

基于水面实测光谱的太湖蓝藻卫星遥感研究^{* 1}

韩秀珍¹⁾ 吴朝阳²⁾ 郑伟¹⁾ 孙凌¹⁾

¹⁾(国家卫星气象中心,北京 100081) ²⁾(遥感科学国家重点实验室,中国科学院遥感应用研究所,北京 100101)

摘 要

水体叶绿素 a 含量和蓝藻密度是评价水质污染的主要参数,对监测水体蓝藻水华有重要意义。该文利用 2008 年 11 月 10 日和 11 日太湖水面实测光谱及 FY-3A/MERSI, AQUA/MODIS 卫星的波段响应函数,计算了卫星波段的水体表面等效反射率。水体实测光谱显示蓝藻污染提高了近红外波段的遥感反射率,在蓝光波段和绿光波段有明显的吸收谷和反射峰。根据这一原理,该文建立了近红外和红光波段的比值指数 RI 模型,成功反演了太湖水体叶绿素 a 含量(均方根误差分别为 $0.0174 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.0188 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)和蓝藻密度(均方根误差分别为 $247.21 \times 10^6 \text{ L}^{-1}$ 和 $275.64 \times 10^6 \text{ L}^{-1}$)。这一结果为分析太湖水面光学特性、水质污染状况提供了重要依据。

关键词: 遥感反射率; 蓝藻; FY-3A/MERSI; AQUA/MODIS

引 言

我国 66% 以上的湖泊和水库已处于富营养化水平,其中 22% 属于重富营养和超富营养^[1]。卫星遥感数据已经成为大面积、迅速评估水质的有效方法。近年来,利用遥感数据对太湖水体水污染程度的评价方法得到了很大发展^[2-3]。太湖水体污染面临的最大问题是大规模的季节性蓝藻暴发。针对蓝藻水华的污染评估,卫星遥感数据发挥了巨大作用。多种传感器数据,如 Landsat/TM^[4], AQUA/MODIS^[5-6], MERIS^[7] 以及实测数据^[8] 都在太湖水体叶绿素浓度、悬浮物以及蓝藻密度遥感反演方面取得了一定成果。其中周冠华等^[9] 利用半分析算法同时反演多种水质参数,并利用太湖实测的吸收系数与后向散射系数数据与 Landsat/TM 数据,利用 Gordon 半分析模型,对叶绿素 a、悬浮物与黄色物质进行了同步反演,探讨了半分析算法适用于内陆水体多光谱遥感数据的潜力,这一结果提升了遥感数据在水体污染评价中的作用。

卫星遥感获取蓝藻水华信息的一个重要前提在于获取水面有效的遥感反射率,遥感反射率可以准确地反映水质变化程度,如悬浮物浓度、泥沙含量等^[10-17]。基于这一点,本文以太湖为研究对象,基于

蓝藻暴发前后的水面实测光谱数据,获取太湖水体表面的遥感反射率数值,研究蓝藻对遥感反射率的影响。这一研究将对利用光谱数据监测水质情况提供理论依据。通过 FY-3A/MERSI (Medium Resolution Spectral Image) 和 AQUA/MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) 数据的波段响应函数,本文进一步获取了基于卫星波段的遥感反射率数值,并应用于实际的太湖区域叶绿素 a 含量和蓝藻密度的反演研究。这些初步结果将对全面评价太湖水体光学特征及 FY-3A/MERSI 卫星数据的进一步利用提供参考。

1 数据与方法

1.1 试验区

太湖是我国第三大淡水湖,位于江苏省南部,浙江省北部。太湖富营养化明显,磷、氮营养过剩,20 世纪 80 年代末主要污染物总磷、总氮属严重超标,伴随着该地区高速发展的城市化进程,区域内的河流富营养化比较严重,水质属于 II~V 类,局部地区甚至为劣 V 类。

2008 年 11 月 10—12 日进行了实地的水面光谱测量和水体水质采样,其中 3 d 的采样点数量分别为 11, 14, 14, 共计 39 个采样点(图 1)。

* 国家自然科学基金项目“基于风云三号数据的太湖蓝藻水华监测模型研究”(40801176/D010702)资助。
2010-02-08 收到, 2010-07-05 收到再改稿。

