

应用 MODIS 影像估测太湖水体悬浮物浓度

祝令亚^{1,2}, 王世新¹, 周 艺¹, 阎福礼¹, 杨龙元³

(1. 中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039;
3. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 江苏 南京 210008)

摘要:以太湖为研究区域,同步获取悬浮物浓度实测数据、水体反射光谱数据和 MODIS 卫星影像数据,构建基于中分辨率成像光谱仪(MODIS)的悬浮物遥感估测模型。为了削弱大气效应,对 MODIS 影像进行了粗略大气纠正。通过悬浮物特征光谱分析,将 MODIS 各敏感波段及波段组合与悬浮物浓度实测值进行相关分析,并应用实测光谱数据进行验证。在此基础上,运用回归分析建立半经验反演模型,并对模型进行了评价和应用。研究表明,MODIS 影像可以很好地对大型内陆湖泊的悬浮物浓度进行遥感估测。250 m 波段 2500 m 波段 4 与 1000 m 波段 14 是探测悬浮物的敏感波段。波段组合上,500 m 组合因子 r_4/r_3 、 r_4-r_3 估测悬浮物含量的精度很高,适于构建反演模型;1000 m 波段 8、11、13、14 的多元组合也是构建模型的较好选择(R^2 均不低于 0.85)。

关键词: 悬浮物浓度; MODIS 影像; 模型; 太湖; 水体

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-6791(2007)03-0444-07

悬浮物是内陆水体中最重要的水质参数之一,其含量的多少直接影响水体透明度、水色等光学性质。同时悬浮物是磷、杀虫剂和金属的载体,其构成与内陆水体的流动、底部特征、生物量及水体自身的循环有关。利用遥感的方法监测内陆水体中的悬浮物含量一般都是成功的,国内外学者对此进行了大量研究。到目前为止,TM 卫星图像是应用最多的遥感数据^[1~3]。TM 所提供的 30 m 分辨率图像可以很好地满足内陆水体的遥感探测要求,但是较低的光谱分辨率和较长的观测周期(16 d)限制了其进一步应用。

中分辨率成像光谱仪(moderate resolution imaging spectrometer, MODIS)数据的出现,给内陆水体悬浮物的遥感监测提供了新的机遇。MODIS 数据具有中等空间分辨率(250~1000 m)、较高的光谱分辨率(36 个波段,波段设置适于探测近海、河口等类水体)和很高的时间分辨率(1 d),并可在全球范围内免费获取。与 TM 相比,MODIS 数据在辐射分辨率(12bit, TM 影像 8bit)、光谱分辨率和时间分辨率上都有较大提高,因此在内陆水体的水质研究中越来越受到重视^[4,5]。Richard 等运用统计方法估测了北墨西哥湾的悬浮物浓度,结果表明 250 m MODIS 数据可以很好地监测面积较小的海湾、河口等近海水体,其中波段 1(中心波长 645 nm)和悬浮物浓度高度相关^[6]。Harna 等利用 MODIS 模拟数据来监测芬兰 85 个湖泊和 105 个沿海水体监测点的水质状况,发现(L531-L748)/(L551-L748)、L667-L748、L748-L870 等波段组合可以用来估测悬浮物的浓度^[7]。吴敏等应用 MODIS 影像对巢湖水质进行探测,并分别建立了叶绿素 a、悬浮物和透明度的定量反演模型,认为波段 10(中心波长 488 nm)和波段 11(中心波长 531 nm)的对数组合监测悬浮物效果最佳^[8]。

本文以太湖为研究区域,结合水质采样数据和实测光谱数据,应用 MODIS 影像对太湖水体的悬浮物浓度进行了遥感估测研究。

收稿日期: 2006-03-25; 修订日期: 2006-05-30

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向性资助项目(KZCX3-SW-334)

