0.001 \quad (1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{TSS}} &= 50228 \times B_1^{3.5938} \\ R^2 &= 0.743, RMSE = 15.19, P < 0.001 \quad (2) \\ \rho_{\text{TSS}} &= 78764 \times B_1^{3.6279} \\ R^2 &= 0.812, RMSE = 31.63, P < 0.01 \quad (3) \end{aligned}$$

式中, ρ_{TSS} 为 TSS 浓度, mg/L; B_1 为 MODIS 250 m 的波段 1 的光谱反射率; B_3 、 B_4 为 MODIS 500 m 波段 3、波段 4 的光谱反射率; $RMSE$ 为均方根误差; P 为显著性检验指标。

2.2.3 模型验证

为了分析模型的适用性和误差,对实测数据与模型数据进行线性相关分析,对不同时期的 TSS 浓度模型分别进行验证。验证结果表明:丰水期、平水期、枯水期 TSS 模型的决定系数 R^2 分别为 0.813, 0.717, 0.817(图 5)。平均相对误差分别为 11.5%, 23.3%, 23.4%。

2.3 不同时相 TSS 浓度反演与时空分析

根据不同时相的 MODIS 遥感反演模型,对经过几何校正和大气校正,由分类后的图像可得出不同时期 TSS 浓度等级专题图。由丰水期反演影像得到鄱阳湖 TSS 浓度平均值为 10.8 mg/L,从 6 月到 9 月 TSS 浓度有增大的趋势,全湖平均值由 7.8 mg/L 增加到 13.7 mg/L。TSS 浓度整体较小的主要原因一方面是长江水位抬高产生的顶托作用,使湖水流速减慢,加快了部分

悬浮物的沉淀作用;另一方面是水位上升湖水容量增加,提高了湖水稀释和自净化能力,水质环境得到了明显的改善。平水期 TSS 浓度平均值增加到 22.0 mg/L,大于丰水期 TSS 浓度,TSS 浓度有逐渐变小的趋势。汛初,除五河来水携带的悬浮物质外,湖区范围迅速扩大,流速也迅速加大,而此时水位比丰水期低很多,加之风浪涌动作用,致使底泥重新悬浮,湖心与支流汇入区域 TSS 有所增大。TSS 浓度较大的区域主要还是集中在星子至湖口段,原因在于该区域采砂活动较多,对底泥再悬浮影响较大,TSS 浓度最大值为 156.7 mg/L,而大部分区域,如撮箕湖和一些周边小湖泊,TSS 浓度都在 30.0 mg/L 以下。枯水期 TSS 浓度明显增加,幅度较大,3 个月的 TSS 浓度全湖平均值为 60.2 mg/L,11 月全湖 TSS 浓度平均值 60.20 mg/L,是全年最大的月份。

枯水期水流主要集中在主航道上,无扩散区,水体净化能力降低,所以 TSS 浓度无明显的降低,从鄱阳站至星子段顺水流方向的 TSS 浓度呈增加趋势。

3 结 论

(1) 通过采用分期统计回归的方法建立总悬浮物(TSS)浓度反演模型可知,鄱阳湖 TSS 浓度与光谱反射率有较好的相关性,相关系数较大的波段集中在红光和近红外波段,是反演水色参数 TSS 的敏感波段;丰水期 MODIS 波段 3 + 波段 4 和平、枯水期单波段 band1 与相应的 TSS 浓度建立的反演模型,平均相对误差在 25% 以内,模型较为理想。

(2) 从 MODIS 遥感影像反演丰水期、平水期和枯水期的 TSS 浓度空间分布可知,TSS 浓度平均值呈升高趋势,即丰水期浓度 < 平水期浓度 < 枯水期浓度。

TSS 浓度常年较大区域主要集中在都昌、星子至湖口段,湖心的 TSS 浓度普遍较小。TSS 浓度的反演结果能比较合理和准确地反映了鄱阳湖的 TSS 分布空间差异,因此建立的 MODIS 数据遥感反演模型用于研究 TSS 浓度是可行的,而且具有较强的实用性。

参考文献:

[1] 徐祖信. 河流污染治理规划理论与实践 [M]. 北京:中国环境科学出版社,2003.
[2] 光洁. 结合实测光谱数据与 LandsatTM₁ ETM 图像的太湖总悬浮物遥感估测模型研究[D]. 江苏:南京师范大学,2006.
[3] 刘灿德,何报寅,李茂田,等. 利用 MODIS 反演长江中游悬浮泥沙含量的初步研究