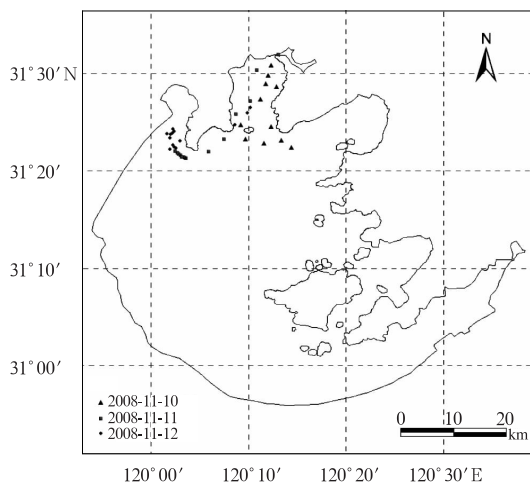


图1 研究区概况
Fig. 1 Study area

1.2 水面光谱测量

遥感反射率测量使用的仪器为美国 ASD 公司 (Analytical Spectral Devices, Inc) 生产的野外光谱仪, 产品型号为 FieldSpec Pro FR。仪器覆盖光谱范围为 350 ~ 2500 nm, 光谱分辨率为 3.5 nm (VNIR) 和 10 nm (SWIR), 仪器的视场角为 8°。测量中使用了中国科学院安徽光学精密机械研究所生产的 20 cm × 20 cm 高反射率 (0.98) 聚四氟乙烯漫反射板为参考标准板, 另外, 利用参考板室内方向反射比 (BRF) 数据对测量中太阳入射角的影响进行校正。

水面反射光谱数据测量随测量船进行, 在 GPS 导航下, 采用定点测量方式。对于太湖水面每一个点位的反射光谱测量, 分别对水体和参考板进行反射光谱测量, 同时水体的测量方式包括垂直水体和与垂直水面倾斜 45° 两种方式。测量时仪器放置在船头一侧, 将 ASD 光谱仪光纤探头离开船体 1.5 m 以上, 安放在船上的标准板水平调准。每种目标进行 2/5/2 次 (参考板/样本/参考板) 测量, 每种测量在 1 min 内完成, 以避免太阳照度变化所引起的测量误差。另外, 对每个测量点位进行相关信息 (时间、测量样本内容、测点记录号、经纬度、天气等) 记录。

1.3 水质参数测量

水质参数主要包括水体 pH 值、水温、叶绿素 a 和蓝藻密度等参数。本文研究的主要水质参数及测量方法见表 1。试验中, 光谱测量的同时进行水体采样, 并利用 GPS 定位, 对应于卫星数据。

1.4 遥感反射率计算方法与结果

1.4.1 计算方法

数据处理之前, 首先将原始测量数据文件转换

表 1 试验选择的水质参数及测量方法

Table 1 The water quality variables and the sampling methods

水质参数	检测方法	国标	单位
叶绿素 a	分光光度法	SL88-1994	mg · L ⁻¹
蓝藻密度	Hach Hydrolab DS5		10 ⁶ L ⁻¹

注: Hach Hydrolab DS5 为便携式的水质分析仪; SL88-1994 为叶绿素分光光度法测量国家标准。

成 ASC II 文件, 然后按照垂直和倾斜测量数据分别进行遥感反射率计算。分别计算 5 个点水面测量的目标反射辐射与天空辐射的差除以参考板反射辐射再乘参考板的 BRF 数据, 取 5 个样本点的平均值, 最后获得水表面遥感反射率 (式 (1))。

$$R_{\lambda} = \left(\sum_{i=1}^n \rho_{\lambda} (F_{i_{\lambda t}} - F_{i_{\lambda \text{SKY}}} \times 0.028) / F_{0_{\lambda t}} \right) / n, \quad (1)$$

式 (1) 中, R_{λ} 为水表面遥感反射率; ρ_{λ} 是目标测量时刻太阳天顶角对应的参考板的双向反射比因子 (BRF); $F_{i_{\lambda t}}$ 为来自目标的反射辐射; $F_{i_{\lambda \text{SKY}}}$ 为天空辐射; 常数 0.028 为镜面反射率; $F_{0_{\lambda t}}$ 是来自参考板的反射辐射; $i=1, 2, \dots, 5; n=5$, 即为观测次数。

1.4.2 计算结果

① 遥感反射率随蓝藻污染的光谱响应。

试验期间总共获取了水面的光谱采样数据和对应的水体水质参数 (叶绿素 a 含量、蓝藻密度) 共 39 对数据。通过光谱分析, 当水体蓝藻污染较少时, 获得的遥感反射率变化不大, 如图 2 所示。对于清洁水体, 光谱遥感反射率最高峰值在 570 nm 附近, 次峰在 700 nm 附近, 第 3 个峰在 810 nm 附近。反射波谱主要体现的水体的特征, 即在近红外波段 (大于 800 nm) 以后, 遥感反射率急剧降低, 数值在 2% 左右, 950 nm 之后几乎为零。

对于蓝藻污染严重的水体, 遥感反射率变化较大 (图 3)。无蓝藻污染的采样点 5、采样点 15 样本遥感反射率与采样点 25、采样点 35 遭到蓝藻污染样本的遥感反射率存在很大差异。蓝藻污染样本的遥感反射率在 440 nm, 678 nm 附近出现吸收谷; 从 690 nm 开始遥感反射率急剧上升, 最大为 760 ~ 820 nm。受蓝藻污染的水体呈现明显的非朗伯特特性, 各向异性增强, 受水体色素反射的影响, 遥感反射率数值相对较高, 一般在 0.22 ~ 0.30 之间。

