

MODIS 巢湖水体叶绿素 a 浓度反演模型

苟尚培¹⁾²⁾ 翟武全³⁾ 范伟¹⁾²⁾

¹⁾(安徽省气象科学研究所,合肥 230031)

²⁾(安徽省大气科学与卫星遥感重点实验室,合肥 230031) ³⁾(安徽省气象局,合肥 230031)

摘 要

对大面积水体进行水质遥感监测是比较典型的水体环境监测手段。该文利用地物光谱仪测定了巢湖水面的光谱反射率,收集了相应时间的 MODIS 数据,经过预处理之后,首先分析了巢湖水面光谱特征,并对实测水体反射率与实测叶绿素 a 之间的关系进行统计拟合计算。在经过 MODIS 大气校正后,得到 1~7 通道的地表反射率。利用大气校正后的 EOS/MODIS 数据,选择最佳通道组合,定义了叶绿素 a 指数 I_{Chla} ,建立了 MODIS 巢湖叶绿素 a 浓度的反演模型,检验得到相关系数为 0.5079。

关键词: 反演;叶绿素 a;MODIS 数据;巢湖

引 言

巢湖地处江淮之间,是我国五大淡水湖之一,面积约 760 km²,全流域 33 条河,流域面积 13350 km²,是江淮地区重要的粮食产地和水产品基地以及周边地区生产、生活用水的主要来源。巢湖西半湖水质为劣 V 类,东半湖水质为 V 类,全湖平均为劣 V 类。西半湖为中度富营养,东半湖为轻度富营养,全湖平均为中度富营养^[1],并且污染有持续加重的趋势。水质富营养化的一个重要特征是藻类物质大量繁殖,而叶绿素 a 在藻类物质中所占的比例比较稳定,并且易于在实验室测量,因此叶绿素 a 浓度常作为反映湖水营养化程度的一个重要参数。内陆水体由于浮游植物、黄色物质和颗粒悬浮物相互混合,光学特征复杂,所以选择受其他物质光学干扰小的波段组合算法是叶绿素遥感的關鍵。

Lefelier 等^[2]使用叶绿素荧光波段的辐射率估算海洋表面(一类水体)叶绿素 a 的浓度变化,研究结果显示:在最适宜的观测条件下 MODIS 荧光波段 13~15 可以很灵敏地检测到叶绿素在海洋表面 0.5 mg/m³ 的浓度变化。Anu Reinart 等^[3]利用 MERIS,SeaWiFS,MODIS 数据对欧洲 3 个最大湖泊(Vattern, Vanern, Peipsi)不同水质水体中的几类参数进行反演,给出了利用 MERIS 反演叶绿素 a、

悬浮物浓度和无机物的最优化通道组合、拟合公式、相关系数及误差(仅限于这 3 个湖泊水质参数反演),同时指出 MERIS 较高的大气校正成功率是反演水体参数的重要保证。Martinez 等^[4]利用 MODIS 和 MERIS 对 Amazon 河丰水和枯水期的叶绿素和悬浮物进行监测。李素菊等^[5]利用高光谱地物光谱仪在巢湖进行了反射光谱测量和同步水质采样分析,利用反射率比值法和一阶微分法分别建立了叶绿素 a 的遥感定量模型,结果表明反射率比值 $R_{705\text{ nm}}/R_{680\text{ nm}}$ 和 690 nm 反射率的一阶微分均与叶绿素 a 浓度有较好的相关性,且用反射率比值法估算叶绿素 a 效果较好。以上研究或未针对富营养化的内陆二类水体进行,或未使用 MODIS 数据进行水体叶绿素 a 反演。

本研究利用地物光谱仪测定了巢湖水面的光谱反射率,并在分析光谱反射率与同步水质检验叶绿素 a 浓度之间关系的基础上,利用大气校正后的 EOS/MODIS 数据,选择最佳波段组合,建立了 MODIS 巢湖叶绿素 a 浓度的反演模型。