作者简介: 祝令亚(1978-),男,山东郓城人,博士研究生,主要从事水质遥感研究。E-mail: zhulingya@126.com

1 数据与方法

1.1 数据采集

太湖湖体面积 2250 km², 平均水深 2 m, 是一个大型浅水内陆湖泊。近些年来, 由于受到环湖地区工业发展的影响, 太湖的水质出现了富营养化现象, 严重影响了区域社会经济发展。研究布设了两个采样区, 其中样区 A 沿着太湖的航线分布, 从梁溪河口一直延伸到太湖湖心, 共 10 个采样点; 样区 B 位于水体污染严重的梅梁湾湖区, 共 15 个采样点(图 1)。于 2003 年 10 月 27、28 日分别对样区 A、B 进行了地面数据的采集工作。利用全球定位系统(global positioning system, GPS)确定采样点的地理坐标, 在每个采样点采集水样。10 月 28 日还进行了水体反射光谱测量(测量仪器为 ASD 野外光谱辐射仪, 工作波段 350~2500 nm)。然后通过实验室分析得到叶绿素 a 和悬浮物的浓度值。这部分工作是在中国科学院南京地理与湖泊研究所太湖站的协助下完成的。遥感影像从 NASA 网站下载, 为 2003 年 10 月 27 日和 28 日的 MODIS AQUA 1B 数据。成像期间太湖上空无云, 卫星影像质量很好。

1.2 数据处理

对获取的 MODIS 影像进行了几何纠正和辐射定标计算。几何纠正采用 Geographic Lat/Lon 投影, 结合 1B 数据中的经纬度信息进行校正, 校正后的位置精度达到 0.5 个像素。辐射定标的目的是得到各像元的反射率值。

为了消除大气影响, 研究采用直方图最小值去除法^[9]对影像进行了大气纠正, 其基本思想是: 假设大气程辐射所导致的反射率增值 r 在一幅图像的有限面积内是一个常数, 其值的大小只与波段有关, 并且近似认为每一波段的反射率最小值 r_{\min} 就是 r 。这样, 将图像中每个像元的反射率值都减去本波段的 r_{\min} , 就可以粗略去除大气影响。图 2 以 2003 年 10 月 28 日样点 9 为例, 给出了大气纠正前后各波段的反射率值对比情况, 并结合该点的实测光谱曲线进行分析(MODIS 数据为 500 m 波段 1~4, 光谱范围 400~900 nm)。从图中可以看出, 纠正后的各波段反射率均得到有效降低, 更接近于地面实测值, 反射率的折线形状也与实测光谱曲线相似。由此可见, 大气纠正的效果是明显的。



图 1 采样区点位布置图

Fig. 1 Sampling sites in Taihu lake

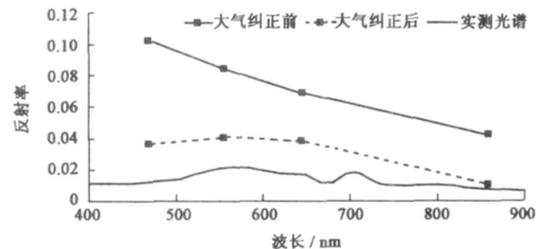


图 2 样点 9 大气纠正效果对比

Fig. 2 Reflectance values for atmospherically corrected before and after corresponding to station 9

在提取采样点反射率信息时, 由于 MODIS 空间分辨率相对较低, 部分采样点的反射率值可能会由于混合像元问题而受到湖岸或漂浮藻类的影响, 从而造成提取偏差。对叶绿素 a 和悬浮物的浓度变化对水体反射率的影响进行分析, 可以发现, 当叶绿素 a 浓度增加到一定程度后(100 $\mu\text{g/L}$ 以上), 会使水体的反射率值出现近红外波段大于红波段的现象, 这是因为叶绿素 a 浓度很高时, 浮游藻类之间会产生“集聚”现象^[10], 使水体表现出类似陆地植被的反射光谱特征; 而悬浮物浓度的增加并不会带来这种影响。根据这一特点, 研究中采用叶绿素 a 浓度实测值结合 MODIS 1、2 波段的反射率(分别为红波段和近红外波段, 波长范围在 620~670 nm, 841~876 nm)来对采样数据的合理性进行检验。满足以下条件的采样点被剔除: 反射率值 $r_1 > r_2$, 采样点 chla 浓度值 $> 100 \mu\text{g/L}$; 反射率值 $r_1 < r_2$, 采样点 chla 浓度值 $< 100 \mu\text{g/L}$ 。通过这一原则, 2003 年 10 月 27 日 250 m