比较不同蓝藻污染的水体光谱可知, 2008 年 11 月 11 日蓝藻污染水体明显呈现出植被 (蓝藻) 光谱的贡献 (图 4), 其主要区别在绿光波段和近红外波段。

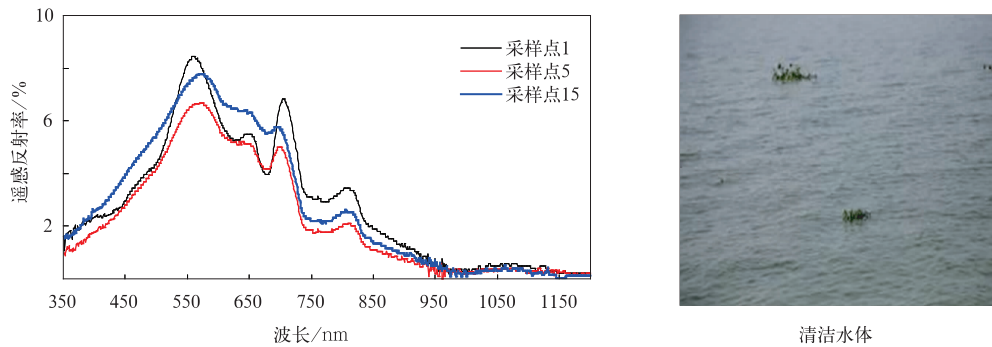


图 2 清洁水体的遥感反射率(采样点 1,5,15 为蓝藻污染较少的观测点)

Fig. 2 Measurements of remote sensing reflectance for NO. 1, 5, 15 (samples of little cyanophytes contaminations)

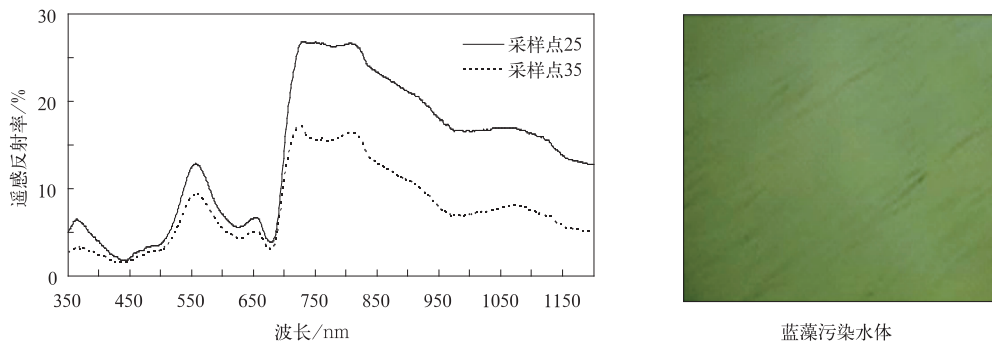


图 3 蓝藻污染水体的遥感反射率(采样点 25,35 为蓝藻污染严重的观测点)

Fig. 3 Measurements of remote sensing reflectance for NO. 25, 35(samples of cyanophytes contaminations)

这两个波段都是绿色植被的典型反射特征,绿光波段的反射峰是由于水体中蓝藻色素的存在,使得波谱在 550 nm 附近有一个比较明显的反射特征。另一个重要区别是近红外波段,即波长大于 750 nm 部分。对于没有蓝藻污染的水体,主要体现的是水体反射特征,近红外波段以后是水体的强吸收波段,反射率几乎为零。蓝藻暴发后,水体更多的反映的是绿色植被的特征,由于蓝藻细胞的结构特征造成了光线的多次散射,进而提高了近红外波段的反射率,为利用光谱特征评价水质的污染程度提供依据,这一结果也和实际的水质采样分析结果一致(表 2)。

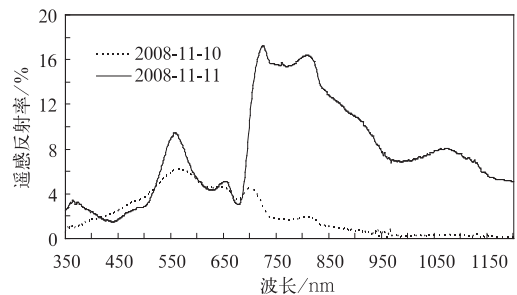


图 4 2008 年 11 月 10 日和 11 日遥感反射率结果比较

Fig. 4 Comparison between the remote sensing reflectance obtained on 10 Nov 2008 and 11 Nov 2008

表 2 典型水体采样点信息

Table 2 Information of typical samples for clean and cyanophytes contaminations water

水体	采样点	纬度	经度	叶绿素 a 含量/(mg · L ⁻¹)	蓝藻密度/(10 ⁶ L ⁻¹)
清洁	1	31°27'23.0"N	120°11'15.8"E	0.0148	188
	5	31°23'15.1"N	120°09'30.7"E	0.0081	123
	15	31°21'57.1"N	120°05'56.9"E	0.0041	95
蓝藻污染	25	31°22'50.6"N	120°01'58.3"E	0.13760	3901
	35	31°22'31.8"N	120°02'06.3"E	0.24419	4224