1 数据获取与分析

1.1 实测数据获取

2003 年 1 月 10 日在巢湖水面进行星地同步观测。观测时间为 09:00—15:30(北京时,下同),主要

地面光学观测仪器包括:① FieldSpec TM UV/VNIR ASD 光谱辐射计,测量巢湖水体光谱;② 烯聚四氟乙烯反射参考板,反射率为 25% 的灰板用于水体光谱测量,白板用于大气特性测量;③ 法国 CIMEL-318 自动太阳光度计,用于太阳辐射度测量。

试验站点主要选择巢湖支流的入湖口处,以及其他有代表性的点,共计 16 个。水体采样和水面测量顺序为:忠庙→南淝河入湖区→十五里河入湖区→塘西→西半湖→姥山东 3 km→马尾河口→湖心点→中旱乡→造船厂→巢湖坝口。水质样本分析依据:GB/T6920-86, GB/T11901-89, GB/T7484-87, GB/T7488-87, GB/T7479-87, GB/T11893-89, GB/

T11894-89 和 ISO 10260-1992,样品采用聚乙烯桶和玻璃瓶密闭封装,巢湖市环境监测站负责水质采样和处理。由于目前国家标准中没有水质叶绿素测量标准,所以采用国际组织组织的(ISO 10260-1992)《水质;生化参数测量;叶绿素 a 浓度的光谱测定》,以丙酮萃取及分光光度计分析的方法测定叶绿素 a,使用仪器为 751 型分光光度计,工作于紫外、可见、近红外光谱区,波长范围 200~1000 nm,采用 30° 角的利特罗石英棱镜作色散元件,光程 1 m 长,其狭缝 0~2 mm 连续可调。

巢湖水体采样和水面测量站点示意图如图 1。



图 1 巢湖采样点分布

Fig. 1 Sampling location in Chaohu Lake

水体光谱由下式计算:

$$R(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r) = \frac{V_i(\theta_r, \varphi_r)}{V_p(\theta_r, \varphi_r)} k(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r) \quad (1)$$

式(1)中, $k(\theta_i, \varphi_i; \theta_r, \varphi_r)$ 是反射参考板的标准光谱反射比^[6], $V_p(\theta_r, \varphi_r)$ 是测量反射参考板时仪器输出的信号值, $V_i(\theta_r, \varphi_r)$ 是测量水体时仪器输出的信号值, $V_p(\theta_r, \varphi_r)$ 和 $V_i(\theta_r, \varphi_r)$ 须在相同测量条件下获取,先对着反射参考板测量,获取 $V_p(\theta_r, \varphi_r)$ 值,然后对着水体测量,获得 $V_i(\theta_r, \varphi_r)$ 值。测量时注意避开强反射体和阴影的影响,选择自然状态的水面,同时水平放置反射参考板,反射参考板与水平面夹角应小于 10°。对每一测量目标测量 3~5 个测点,并根据天气情况采用先测参考板或前后测量参考板中间测量水面的方法,观测角 0°(垂直向下观测),探头与水面或反射参考板距离 > 1 m。

1.2 卫星数据获取

与试验同日 MODIS 资料为 2003 年 1 月 10 日

10:59 过境的 EOS-Terra,巢湖上空晴朗无云。自主接收的 MODIS L0 级 PDS 资料经过解包、辐射、几何校正和地理定位后,得到 L1B 级 HDF 格式数据, Terra-MODIS 的定位精度为 0.5 个像素^[7]。通过基于 6 s 的大气校正模型可以得到 MODIS 1~7 波段的地面反射率 HDF 格式资料。以上的所有处理采用 NASA-ESE 发布的标准算法和处理程序^[8-9]。

