

利用 ASTER 影像反演松辽平原水体悬浮物浓度

马 驰^{1,2},姜琦刚¹,李远华¹,陈凤臻^{1,3},赵 静¹

(1. 吉林大学地球探测科学与技术学院,吉林 长春 130026;2. 沈阳农业大学高等职业技术学院,辽宁 沈阳 110122;3. 赤峰学院,内蒙古 赤峰 024001)

摘要 :对松辽平原的 ASTER 影像进行几何校正、辐射校正等预处理,并利用归一化水体指数(normalized difference water index)做掩模提取测区内水体,再将实测的水体悬浮物浓度和各波段反射率作相关性回归分析,探求水体中悬浮物的特征波段。实验表明,当水体中悬浮物含量增加时,ASTER 遥感影像的 1~4 波段水体反射率明显增加,且第 3 波段水体的反射率与实测水体悬浮物浓度关系最密切。最后确定了利用 ASTER 影像第 3 波段与水体悬浮物浓度进行线形拟合的方法反演水体悬浮物浓度。实践证明,利用回归分析所建立的线性反演模型可以很好地反演测区内水体悬浮物浓度。

关键词 :松辽平原;遥感;定量反演;ASTER;悬浮物

中图分类号:P407.8:X824 文献标识码:A 文章编号:1004-693X(2009)02-0072-03

Concentration inversion of suspended matter in water of Songliao Plain using ASTER images

MA Chi^{1,2},JIANG Qi-gang¹,LI Yuan-hua¹,CHEN Feng-zhen^{1,3},ZHAO Jing¹

(1. College of Geoexploration Science and Technology, Jilin University, Changchun 130026, China; 2. Higher Professional Technology Institute of Shenyang Agricultural University, Shenyang 110112, China; 3. Chifeng University, Chifeng 024001, China)

Abstract :After being processed with geometric correction and radiation correction, ASTER images of the Songliao Plain were made into masks using NDWI(normalized difference water index) in order to extract the water bodies in the survey area. The characteristic band of suspended matter in the water was identified through correlation regressive analysis of the field concentration of suspended matter and the reflectivity of each band. This experiment shows that the water reflectivity from the first to the fourth bands of ASTER remote sensing images increased with the concentration of suspended matter, and the reflectivity of the third band had the closest relationship with the concentration of suspended matter. Finally, an inversion calculation was conducted of the concentration of suspended matter by means of linear fitting of the third band of the ASTER images and the concentration of suspended matter. The results show that the linear reversion model based on the regression analysis is feasible in the concentration inversion of the suspended matter in the survey area.

Key words Songliao Plain; remote sensing; quantitative inversion; ASTER; suspended matter

悬浮物浓度是水质评价的一项重要指标。利用遥感影像监测水体悬浮物含量,代替了长期以来常规的定点采样、监测、分析,减少采样点的数量,节省了大量的人力物力,因此逐渐受到人们的重视。国内外的一些学者利用 MSS、ETM 以及 MODIS 等影像数据监测小区域水体悬浮物^[1-2],并得到良好的效

果。但是,利用 ASTER 数据监测内陆大区域河流、湖泊悬浮物则鲜有报道。本文研究水体中悬浮物对 ASTER 影像反射光谱影响,经过反复试验,建立了反演悬浮物浓度的模型,并反演出松辽平原河流、湖泊的悬浮物浓度。

1 研究区概况与数据获取

1.1 研究区概况

松辽平原位于我国东北地区中部,总面积约为 27 万 km²。自 20 世纪下半叶以来,由于农、牧业的快速发展,人口的迅速增长,气候的日趋干旱化,以及人类对水资源的过度利用等原因,导致松辽平原河流、湖泊水质的日益恶化^[3],主要表现在水中悬浮物浓度明显增高。

1.2 遥感数据

ASTER(advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer)是美国于 1999 年 12 月发射的对地观测系统 EOS(earth observing system)的第一颗卫星 Terra 的 5 个探测仪器之一^[4]。ASTER 数据具有多光谱通道(14 个)、较高的空间分辨率与光谱分辨率,以及立体观测数据等优势,有望在水质监测中取得良好的应用效果。