② 遥感反射率的方向性特征

除了对比垂直方向的遥感反射率,这里也介绍了不同方向水体测量的结果(图 5)。从图 5a 中可

以看出,对于无蓝藻污染的相对较为清洁的水体,垂直测量和倾斜测量结果的差异较小,光谱曲线的趋势和数值都比较相近。但对于蓝藻污染的水体,光

谱曲线的趋势一致,但数值差别很明显,一般为5%左右(图5b)。对于有蓝藻的水体,垂直和倾斜测量造成遥感反射率差异的原因主要是蓝藻水体的方向性增强。蓝藻污染增加了水体的各向异性,因而在倾斜测量时传感器得到了更多的反射能量,并且

这种遥感反射特征趋近于植被在可见光、近红外波段的光谱特性。一方面主要是蓝藻主要色素的作用结果,另一方面也为利用指数这一模型监测蓝藻暴发提供了理论依据。

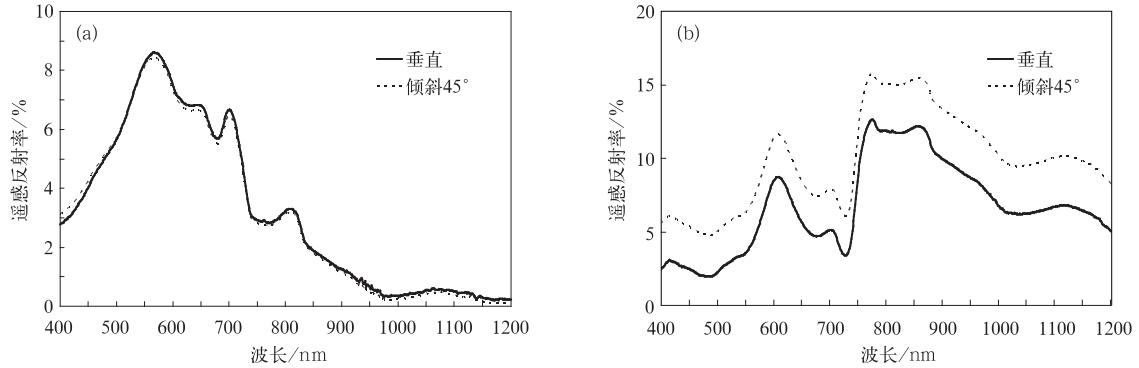


图5 垂直测量与倾斜45°测量的遥感反射率比较 (a)清洁水体, (b)蓝藻污染水体

Fig. 5 Comparison between the remote sensing reflectance obtained at nadir and at 45° departure (a) clean water, (b) cyanophytes contaminations

2 卫星波段遥感反射率的转换及应用

2.1 卫星波段遥感反射率获取及对蓝藻监测的意义

在利用卫星资料实现远距离太湖污染动态监测中,地面观测数据是进行卫星观测数据分析的参照。卫星观测信号的响应依赖于卫星波段的光谱响应函数,而地面观测的高光谱反射率数据是连续的。为此,有必要将 ASD 光谱仪测量获得的高光谱反射率数据转换为卫星波段的等效反射率。转换模型为

$$R_{eq} = \frac{\int R_{FR}(\lambda) f_{FY}(\lambda) d\lambda}{\int f_{FY}(\lambda) d\lambda} \quad (2)$$

式(2)中, R_{eq} 为卫星波段等效测量反射率; R_{FR} 为 ASD 光谱仪测量获得的高光谱反射率; f_{FY} 为卫星波段光谱响应函数。

FY-3A/MERSI 中分辨率成像仪和 AQUA/MODIS 传感器的可见光、近红外波段是进行太湖水体监测的主要波段,因此需要将 ASD 测量遥感反射率转换为该两种传感器波段的等效反射率。图6展示了 FY-3A/MERSI, AQUA/MODIS 可见光、近

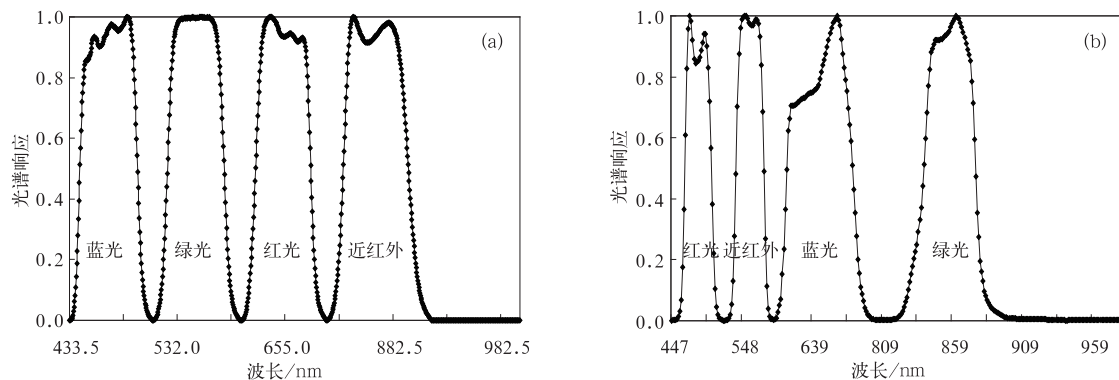


图6 FY-3A/MERSI (a)和 AQUA/MODIS (b)波段光谱响应

Fig. 6 Spectral response in channel of FY-3A/MERSI (a) and AQUA/MODIS (b)