1.3 数据匹配与分析

数据分析包含以下几个方面:①实测水体光谱与实测叶绿素 a 浓度之间的关系;②MODIS L1B 通道数据与实测叶绿素 a 浓度之间的关系;③MODIS 大气校正后地表反射率与实测叶绿素 a 浓度之间的关系。选取与卫星过境时间相近的采样时间,依据该采样时间的站点经纬度从 MODIS 数据中提取反射率。表 1 为 2003 年 1 月 10 日巢湖水质实测数据。

表 1 2003 年 1 月 10 日巢湖水质参数

Table 1 The water quality parameters of Chaohu Lake on Jan 10, 2003

时间	站点	水温/°C	pH 值	透明度 /cm	溶解氧 /(mg·l ⁻¹)	BOD /(mg·l ⁻¹)	总磷 /(mg·l ⁻¹)	总氮 /(mg·l ⁻¹)	叶绿素 a /(μg·l ⁻¹)
10:10	忠庙	4.5	7.29	25	12.59	2.42	0.137	3.233	9.19
10:46	南淝河入湖区	4.5	7.35	25	12.8	2.1	0.15	3.153	10.13
11:30	十五里河入湖区	4.5	7.47	25	12.74	2.4	0.156	3.049	12.1
12:13	塘西	5	7.51	25	12.3	2.41	0.128	2.58	9.74
12:40	西半湖心	5	7.59	25	11.91	2.23	0.142	2.605	13.39
13:52	姥山东 3 km	6	7.68	30	12.68	2.42	0.131	2.711	8.27
14:38	马尾河口	7	7.71	45	12.59	1.36	0.136	2.155	7.83
15:20	湖心点	7.5	7.69	50	12.2	1.06	0.156	1.797	7.09
15:59	中早乡	7.5	7.76	45	12	1.75	0.103	2.608	6.33
17:10	造船厂	7	7.72	40	11.3	2.04	0.099	1.526	6.11
17:16	巢湖坝口	7	7.75	40	12.11	1.84	0.09	1.33	6.86

表 2 是同日与实测站点匹配的 MODIS L1B 表现反射率数据,受篇幅所限,仅列出 MODIS 前 11 个通道的数值。

由于在湖面进行光谱测量时,天气条件的变化、周围环境的影响及测量角度的变化都会影响获取的

反射率数值的大小,为了便于不同采样点光谱值之间的比较,对光谱仪实测的每条反射光谱在可见光范围进行波段反射率归一化,即将各条反射光谱调整到 900 nm 上反射率均为 0。图 2 为原始和归一化后的 340~900 nm 实测巢湖水体反射率光谱。

表 2 2003 年 1 月 10 日 MODIS 前 11 个通道表现反射率

Table 2 The apparent reflectance of MODIS CH1—CH11 on Jan 10, 2003

站点	通道 1	通道 2	通道 3	通道 4	通道 5	通道 6	通道 7	通道 8	通道 9	通道 10	通道 11
忠庙	0.098	0.063	0.122	0.106	0.039	0.024	0.016	0.138	0.126	0.114	0.11
南淝河入湖区	0.094	0.063	0.122	0.106	0.039	0.024	0.016	0.134	0.126	0.114	0.11
十五里河入湖区	0.098	0.079	0.122	0.106	0.063	0.051	0.035	0.134	0.126	0.118	0.11
塘西	0.098	0.063	0.122	0.11	0.035	0.024	0.012	0.134	0.126	0.118	0.11
西半湖心	0.098	0.063	0.122	0.106	0.035	0.024	0.012	0.134	0.126	0.118	0.11
姥山东 3 km	0.098	0.063	0.122	0.106	0.035	0.024	0.016	0.134	0.126	0.114	0.11
马尾河口	0.098	0.059	0.118	0.106	0.031	0.02	0.012	0.134	0.122	0.114	0.106
湖心点	0.102	0.067	0.122	0.11	0.035	0.024	0.012	0.138	0.126	0.118	0.11
中早乡	0.098	0.063	0.122	0.11	0.039	0.024	0.016	0.138	0.13	0.118	0.11
造船厂	0.087	0.098	0.118	0.098	0.091	0.075	0.051	0.138	0.126	0.11	0.102
巢湖坝口	0.087	0.098	0.118	0.098	0.091	0.079	0.055	0.138	0.126	0.11	0.102