和 500 m 数据剔除 1 点, 1000 m 数据剔除 2 点; 10 月 28 日 250 m 数据剔除 4 点, 500 m 数据剔除 5 点, 1000 m 数据剔除 6 点。研究中应用 28 日数据结合实测光谱进行悬浮物 MODIS 反演模型的构建, 并用 27 日采样数据对模型进行了检验。

1.3 研究方法

在太湖水体悬浮物特征光谱分析的基础上, 选取 MODIS 各敏感波段反射率值进行组合, 采用半经验方法, 讨论各波段反射率组合与悬浮物浓度实测值之间的相关性; 将相同波段组合的实测光谱数据与悬浮物浓度进行相关分析, 对 MODIS 的分析结果进行验证。对验证后的 MODIS 反射率因子, 相关性好的建立一元线性回归模型; 其它因子则进行多元线性回归分析, 基于多波段信息构建多元回归模型。最后对所建模型进行评价和应用。

2 结果与讨论

2.1 悬浮物特征光谱

图 3 是叶绿素 a 浓度较低, 悬浮物浓度不同的 3 种太湖水体的同步实测光谱曲线。从图中可以看出, 水体

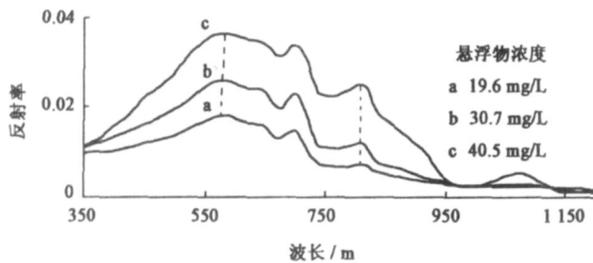


图 3 不同悬浮物浓度的太湖水体反射光谱曲线

Fig. 3 Reflectance spectra of water in Taihu lake with different SS concentrations

反射率呈现典型的内陆湖泊光谱特征^[3,12,13]。受悬浮物散射影响, 反射率在 500 ~ 650 nm 和 780 ~ 830 nm 范围内有明显提升, 并分别于 580 nm 和 810 nm 附近形成反射峰(700 nm 附近的峰值是受叶绿素 a 影响所致^[11,14])。比较不同悬浮物浓度的光谱曲线可以看出, 水体反射率随悬浮物含量的增加而单调增加, 但其增幅不同, 在 500 ~ 650 nm 和 780 ~ 830 nm 两个区域内增幅最为明显。可见这两个区域内的波段对悬浮物浓度的变化比较敏感。另外, 悬浮物浓度的增加还会导致水体反射峰的位置向长波方向偏移。图中虚线显示了这一点, 但是由于悬浮物浓度变化较小, 偏移现象并不明显。相关研究表明, 500 ~ 600 nm 和 700 ~

900 nm 的波段范围适合用来监测悬浮物^[2,3], 这与本文的分析结果吻合。也有学者认为, 当悬浮物浓度在 0 ~ 50 mg/L 的范围时, 任何波段的反射率和悬浮物浓度都呈现较强的相关性^[1]。由于研究中绝大部分样点的悬浮物浓度实测值都小于 50 mg/L, 这一结论也值得借鉴。