红外波段光谱响应曲线。利用 2008 年 11 月 10 日和 11 日 ASD 获得的遥感反射率、FY-3A/MERSI 4 个波段和 AQUA/MODIS 对应波段的光谱响应函

数,结合式(2)进行卷积计算,得到相关波段地面测量等效反射率。

表 3 列出了垂直水面测量的相关波段等效反射

率计算结果。由表 3 可知, FY-3A/MERSI 和 AQUA/MODIS 4 个相对应波段的光谱响应比较接近, 但是各对应波段的光谱位置和带宽略有差异, 这使得卫星波段的等效反射率出现一定偏差。对于没有蓝藻污染的水体, 由于水体属于低遥感反射率目标, 在近红外和短波红外波段的遥感反射率很小, 该波段的遥感反射率差异较大; 对于有蓝藻污染的水体, 由于近红外窗口区波段遥感反射率本身数值较大(如近红外波段和中红外波段), FY-3A/MERSI 和 AQUA/MODIS 的相对误差不大。太湖试验获得的 FY-3A/MERSI 可见光、近红外波段遥感反射率与 AQUA/MODIS 对应波段遥感反射率的量化关系, 对进行两传感器对太湖遥感数据的融合提供了基础数据。

另外, 对比 FY-3A/MERSI 和 AQUA/MODIS 相应波段有无蓝藻污染情况的水体, 可以发现监测蓝藻水华的特征波段。对于可见光部分, 蓝藻的存在主要影响蓝光波段和绿光波段, 对应于 FY-3A/MERSI 的蓝光波段~绿光波段和 AQUA/MODIS 的红外波段~近红外波段, 蓝色吸收谷加深(约

60%), 同时增加了绿色的遥感反射峰(约 2 倍)。红光波段的变化范围不大(FY-3A/MERSI 红光波段、AQUA/MODIS 红光波段), 变化量约为 5%~10%。对于近红外波段, 蓝藻出现极大地提高了在该波段的遥感反射率。无蓝藻情况下, 近红外波段主要体现水体的遥感反射特征, 即遥感反射率趋近于零; 有蓝藻条件下, 近红外波段遥感反射率有一个陡升, 遥感反射率在 40% 左右。由此可以得出结论, 水体蓝藻监测的主要敏感波段为可见光蓝光、绿光波段和近红外波段, 这 3 个波段的特征变化主要反映了水体的蓝藻信息。这一结论也和现有的研究结果相一致, 如 Gitelson 等^[15]利用近红波段的遥感反射率反演了水体的叶绿素 a 含量。

中红外和远红外波段虽然也受到蓝藻影响, 变化范围也比较大, 但是在卫星遥感监测中, 这两个波段的用途受到了众多因素的限制。主要是因为在于卫星获取的这两个波段的能量有限, 信噪比低, 因而难以在实际的卫星遥感监测中发挥更多的作用, 所以本文并没有将其列出。

表 3 基于 FY-3A/MERSI 和 AQUA/MODIS 部分波段的等效反射率对比

Table 3 Comparison of equivalent reflectance with FY-3A/MERSI and AQUA/MODIS standard band settings

波段	FY-3A/MERSI			AQUA /MODIS		
	波段范围/nm	无蓝藻/%	有蓝藻/%	波段范围/nm	无蓝藻/%	有蓝藻/%
蓝光	447~483	2.9022	1.0947	459~479	2.8070	1.0309
绿光	536~569	5.1688	11.1127	545~565	5.8948	11.4394
红光	611~686	3.7620	3.9932	620~670	3.9225	4.2904
近红外	807~980	0.7141	40.8986	841~876	0.7731	41.4794

2.2 FY-3A/MERSI 和 AQUA/MODIS 波段的水体叶绿素 a 和蓝藻密度反演

为了进一步验证等效反射率和上述分析的结果, 本文利用上述分析数据, 以 FY-3A/MERSI 和 AQUA/MODIS 波段响应函数, 对实测光谱数进行卷积运算, 获得 FY-3A/MERSI 和 AQUA/MODIS 波段对应的遥感反射率数值。同时, 本文建立了水体叶绿素和蓝藻密度反演的 RI(Ratio Index, RI 为近红外与红光波段比值)模型, 对实测水体叶绿素含量和蓝藻密度进行分析, 得到了基于 RI 的水体叶绿素 a 含量和蓝藻密度反演结果(图 7)。