论文中使用的数据为 2003 年、2004 年、2005 年春、夏季 ASTER 1B 影像,共 28 景,对研究区域基本覆盖。影像清晰,无云或少云覆盖。影像数据的获取年份虽然不同,但是月份集中,有利于水体中悬浮物的反演。

1.3 实测数据

笔者于 2007 年 6 月 18 日至 6 月 27 日对松辽平原河流、湖泊进行水体采样,利用 GPS 定点,采水样 23 个。水样分析由中国科学院东北地理与农业生态研究所测试部完成,重点实测水体中悬浮物浓度。剔除仪器或人为操作等原因而造成的个别畸异值和错误值,留下 21 个实测值与遥感影像进行对照分析。

2 数据预处理

在可见光和近红外波段,随着水体中悬浮物浓度的增加,水体反射率也会随之增加(图 1)^[5]。本文中利用 ASTER 影像的可见光、近红外以及短波红外 1-9 波段,估测湖泊水体中的悬浮物浓度。由于

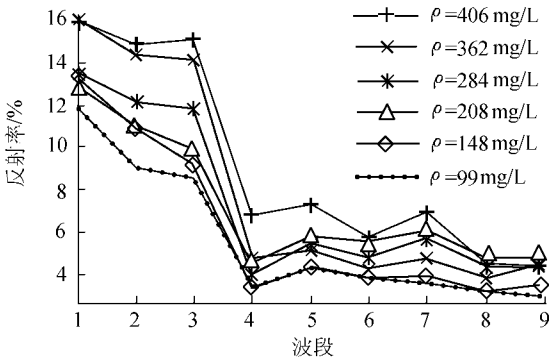


图 1 不同悬浮物浓度实测水体的反射率

可见光、近红外波段与短波红外波段的空间分辨率不同,因此在应用以前,先将短波红外的 6 个波段像元以最临近像元的方式重采样为 15 m,与可见光和近红外 3 个波段数据配准,形成包含 9 层数据的数据集。

2.1 影像的几何纠正与辐射校正

遥感影像获取时受传感器本身、太阳高度角、大气、地形等因素对地面光谱反射信号的影响,导致多时相影像上同一目标的光谱特征差异很大,影响了影像上信息的提取,必须对影像进行预处理。本研究工作中做了以下工作:

a. 以 1:5 万地形图为基础,对影像进行几何精校正,校正误差小于 1 个像元。

b. 消除传感器、太阳高度角以及日地距离等因素影响,计算水体视反射率:

$$\beta = \pi D^2 L_{\text{sat}} / E \cos \theta \times 100\% \quad (1)$$

式中: D 为日地天文距离单位,可利用式(2)计算得出; L_{sat} 为传感器光谱辐射值,可以利用式(3)计算得出; E 为太阳的辐照度; θ 为太阳天顶角。

$$D = 1 - 0.01674 \cos(0.9856(J_d - 4)\pi/180) \quad (2)$$

式中: J_d 为遥感成像的儒略日(Julian Day),可以通过儒略日算法模块获得。

$$L_{\text{sat}} = B_{\text{ias}} + (G_{\text{ain}} \times D_N) \quad (3)$$

式中: B_{ias} 为偏移值; G_{ain} 为增益值; D_N 为象元值。

在 ASTER 影像中,偏移值与增益值大小相等,符号相反,因此 L_{sat} 可以表达为

$$L_{\text{sat}} = G_{\text{ain}} \times (D_N - 1) \quad (4)$$

c. 相对辐射校正^[6]。由于文中使用了多时相影像,为了削弱大气等因素对水面光谱反射的影响,对影像进行了相对辐射校正。以 2005 年数据为基础,利用地面伪不变特征 PIFs(pseudo-invariant features),采用统计回归的方法,对 2004 年数据进行辐射校正。校正过程中,两时相 ASTER 影像各波段间所选择样本点的相关系数均达到 0.95 以上,两时相影像对应样本点的相关性良好。通过回归分析,建立两时相对应波段的线性关系,完成影像的相对辐射校正。