2.2 MODIS 波段相关分析

处理后的 MODIS 数据分为 3 组不同空间分辨率的反射率数据。其中 250 m 数据包括 1、2 两个波段; 500 m 数据包括 1~7 共 7 个波段, 波段 1、2 由 250 m 数据经重采样降低分辨率得到; 1000 m 数据包括波段 1~19 及 26 共 22 个波段(波段 13、14 的数据在高增益和低增益两处获得), 波段 1、2 与波段 3~7 分别由 250 m 和 500 m 数据降低分辨率得到。将 2003 年 10 月 28 日反射率数据的单波段和多波段组合(任两波段的比值和差值)共 403 种因子与悬浮物浓度实测值进行 Pearson 相关分析。结合悬浮物反射光谱特征, 分析中去除了光谱范围在 1200 nm 以后的波段 5、6、7 及 26, 并重点考察 500 ~ 600 nm 以及 700 ~ 900 nm 范围内的 2、4、11、12、15、16 等敏感波段。分析结果见表 1(表中 r 表示波段反射率), 共列出了相关系数 > 0.7 的 57 个因子。

表 1 MODIS 反射率因子与悬浮物浓度相关分析结果

Table 1 Results of correlation analysis between MODIS band combinations and SS concentration measurements

MODIS 波段组合/m	显著相关(R > 0.7)
250	r2; r2/ r1
500	r4/ r3; r4; r1-r3; r1/ r3; r1; r3/ r1; r3/ r4; r3-r4
1000	r2/ r18; r16/ r18; r14/ r18; r14/ r8; r14/ r9; r14-r18; r14/ r3; r14-r19; r14/ r19; r14; r14/ r10; r14-r17; r14-r16; r17/ r19; r14/ r15; r14/ r17; r14/ r2; r14/ r16; r14/ r11; r14/ r1; r14/ r4; r14/ r12; r16/ r19; r9/ r8; r8/ r9; r12/ r14; r4/ r14; r12-r14; r18/ r14; r4-r14; r1/ r14; r1-r14; r11-r14; r11/ r14; r19/ r17; r19/ r16; r2-r14; r10-r14; r3-r14; r9-r14; r8-r14; r10/ r14; r18/ r16; r3/ r14; r9/ r14; r8/ r14; r18/ r2

结果显示, 250 m 数据中波段 2(中心波长 858.5 nm)和比值组合 r2/ r1 与悬浮物浓度的相关系数达到了 0.7 以上。在 500 m 数据中, 波段 1(中心波长 645 nm)和波段 4(中心波长 555 nm)与悬浮物浓度高度相关; 波段组合中, 波段 3、4, 波段 1、3 的比值和差值组合与悬浮物浓度的相关性都很高, 其中 r4/ r3、r3/ r4、r3-r4 的相关系数更是达到 0.9 以上。1000 m 波段 14(中心波长 678 nm, 低增益)及含有该波段的多个组合因子与悬浮物浓度呈现强相关, 说明该波段是探测悬浮物的敏感波段。另外, 波段 8、9 的比值组合, 以及其它海洋波段的一些组合相关性也在 0.7 以上。

2.3 实测光谱验证

应用 2003 年 10 月 28 日同步获取的太湖实测光谱数据与悬浮物浓度值进行相关拟合, 对 MODIS 数据的分析结果进行验证。图 4 和图 5 分别显示了实测光谱单波段和波段组合的分析结果, 其中波段组合也采用比值和差值算法。研究中重点验证了 MODIS 500 m 数据。为了便于比较, 按中心波长的位置在图中对应标出了 MODIS 分析结果(500 m 数据 1~4 波段, 单波段中标出 R > 0.7 的结果, 波段组合中标出 R > 0.6 的结果)。从图中可以看出, MODIS 单波段的相关性与实测光谱结果是一致的(波段 2 的相关性为 0.69); 组合算法中, 与悬浮物相关性好的 MODIS 波段组合也都位于实测光谱的强相关区域内。由此可见, MODIS 的分析结果与实测光谱的结果吻合。