图 7 可以看出, 卫星波段的 RI 模型在叶绿素 a 含量和蓝藻密度的反演具有一定可行性, FY-3A/MERSI 波段相关系数 R^2 分别为 0.64 和 0.62, AQUA/MODIS 波段的相关系数 R^2 为 0.72 和 0.70。

同时, 所有的模拟均为线性回归关系, 说明这一模型对高值区域具有一定敏感性。这一结果既反映了 RI 模型对叶绿素 a 含量和蓝藻密度反演的可行性, 同时也验证了本文的研究结果, 即利用波段响应函数, 可以建立基于星载数据的等效遥感反射率。

RI 模型主要选择了近红外和红光波段的反射率, 这一模型的原理在于通过对比近红外和红光波段的反射率, 增加了蓝藻的信息。首先, 近红外波段是蓝藻监测的敏感波段, 即有无蓝藻将对该波段的反射率产生很大变化; 其次, 蓝藻存在对红光波段的影响则相对较小, 即蓝藻非敏感波段。通过比值, 更加突出了敏感波段, 相比于单一波段, 比值增加了这一模型对蓝藻的敏感性。因此, 这一模型在反应叶绿素 a 含量和蓝藻密度的研究中显示了可行性和相对较高的精度。

另外,对比 FY-3A/MERSI 和 AQUA/MODIS 的反演结果可以看出,基于 AQUA/MODIS 波段的 RI 模型在叶绿素 a 含量和蓝藻密度反演方面精度都要略高于 FY-3A/MERSI 波段的结果。一个可能的原因是两种传感器不同的光谱波段设置。整体而言,两种传感器中心波长的位置基本一致,但是在这 4 个波段内 MODIS 的光谱分辨率稍高(表 3)。

较高的光谱分辨率在监测水体蓝藻污染的研究中更能反映细微的叶绿素 a 含量和蓝藻密度的变化,这可能也是决定反演精度的主要原因。但是实际的卫星监测蓝藻研究中,由于 FY-3A/MERSI 具有较高的空间分辨率(250 m),比 AQUA/MODIS(500 m)高一倍,所以两种传感器各有其优点,这也是今后研究中需要不断分析和比较的。

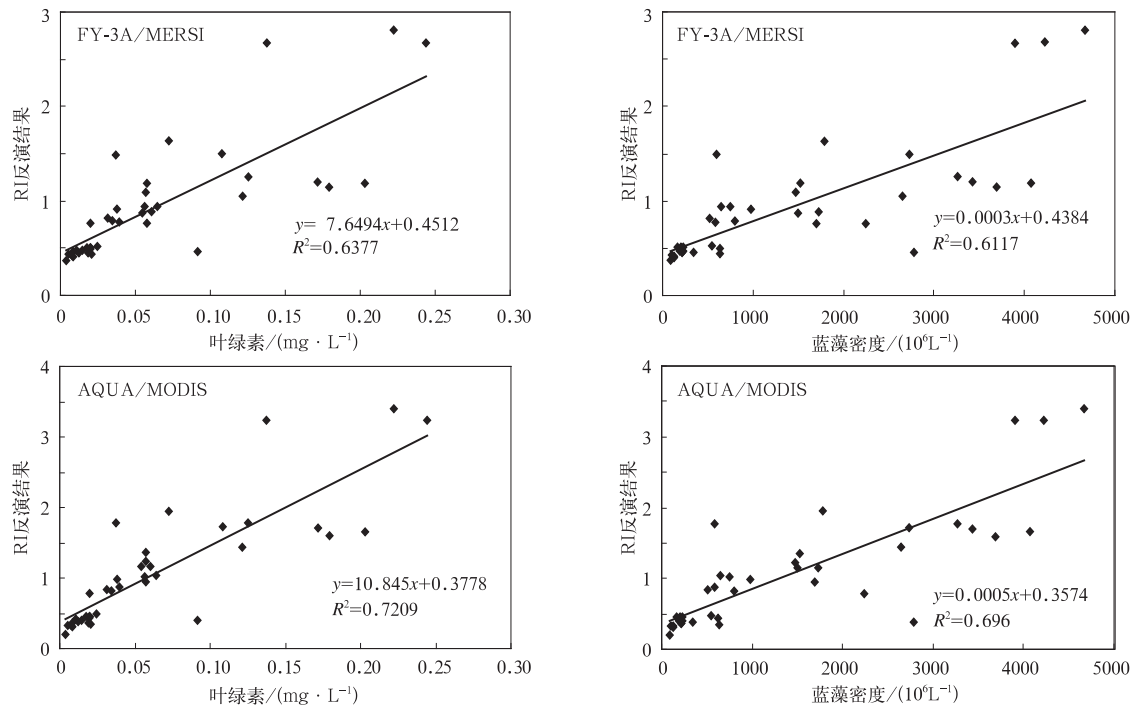


图 7 基于 FY-3A/MERSI 和 AQUA/MODIS 波段的叶绿素 a 含量和蓝藻密度 RI 反演结果
Fig. 7 Chlorophyll-a content and cyanobacterial density estimation with RI derived in the FY-3A/MERSI and AQUA/MODIS band settings