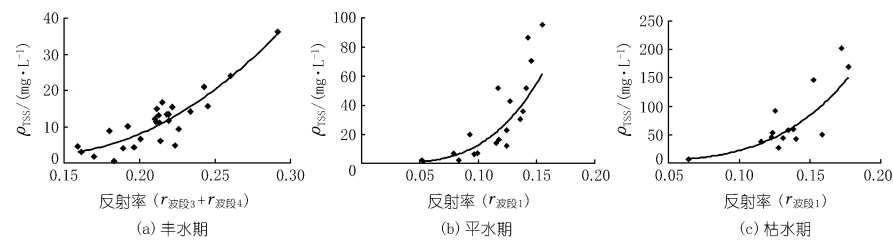


图 4 不同时期 MODIS 数据波段或波段组合与 TSS 浓度

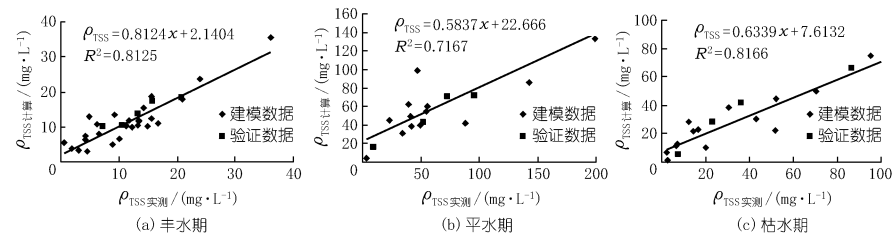


图 5 不同时期 TSS 浓度模型检验

- [J]. 地质科技情报, 2006, 25(2): 99 – 102.
- [4] 刘志国. 长江口水体表层泥沙浓度的遥感反演与分析[D]. 上海: 华东师范大学, 2007.
- [5] 王繁, 周斌, 徐建明, 等. 湾混浊水体表面光谱测量及光谱特征分析[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(3): 730 – 734.
- [6] 唐军武, 田国良. 水体光谱测量与分析水面以上测量法[J]. 遥感学报, 2004, (8)1: 37 – 44.
- [7] Gitelson A A, Garbuzov G, Szilagyi F, et al. Quantitative remote sensing methods for real – time monitoring of inland waters quality[J]. Int. J. Remote Sensing, 1993, 14(7): 1269 – 1295.
- [8] 孙德勇, 李云梅, 王桥, 等. 利用高光谱数据估算太湖水体 CDOM 浓度的神经网络模型[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2009, 34(7): 851 – 854.

(编辑: 常汉生)

Monitoring of TSS concentration in Poyang Lake based on MODIS data

JIANG Hui^{1,2}, LIU Yao^{1,2}

(1. School of Hydropower and Ecology Engineering, Nanchang Institute of Technology, Nanchang 330099, China; 2. The Key Laboratory of Poyang Lake Ecology and Bio – resource Utilization, Ministry of Education, Nanchang University, Nanchang 330031, China)

Abstract: In order to monitor the water quality of Poyang Lake by remote satellite image continuously and in a large – scope, through analysis on measured spectrum characteristics of water body and the staged statistic regression analysis, the regression analysis model on total suspended sediment of Poyang Lake was set up and its spatial – temporal TSS concentration distribution was analyzed by the model. The research results showed that red and near infrared bands were TSS sensitive bands, under the same environment, it can effectively reduce the influence of various internal and external factors in the analysis and improve the applicability and accuracy of the model; therefore, and the continuous and large – scoped monitoring on water quality of Poyang Lake can be realized using water quality analysis by MODIS data and the regression model.

Key words: total suspended sediment; remote satellite; spatial – temporal distribution characteristics; MODIS; Poyang Lake

(上接第 86 页)

Discussion on characteristics of construction of water – saving society in southern water abundant area

JIANG Beilei¹, GENG Leihua¹, XU Pengbo¹, WANG Kun², HUA Ye²

(1. State Key Laboratory of Hydrology Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 2. Nanjing Water Conservancy Bureau, Nanjing 210008, China)

Abstract: Aiming at the problems of water ecology and environmental degradation in southern water abundant area for water resources, by selecting four provinces and one city of Jiangsu, Zhejiang, Shanghai, Fujian and Guangdong as the research objects, the characteristics of development and utilization of water resources in the four provinces and one city were analyzed, according to the national data base of integrated water resources planning and data of national water resources bulletin; on the analysis basis, it was concluded that the construction thinking of water – saving society in southern water abundant area for water resources had three characteristics, namely, in the process of building water – saving society, with the important support of modernization technological equipment, the refined water resources management, the pollution permission system. Meanwhile, we propose the suggestion for next water – saving society construction in the areas.

Key words: water – saving society; water resources characteristics; water resources utilization; southern water abundant area