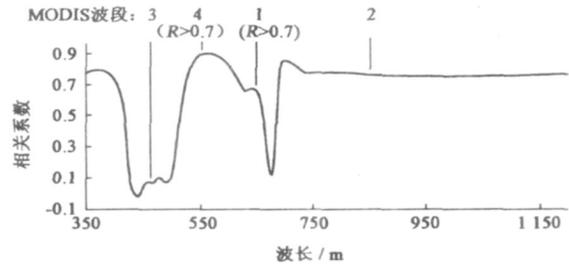


图 4 实测光谱数据单波段相关性分析结果

Fig. 4 Result of correlation analysis between field spectra single bands and SS concentration measurements

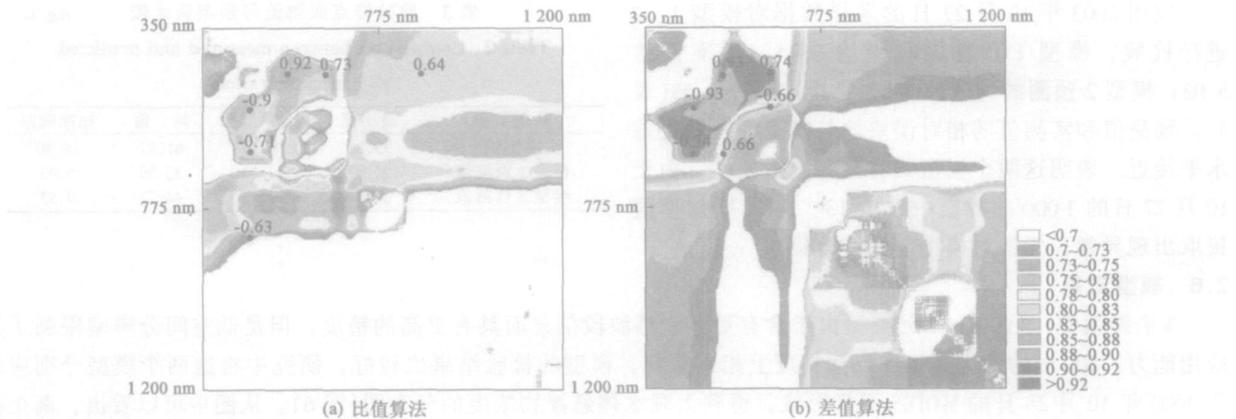


图 5 实测光谱数据波段组合相关性分析结果

Fig. 5 Result of correlation analysis between field spectra band combinations and SS concentration measurements

2.4 讨 论

MODIS 数据的分析结果中, 位于绿、红、近红外范围的波段 4、14、2 以及含有这些波段的多个组合因子与悬浮物浓度高度相关, 说明这些波段是探测悬浮物的敏感波段。其中波段 4、2 分别位于 500 ~ 600 nm 和 700 ~ 900 nm, 与悬浮物特征光谱相对应, 是构建反演模型的优选波段。值得注意的是, 不同空间尺度的相同波段在分析结果上存在一定差异, 这表明通过重采样方法进行空间分辨率的变换会对像元反射率的提取造成影响。因此, 需要对 500 m 波段 1 的结果进行更深入的论证。

MODIS 250 m 两个波段的组合在探测精度上存在不足。相对于 250 m 数据, 500 m 数据提供了更多的波段信息, 与悬浮物浓度的相关性也更强, 因此更适于用来反演悬浮物。其中 r_4/r_3 、 r_4-r_3 等蓝绿波段的组合相关系数均在 0.9 以上, 是构建遥感估测模型的首选因子。在 1000 m 数据中, 海洋波段 14 以及 8、9、16 的一些组合显示出对悬浮物的敏感性, 但是过低的空间分辨率会对其在内陆水体中的应用产生影响。