2.2 提取区域内水体

一些学者在研究水体时,提出了多种提取水体的方法。笔者试验利用单波段阈值分割提取水体,但是效果不理想。主要表现在山、云等阴影和湖泊周围长有植物的水体不能被很好地区分。因此本文计算归一化水体指数并选择合适的 NDWI 阈值进行分割,得到水体的掩膜。

$$NDWI = (B_4 - B_1) / (B_4 + B_1)$$

式中: B_1 与 B_4 分别代表 ASTER 影像的第 1 和第 4 波段。

图 2 为不同方法掩膜提取水体的效果:图 2(a) 为原始图像,图 2(b) 为利用第 4 波段取阈值做掩膜提取水体的方法,由于受到岸边水生植物的影响,掩膜不能够很好的提取水体,图 2(c) 为利用 NDWI 取阈值做掩膜的方法提取水体,可以很好的消除河、湖岸边水生植物的影响,提取水体效果良好。

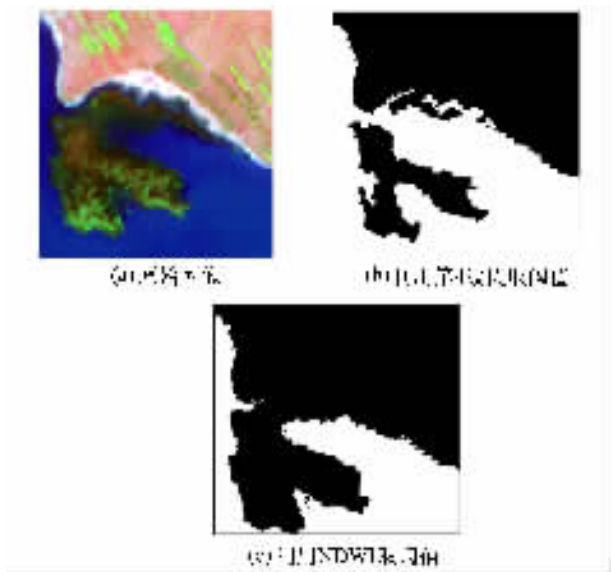


图 2 用掩膜的方法提取水体

3 数据分析与建立反演模型

对于水体中悬浮物的遥感监测模型,已经形成了多种理论与经验、半经验模型^[5-7-8],主要包括线性模型、对数模型、指数模型等^[9-10]。本文经过反复实验,将 14 个点的悬浮物含量与 GPS 点对应的各波段反射率做线性、指数、对数等回归分析,发现 ASTER 影像的 B_1 、 B_2 、 B_3 波段与水中悬浮物浓度均有很好的相关性,相关系数见表 2。

表 2 悬浮物浓度与波段 B_1 、 B_2 、 B_3 反射率关系

波段	相关系数 R	决定系数 R^2
B_1	0.720	0.518
B_2	0.780	0.608
B_3	0.945	0.893

在表 2 中可以看到, B_3 波段的反射率与悬浮物质量浓度相关系数达到最大,达 $R = 0.945$ ($R^2 = 0.893$),能够很好地拟合反射率与水中悬浮物浓度之间的关系,如图 3 所示。

在反演悬浮物质量浓度时,其线性模型为

$$\rho = A + K\beta_i \tag{5}$$

式中: ρ 为水体中悬浮物浓度; A 为常数; K 为回归系数,能够较好地描述水体中悬浮物浓度与影像中水体反射率之间的关系。 β_i 为第 i 波段视反射率。

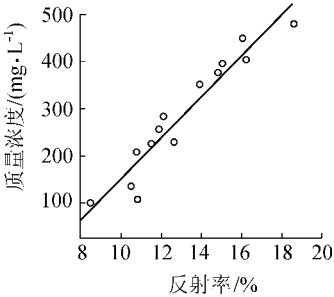


图 3 悬浮物质量浓度回归模拟

本文使用此线性模型,利用 ASTER 第 3 波段的水体反射率与悬浮物含量以线性模型作拟合,生成的反演模型为

$$\rho = 4455.462\beta_3 - 306.758$$
$$R^2 = 0.893 \tag{6}$$

式中: β_3 为第 3 波段的水体反射率。

为了评价模型的精度,利用剩下的 7 个实测样本点对估测模型进行检验,检验结果见表 3。

表 3 模型反演值与实测值比较

样本点号	实测值	估算值	相对误差/%	样本点号	实测值	估算值	相对误差/%
1	137	194	41.6	5	358	296	17.3
2	214	232	8.4	6	598	462	22.7
3	148	142	4.1	7	250	227	9.2
4	265	232	12.5				