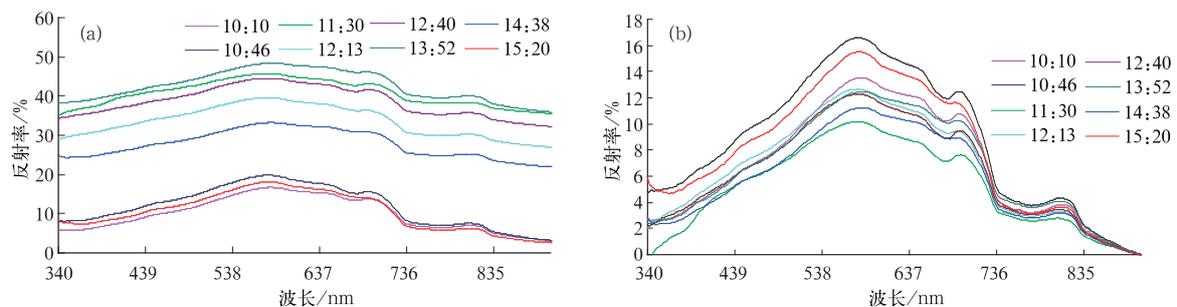


图 2 2003 年 1 月 10 日巢湖原始(a)与归一化(b)光谱反射率

Fig. 2 The original(a) and normalized(b) spectral reflectance of light over Chaohu Lake on Jan 10, 2003

2 反射率与叶绿素 a 浓度相关分析结果

2.1 巢湖水体光谱特征

图 2 中的光谱反射率呈现典型的内陆水体光谱特征。在 400~500 nm 范围内,由于叶绿素 a 在蓝紫光波段的吸收峰及黄色物质在该范围的强吸收作用,水体的反射率较低,670 nm 附近是叶绿素 a 的又一吸收峰,因此当藻类密度较高时水体光谱反射率曲线在该处出现谷值;550~580 nm 范围内的反射峰是叶绿素和胡萝卜素的弱吸收及细胞的散射作用形成的,该峰值与色素组成有关;因为藻蓝素的吸收峰在 624 nm,所以 630 nm 附近出现反射率谷值或呈肩状;在 670 nm 处,由于叶绿素对红光的吸收,出现较低的反射比^[10];在 685 nm 附近有明显的荧光峰,这是由于浮游植物分子吸收光后,再发射引起的拉曼效应——即进行水分子破裂和氧分子生成的光合作用,激发的能量荧光化的结果^[11];685~715 nm 范围内反射峰的出现是含藻类水体最显著的光谱特征,其存在与否通常被认为是判定水体是否含有藻类叶绿素的依据,反射峰的位置和数值是叶绿素 a 浓度的指示,其出现原因是由于水和叶绿素 a 的吸收系数之和在该处达到最小^[12]。

2.2 实测水体反射率与实测叶绿素 a 之间的关系

利用地物光谱仪 705 nm 和 680 nm 处的反射率比值,与叶绿素 a 浓度进行线性拟合,得到的散点图(图 3)和拟合公式。由于最后 3 个测点中旱乡、造船厂和巢湖坝口测量时间较晚,太阳光线条件不