3 结 论

卫星遥感数据为水质污染监测提供了可靠的方式,本文目标在于研究一次典型的蓝藻暴发对实测遥感反射率的影响,并通过 FY-3A/MERSI 和 AQUA/MODIS 数据的波段响应函数,获取了卫星波段的遥感反射率数值。蓝藻的存在影响了水体的反射光谱特征,可见光波段主要反映在蓝光波段和绿光波段的高反射峰,近红外波段同时也出现了高反射,具有典型的植被光谱特征。根据这一特点,本文构建了比值指数 RI,并建立与叶绿素 a 含量和蓝藻密度回归关系。研究结果表明:实测光谱在反演太湖水体的叶绿素 a 含量和蓝藻密度具有较高精

度,FY-3A/MERSI 波段的相关系数为 0.64 和 0.62, AQUA/MODIS 波段的相关系数分别为 0.72 和 0.70。这一结果对今后利用更多波段组合评价水质状况提供了参考,同时也反映了 FY-3A/MERSI 波段遥感反射率在水体监测研究中的可行性和应用潜力。

参 考 文 献

- [1] 马荣华,孔维娟,段洪涛,等. 基于 MODIS 影像估测太湖蓝藻暴发期藻蓝素含量. 中国环境科学, 2009, 29(3): 254-260.
- [2] 廖程浩,刘雪华. MODIS 数据水体识别指数的识别效果比较分析. 国土资源遥感, 2008, 19(4): 22-26.
- [3] 李建国,孙晓明,康慧,等. 曹妃甸近海 II 类水体光谱反射率与悬浮泥沙浓度相关性研究. 国土资源遥感, 2009, 20(3): 54-58.

- [4] 李云亮,张运. 基于 TM 影像的太湖夏季悬浮物和叶绿素 a 浓度反演. 遥感信息, 2008, 6: 22-27.
- [5] 孔维娟,马荣华,段洪涛,等. 太湖秋冬季蓝藻水华 MODIS 卫星遥感监测. 遥感信息, 2009, 4: 80-84.
- [6] 祝令亚,王世新,周艺,等. 应用 MODIS 影像估测太湖水体悬浮物浓度. 水科学进展, 2007, 18(3): 444-450.
- [7] 宋瑜,宋晓东,郭照冰,等. 利用 MERIS 产品数据反演太湖叶绿素 a 浓度研究. 遥感信息, 2009, 4: 19-24.
- [8] 孙德勇,李云梅,王桥,等. 基于实测高光谱的太湖水体悬浮物浓度遥感估算研究. 红外与毫米波学报, 2009, 28(2): 124-128.
- [9] 周冠华,李京,杨一鹏,等. 基于半分析算法的太湖水质参数多光谱遥感反演. 自然灾害学报, 2008, 17(6): 142-146.
- [10] 张春桂,曾银东,张星,等. 海洋叶绿素 a 浓度反演及其在赤潮监测中的应用. 应用气象学报, 2007, 18(6): 821-831.
- [11] 叶晶,李万彪,严卫. 利用 MODIS 数据反演多层云光学厚度和有效粒子半径. 气象学报, 2009, 67(4): 613-622.
- [12] 张春桂,蔡义勇,张加春. MODIS 遥感数据在我国台湾海峡海雾监测中的应用. 应用气象学报, 2009, 20(1): 8-16.
- [13] 苟尚培,翟武全,范伟. MODIS 巢湖水体叶绿素 a 浓度反演模型. 应用气象学报, 2009, 20(1): 95-101.
- [14] Moses W J, Gitelson A A, Beranikov S, et al. Satellite estimation of Chlorophyll-a concentration using the red and NIR bands of MERIS-the Azov Sea case study. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2009, doi: 10. 1109/LGRS. 2009. 2026657.
- [15] Gitelson A A, Dallomo G, Moses W, et al. A Simple semi-analytical model for remote estimation of Chlorophyll-a in turbid waters; Validation. *Remote Sensing of Environment*, 2008, 112: 3582-3593.
- [16] Dallolmo G, Gitelson A A. Effect of bio-optical parameter variability and uncertainties in reflectance measurements on the remote estimation of Chlorophyll-a concentration in turbid productive waters; Modeling results. *Applied Optics*, 2006, 45(15): 3577-3592.
- [17] Dallolmo G, Gitelson A A, Runaquist C. Towards a unified approach for remote estimation of Chlorophyll-a in both terrestrial vegetation and turbid productive waters. *Geophysical Research Letter*, 2003, 30(18): 1938, doi: 10. 1029/2003GL018065.