从表 3 的检验结果可以看出,反演相对误差最大值为 41.6%,最小为 4.1%,且反演精度大于 80% 的采样点占 71.4%。1 号点估算误差最大,为 41.6%,考察其原因有以下两方面:①1 点距离岸边很近,传感器接收到的信号受周围环境影响很大;②1 号点周围有很多水生植物,植物的叶绿素增加了 B_3 波段的水体反射率,造成此点反演精度的降低。

4 结论与讨论

a. 本文对覆盖松辽平原不同时相的 ASTER 数据进行处理,获得河流、湖泊水体的视反射率,并结合水体中悬浮物浓度实测值,利用线性模型反演测区内水体悬浮物浓度,再经过与地面 7 个实测样点的比较,认为用该方法监测松辽平原水体悬浮物浓度是可行的。

b. 实践证明,当水体中悬浮物的浓度增加时,ASTER 影像的 1-4 波段的水体反射率都有明显增加,且第 3 波段与水中悬浮物浓度关系最为密切,用其与悬浮物实测值建立的线性函数模型,估算松辽平原河流、湖泊水体中悬浮物浓度精度很高。

c. 反演结果(图 4)显示,悬浮物浓度高的湖泊主要集中在大庆市以及松源市的西部,湖泊周围土壤盐碱化严重,植被被破坏, (下转第 90 页)