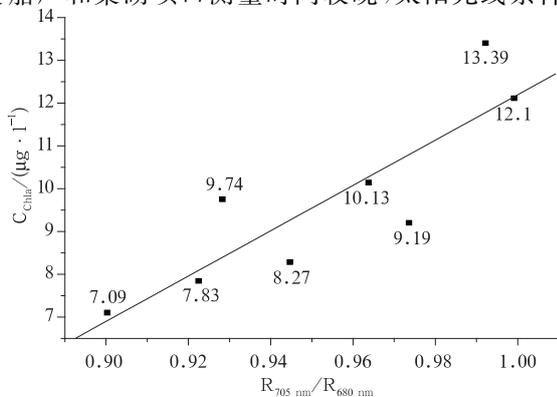


图 3 705 nm 与 680 nm 光谱反射率比值与叶绿素 a 浓度的关系

Fig. 3 Relationship between chlorophyll-a concentrations and the reflectance ratios

$$R_{705 \text{ nm}}/R_{680 \text{ nm}}$$

充分,无法满足地物光谱仪的观测规范要求,故不参与计算。

拟合公式

$$C_{\text{Chla}} = -40.747 + 52.9407 \times R_{705 \text{ nm}}/R_{680 \text{ nm}} \quad (2)$$

其中,相关系数 $R^2 = 0.75$, C_{Chla} 为叶绿素 a 的浓度, $R_{705 \text{ nm}}/R_{680 \text{ nm}}$ 为 705 nm 和 680 nm 处的反射率比值。此结果与大部分相关文献^[12-13]中的结论非常吻合,甚至系数的差异都很小。

2.3 MODIS L1B 表观反射率数据与实测叶绿素 a 浓度之间的关系

参照上面讨论的内容,尝试建立 MODIS 表观反射率数据与实测叶绿素 a 浓度之间的关系。但在 MODIS 的波段设置中,705 nm 附近没有波段设置;680 nm 虽然在通道 14(673~683 nm)波长范围内,但无论是高增益还是低增益数据,2003 年 1 月 10 日 Terra/MODIS 均饱和和无数据,无法进行计算。分析大量其他时次 MODIS 资料后,发现只有在气溶胶光学厚度极小的情况下,通道 14 低增益数据才偶尔有反射率数据,而高增益数据始终无数值。所以,建立 MODIS 水体叶绿素 a 反演模型所需要进行的通道优化选择,单纯依赖地物光谱仪水体实测反射光谱是难以实现的,即无法应用 2.2 节的结果。

根据文献对 TM, AVHRR, SPOT 等多种传感器各通道波段数据与水质参数的关系研究中,选取 MODIS 中与上述传感器波长范围相对应的常用波段,对 MODIS 数据尝试多种基于光谱特征曲线的组合后^[14-17],发现没有任何一种波段的组合可以比较准确地反映巢湖水体的叶绿素 a 浓度(相关系数均小于 0.5),主要原因可能在于使用的是表观反射率而不是地面反射率,显然,未经大气校正的卫星表观反射率无法对地面作出准确一致的识别和反映。因此,应用 MODIS 数据计算二类水体叶绿素 a 浓度时,应该首先进行大气校正以得到 MODIS 地面反射率。

2.4 MODIS 大气校正后地表反射率与实测叶绿素 a 浓度之间的关系

MODIS 晴空大气气溶胶厚度反演及大气校正方法见文献^[18-19]。星地同步观测当日巢湖上空气溶胶厚度较大,CIMEL-318 太阳辐射计直接观测平均数值超过 0.7,MODIS 反演中甚至将巢湖上空

多处解译为云区。MODIS 大气校正后地表反射率与地物光谱仪实测光谱波段积分后比较,误差相当大,从通道 1~4 对比结果看,大气校正后地表反射率普遍大于光谱仪实测,通道 1、通道 3 和通道 4 的相对误差在 35%~59%之间,通道 2 由于波段在近红外区,误差达到 75%,可见 MODIS 大气校正的精度值得商榷。考虑空间分辨率的影响(250~500 m),选择 MODIS 大气校正后通道 1~7 地面反

射率(MODIS 通道光谱范围如表 3)进行波段组合尝试。将通道 3~7 波段的 500 m 数据按经纬度投影变换后,每个像素点 500 m 分辨率数据直接变换为 2×2 像素点的 250 m 数据,不做线性或非线性内插,这样符合卫星传感器观测的基本原理,即卫星得到的最小观测尺度(最大分辨率)数据是该尺度内地物平均反射率(亮温),细网格化时进行内插只会得到不能真实反映地物特征的新值。