Satellite Remote Sensing of Cyanophyte Using Observed Spectral Measurements over the Taihu Lake

Han Xiuzhen¹⁾ Wu Chaoyang²⁾ Zheng Wei¹⁾ Sun Ling¹⁾

¹⁾ (National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081)

²⁾ (State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101)

Abstract

The chlorophyll-a and cyanobacterial density are important variables for the evaluation of water quality and thus important for red tide monitoring. An evaluation of spectral measurements is implemented for the estimation of chlorophyll-a (Chl-a) and cyanobacterial density in the Taihu Lake. There are 39 sample points over the Taihu Lake during the experiment from 10 to 12 November in 2008. For each sample point, measurements of spectral reflectance and water quality sampling are conducted. Observation shows that cyanobacterial affect water reflectance greatly, leading to an obvious absorption peak in the red while strong absorption in the blue and near-infrared bands. Spectral responses for points with little cyanophyte are similar to that of water reflectance. However, for the cyanobacterial points, spectral responses show the similar trend of vegetation to some extent. Besides, comparison between the reflectance obtained at nadir and at 45° departure indicates that the existence of cyanophytes has great effects on the visible and near infrared regions. This is because the increase of heterogeneity in water will increase the energy that can be acquired by the sensor. To investigate the operational application feasibilities for satellite remote sensing of water quality, equivalent reflectance based on FY-3A/MESRI and AQUA/MODIS band settings is derived using the spectral response functions. Comparison analysis indicates that the equivalent reflectance calcu-

lated from FY-3A/MESRI band settings is consistent to that of the AQUA/MODIS. Larger variations are observed for the cyanobacterial water indicating different sensitivity of these bands in water quality evaluation. Furthermore, the Ration Index (RI) model is used for the evaluation of water quality and high determination coefficients (RMS of $0.0174 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ and $0.0188 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ for Chl-a; $247.21 \times 10^6 \text{ L}^{-1}$ and $275.64 \times 10^6 \text{ L}^{-1}$ for cyanobacterial density) are observed for chlorophyll-a and cyanobacterial density. An important meaning lies in the linear regression for all correlations which indicates the sensitivity for high values of water samples. Generally, RI calculated from MODIS bands is more suitable for water quality assessment. A possible explanation is that the much fine spectral resolution of MODIS bands is more sensitive to chlorophyll signals. This result will be helpful for further evaluation of optical characteristics and water quality using FY-3A/MESRI observations.

Key words: water reflectance; cyanophytes; FY-3A/MESRI; AQUA/MODIS

《应用气象学报》征稿简则

《应用气象学报》(双月刊)是大气科学理论与应用研究的综合性学术期刊,主要刊登反映新理论与新技术在大气科学中的应用,以及大气科学理论与实践相结合,应用于各个有关领域的研究论文、业务系统和研究简报;国内外大气科学与应用气象科学发展中的新动态与新问题的探讨与评论;国内外重要学术会议或研究、业务活动的报道;气象书刊评介。

投稿要求和注意事项:

1. 论点明确、文字精炼。摘要请按文摘四要素(目的、方法、结果、结论)撰写,列出 3~8 个关键词,作者姓名请附汉语拼音,所在单位请附中、英文全名、地名、邮编。要求中文摘要为 200~400 字,英文摘要为 500 个单词左右(并请附对应的中文译文)。
2. 插图请插入文中适当位置,要求准确、清晰、美观。图中物理量、单位请勿遗漏,中、英文图题及说明写在插图下面。表格请采用三线表形式,并列出中、英文表题,文字须端正和清晰。
3. 参考文献请择主要的列入,并请按文中引用顺序标号。期刊书写格式:作者. 文章题目. 刊名,年,卷(期):起止页. 专著书写格式:作者. 书名. 译编者. 出版地:出版社,出版年:起止页。
4. 计量单位请按《中华人民共和国法定计量单位》列出,已废止的单位请换算成法定计量单位。
5. 科技术语和名词请使用全国自然科学名词审定委员会公布的名词。外国人名和地名,除常用者外请注原文。
6. 网上投稿(<http://qk.cams.cma.gov.cn>)请同时寄送全体作者签名的《承诺书》(请网上自行下载)。稿件自收到之日起,将在 6 个月内决定刊用与否,来稿一经刊登,酌情收取版面费,并酌付稿酬,请自留底稿,不登者恕不退还。
7. 文中的数字及符号必须清楚无误,易混淆的外文字母、符号,请标注文种,大、小写,正、斜体,黑、白体,公式中的上、下标。
8. 本刊已加入“中国学术期刊(光盘版)”、“万方数据——数字化期刊群”和“中文科技期刊数据库”。本刊所付稿酬包含光盘稿酬和刊物内容上网服务报酬。凡向本刊投稿的作者(除事先声明外),本刊视为同意将其稿件纳入此两种版本进行交流。

欢迎投稿。投稿请登录 qk.cams.cma.gov.cn。

地址:中国气象科学研究院《应用气象学报》编辑部,邮政编码:100081;电话:(010)68407086,68408638;网址:qk.cams.cma.gov.cn; E-mail:yyqxxb@cams.cma.gov.cn, yyqxxb@163.com。