实测光谱的分析结果中, 比值算法中的 (500 ~ 600 nm) / (420 ~ 500 nm)、(700 ~ 1200 nm) / (350 ~ 510 nm) 与 (420 ~ 500 nm) / (500 ~ 600 nm) 等区域, 差值算法中的 (500 ~ 670 nm) - (380 ~ 520 nm)、(600 ~ 700 nm) - (550 ~ 700 nm) 等对称区域与悬浮物的相关性较高, 这些区域涵盖了 MODIS 与悬浮物高度相关的波段组合, 从而进一步验证了 MODIS 的分析结果。

2.5 模型构建与评价

结合 MODIS 分析结果和实测光谱验证, 选取 MODIS 500 m 波段组合 r_4/r_3 和 r_4-r_3 作为遥感因子, 通过一元线性回归建立悬浮物反演模型; 对 MODIS 1000 m 数据中的海洋波段 8 ~ 16 与悬浮物浓度进行多元线性回归分析, 基于多波段信息构建多元回归模型。各模型的形式与精度评价见表 2。

表 2 MODIS 反演模型及精度评价

Table 2 MODIS retrieval models and precision evaluations

序号	模型形式	R^2	最大相对误差/ %	最小相对误差/ %	平均相对误差/ %	MSE
1	$C_{SS} = 101.85(r_4/r_3) - 81.84$	0.85	55.52	0.88	13.33	5.08
2	$C_{SS} = 2706(r_4-r_3) + 19.92$	0.86	53.49	2.91	13.42	4.99
3	$C_{SS} = -12466r_8 + 8684.9r_{11} - 414.6r_{13} + 234.5r_{14} + 118.7$	0.98	9.87	0.03	5.33	2.63

表中 C_{SS} 为悬浮物浓度; r_3 , r_4 为 MODIS 500 m 波段 3, 4 反射率; r_8 , r_{11} , r_{13} , r_{14} 为 MODIS 1000 m 波段 8, 11, 13, 14 的反射率。

应用 2003 年 10 月 27 日的采样数据对模型 1、2 进行检验, 模型 1 预测的均值为 33.5, 标准偏差 5.03; 模型 2 预测的均值为 44.71, 标准偏差 9.53(表 3)。预测值和实测值的相对误差均与模型本身的误差水平接近, 表明这两个模型具有良好的适用性。由于 10 月 27 日的 1000 m 数据中波段 13、14 的反射率值提取出现异常, 无法对模型 3 进行检验。

2.6 模型应用

3 个模型中, 1000 m 多元模型由于含有更多敏感波段信息而具有更高的精度, 但是低空间分辨率限制了其应用能力。500 m 的两个模型在反演精度上相差无几, 模型的检验结果也较好, 研究中将这两个模型分别应用于 2003 年 10 月 28 日的 MODIS 卫星影像, 得到太湖水体悬浮物浓度的分布图(图 6)。从图中可以看出, 两个模型的计算结果一致。梅梁湾的悬浮物浓度分布很好地体现了当日的实地观测结果, 东部沿岸以及南部区域的水体较为混浊。从整个湖区来看, 太湖湖心区和梅梁湾的部分区域悬浮物浓度相对较高, 而东太湖悬浮物浓度相对较低, 水体清澈, 这也较好地体现了太湖水质状况的空间分布特征。

表 3 检验样点实测值与预测值比较 mg/L

Table 3 Comparison between measured and predicted

SS concentration				
数据类型	最小值	最大值	均值	标准偏差
实测值	33.88	78.56	61.47	16.30
模型 1 预测值	25.97	29.42	33.50	5.03
模型 2 预测值	29.42	29.42	44.71	9.53