集 补偿资金的使用 ,补偿资金的监督管理 ,补偿效果的评价 ,补偿政策的贯彻落实与动态调整等。固城湖水源地生态补偿网络如图 1 所示。

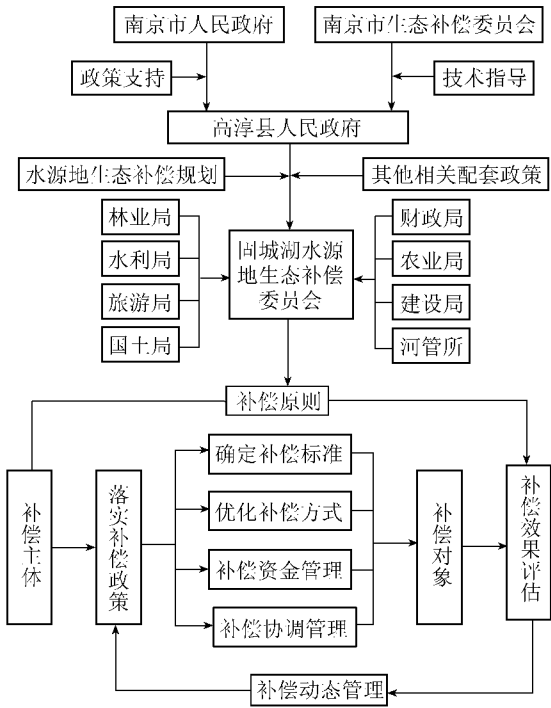


图 1 固城湖水源地生态补偿网络

(上接第 74 页)随着 5、6 月份松辽平原雨水的增多，致使水中的悬浮物浓度明显增高。

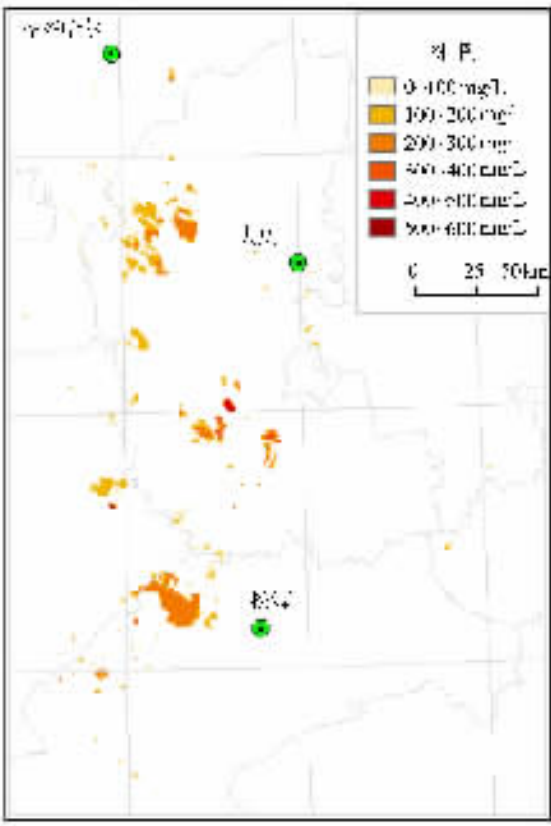


图 4 松辽平原水体中悬浮物浓度

5 结 语

南京市高淳县固城湖水源地不仅是高淳县人民的“大水缸”，同时又是江苏省 15 类重要生态功能保护区之一，为治理和保护好固城湖的生态环境，必须因地制宜选择生态补偿模式，积极筹措生态补偿资金，不断完善政府对生态补偿的调控手段，充分发挥市场机制作用，动员全社会积极参与，逐步建立公平公正、积极有效的水源地生态补偿机制。

参考文献：

[1] 邢平生.对固城湖水资源保护的调查与思考[J].江苏水利 2006(1):37-40.

[2] 毛春梅,张文锦.固城湖富营养化评价及防治对策[J].安徽农业科学 2007 35(28):9005-9006.

[3] 葛颜祥,梁丽娟,接玉梅.水源地生态补偿机制的构建与运作研究[J].农业经济问题 2006(9):22-27.

[4] 方国华,毛春梅,张文锦,等.南京市高淳县固城湖饮用水源地保护规划[R].南京:河海大学,南京市高淳县水务局 2007.

(收稿日期 2008-11-04 编辑:高渭文)

参考文献：

[1] 马荣华,戴锦芳.结合 Landsat ETM 与实测光谱估测太湖叶绿素及悬浮物含量[J].湖泊科学 2005,17(2):97-103.

[2] 刘灿德,何报寅.利用 MODIS 反演长江中游悬浮泥沙含量的初步研究[J].地质科技情报 2006 25(3):99-102.

[3] 姜琦刚,刘占声,邱凤民.松辽平原中西部地区生态环境逐渐恶化的地学机理[J].吉林大学学报:地球科学版,2004 34(3):431-434.

[4] 程博,刘少峰,杨巍然.Terra 卫星 ASTER 数据的特点与应用[J].华东地质学院学报 2003 26(1):15-17.

[5] HU Chuan-min. Assessment of estuarine water quality indicators using MODIS medium-resolution bands: Initial results from Tampa Bay, FL[J].Remote Sensing of Environment 2004 93:423-441.

[6] 张友水,冯学智,周成虎.多时相 TM 影像相对辐射校正研究[J].测绘学报 2006 36(2):122-127.

[7] 齐峰,王学军.内陆水体水质监测与评价中的遥感应用[J].环境科学进展 1999 7(3):90-99.

[8] 蔡伟,余俊清,李红娟.遥感技术在湖泊环境变化研究中的应用和展望[J].盐湖研究 2005 13(4):14-20.

[9] CLAUDIA G, VITTORIO E B. Assessment of water quality in Lake Garda (Italy) using Hyperion[J]. Remote Sensing of Environment 2007 109:183-195.

[10] CHEN Zhi-qiang, HU Chuan-min, FRANK M K. Monitoring turbidity in Tampa Bay using MODIS/Aqua 250-m imagery[J].Remote Sensing of Environment 2007 109:207-220.

(收稿日期 2008-05-04 编辑:高渭文)