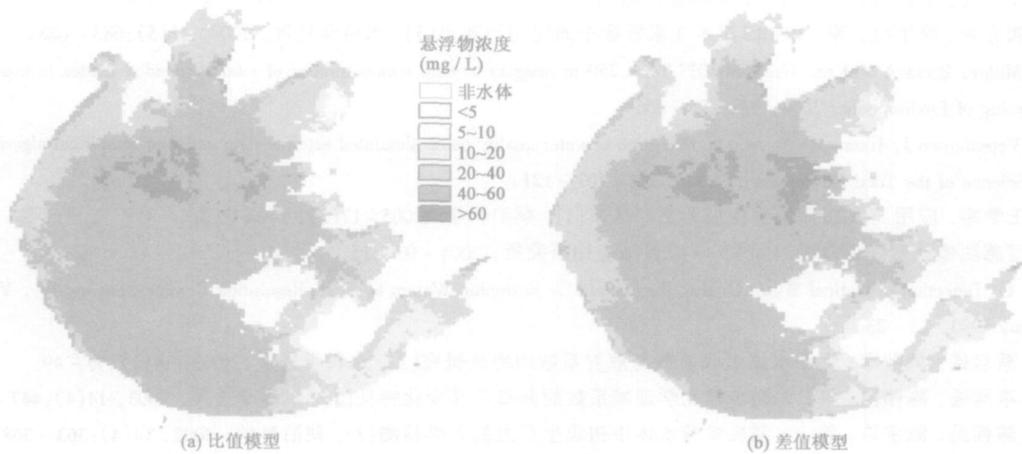


图6 太湖水体悬浮物浓度分布图(2003年10月28日)

Fig. 6 Distributions of SS concentration in Taihu lake (October, 28 2003)

3 结论与展望

研究表明, MODIS 影像可以很好地对内陆水体的悬浮物浓度进行遥感估测。MODIS 具有较高的辐射分辨率和光谱分辨率, 对悬浮物等水质参数的反应比较灵敏, 其多个光谱通道和多尺度的空间信息也为构建反演模型提供了更多选择。而且, MODIS 观测周期短、数据免费获取等优势可以有效弥补 TM 等数据的不足, 对于水质变化的观测意义重大。但是, 由于空间分辨率相对较低, MODIS 影像对中小型湖泊适用性较差, 比较适用于大型内陆湖泊。研究结果也证实了这一点, MODIS 250m 和 500m 数据能够较好地反映出太湖水体的水质状况。

由于可见光到近红外范围内的波长能较好的体现悬浮物光谱特征, 研究选取了 MODIS 在此范围内的波段 1~4 和 8~19 进行研究。结果显示, 位于绿、红、近红外范围的波段 4、14、2 是探测悬浮物的敏感波段, 其中波段 2 和波段 4 与悬浮物的特征光谱相对应, 适于用来反演悬浮物浓度。分析中, MODIS 500 m 数据与悬浮物的相关性最高, 其中 r_4/r_3 、 $r_4 \sim r_3$ 等蓝绿波段的组合相关系数均在 0.9 以上, 是构建模型的首选。1000 m 海洋波段 8、11、13、14 的多元组合也是构建模型的较好选择。

研究在低叶绿素 a 浓度的前提下构建了悬浮物遥感反演模型, 模型对于叶绿素 a 浓度较高季节的适用性还有待进一步验证。从模型的应用结果来看, 所得悬浮物的浓度分布能够较好地体现太湖水质状况的空间分布特征, 模型的检验结果也表明了这一点。但是, 对于东太湖区域, 尽管模型的应用结果较好, 但由于东太湖和其他水域的水体特征差异较大, 模型在此区域的应用仍需验证和核实。因此, 进一步修正和完善模型, 使其更好地推广应用于整个太湖湖区, 是必要而且重要的。另外, 统计模型本身的精度和适用性有限, 在今后的工作中, 开展更多方法的建模研究, 诸如主成分分析、神经网络等, 对于理解内陆水体水质遥感反演机理, 提高遥感估测模型精度具有重要意义。

参考文献:

- [1] Ritchie J C, Cooper C M, Schiebe F R. The relationship of MSS and TM digital data with suspended sediments, chlorophyll, and temperature in Moon lake, Mississippi[J]. Remote Sensing of Environment, 1990, 33:137 - 148.
- [2] Steven M Kloiber, Patrick L, Brezonik, *et al.* A procedure for regional lake water clarity assessment using Landsat multispectral data[J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 82: 38 - 47.
- [3] 周 艺, 周伟奇, 王世新, 等. 遥感技术在 inland 水体水质监测中的应用[J]. 水科学进展, 2004, 15(3):312 - 317.

- [4] 吕 恒, 江 南, 李新国. 内陆湖泊的水质遥感监测研究[J]. 地球科学进展, 2005, 20(2): 185 - 192.
- [5] 彭定志, 熊立华, 郭生练, 等. MODIS 在水文水资源中的应用与展望[J]. 水科学进展, 2004, 15(5): 683 - 688.
- [6] Richard L Miller, Brent A McKee. Using MODIS Terra 250 m imagery to map concentrations of total suspended matter in coastal waters[J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 93: 259 - 266.
- [7] Harma P, Vepsalainen J, Hannonen T, *et al*. Detection of water quality using simulated satellite data and semi-empirical algorithms in Finland [J]. The Science of the Total Environment, 2001, 268: 107 - 121.
- [8] 吴 敏, 王学军. 应用 MODIS 遥感数据监测巢湖水质[J]. 湖泊科学, 2005, 17(2): 110 - 113.
- [9] 朱重光. 遥感图像处理[EB/DK]. 中国科学院遥感应用研究所, 2004 - 03 - 15.
- [10] Dekker A G. Detection of Optical Water Quality Parameters for Eutrophic Waters by High Resolution Remote Sensing[D]. Vrije University, Amsterdam, 1993, 22 - 23.
- [11] 俞 宏, 蔡启铭, 吴敬禄. 太湖水体吸收系数与散射系数的特征研究[J]. 水科学进展, 2003, 14(1): 46 - 49.
- [12] 张运林, 秦国强, 陈伟民, 等. 太湖水体光学衰减系数的分布及其变化特征[J]. 水科学进展, 2003, 14(4): 447 - 453.
- [13] 杨顶田, 陈伟民, 陈宇炜, 等. 太湖梅梁湾水体中初级生产力的光学检测[J]. 湖泊科学, 2002, 14(4): 363 - 368.
- [14] 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.

Estimation of suspended sediment concentration in Taihu lake using MODIS image data *

ZHU Ling-ya^{1,2}, WANG Shi-xin¹, ZHOU Yi¹, YAN Fu-li¹, YANG Long-yuan³

(1. Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;

3. Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract: Some models based on (moderate resolution imaging spectrometer, MODIS) image data for estimating concentration of the suspended sediment (SS) are developed by taking Taihu lake as an experimental site in this study. SS concentration measurements, field spectra and MODIS images are obtained concurrently. An image-based atmosphere correction method is applied in preprocess of MODIS image data to reduce the atmospheric effect. Based on studying the spectral characteristic of SS, the suitable MODIS bands and band combinations are correlated with SS measurements. The field spectra data is used to confirm the result. Then, using simple regressive and multivariate regression analysis, the semi-empirical retrieval models are developed, evaluated and applied. This study demonstrates that MODIS images are useful in estimating SS concentration in large inland lakes like Taihu lake. Bands 2, 4, 14 with different resolutions of 250 m, 500 m and 1000 m are suitable to detect SS concentration. The combinations of $r4/r3$ and $r4 - r3$ with 500 m resolution, the multivariate combination of bands 8, 11, 13, 14 with 1000 m resolution are chosen to develop the retrieval models ($R^2 = 0.85$).

Key words: suspended sediment concentration; moderate resolution imaging spectrometer; image data; model; Taihu lake

* The study is financially supported by the Knowledge Innovation Project of Chinese Academy of Sciences (KZCX3-SW-334).