表 3 MODIS 通道光谱范围

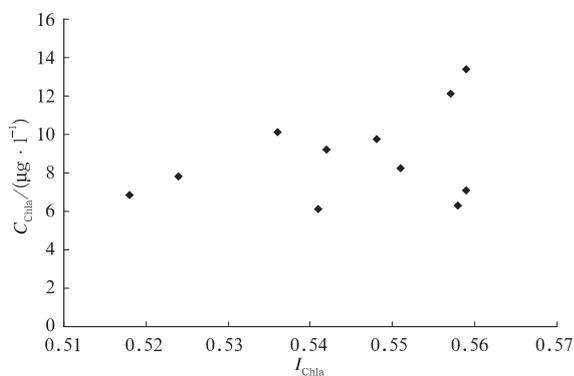
Table 3 Band spectral range of MODIS

	通道 1	通道 2	通道 3	通道 4	通道 5	通道 6	通道 7
光谱范围/nm	620~670	841~876	459~479	545~565	1230~1250	1628~1652	2105~2135
分辨率/m	250	250	500	500	500	500	500

重复 2.3 节中尝试的波段组合,选择相关系数较好的组合,初步提出一种用于计算巢湖水体叶绿素 a 浓度的叶绿素指数 I_{Chla} (chlorophyll index) 定义:

$$I_{\text{Chla}} = R_{\text{Ch1}}^* + R_{\text{Ch4}}^* + R_{\text{Ch3}}^* \quad (3)$$

式(3)中, R_{Ch1}^* , R_{Ch4}^* , R_{Ch3}^* 为 MODIS 通道 1, 4, 3 大气校正后的地面反射率。实际计算中,对通道 4 和通道 3 进行空间尺度处理,由 500 m 分辨率变换到 250 m 分辨率,所以 I_{Chla} 最终空间分辨率 250 m。对 2003 年 1 月 10 日 MODIS 数据进行分析,利用大气校正后 MODIS 通道 1, 4, 3 的地面反射率建立叶绿素指数 I_{Chla} , I_{Chla} 与水体叶绿素浓度监测结果 C_{Chla} 的关系如图 4 所示。

图 4 叶绿素 a 浓度 C_{Chla} 与 I_{Chla} 关系图Fig. 4 Relationships between chlorophyll-a concentrations and the I_{Chla}

通过统计拟合建立 I_{Chla} 与巢湖水体叶绿素 a 浓度 C_{Chla} 的关系为

$$C_{\text{Chla}} = 140.79 \times I_{\text{Chla}} - 67.678 \quad (4)$$

其中,相关系数 $R^2 = 0.5079$ 。

3 结论与讨论

基于地物光谱仪在可见光到近红外范围内能较好地反映巢湖水体叶绿素 a 浓度的光谱特征,研究选取了 MODIS 反射辐射通道进行分析。发现由于大气气溶胶的影响,利用卫星表观反射率难以准确地反演叶绿素 a 浓度,而经过大气校正后的通道 1, 4, 3 组合与叶绿素 a 浓度具有相对较好的相关性,但相关系数并不高(0.5079),远不及利用地物高光谱数据拟合的相关系数(0.75),产生这个误差可能有以下 3 个原因:一是 MODIS 通道波段选择未准确覆盖叶绿素 a 浓度的光谱高敏感区(685~715nm);二是地物光谱仪窄带光谱与 MODIS 宽带光谱观测数据的误差;三是湖区上空大气校正误差较大。

由于项目规模的限制,无法获得更多的试验数据,尤其是巢湖水体叶绿素 a 的实测数据是建立拟合统计关系式的基础,因此叶绿素 a 指数 I_{Chla} 与巢湖水体叶绿素 a 浓度 C_{Chla} 的关系公式仍不成熟,需要在业务实际工作中逐步改进和完善。

参考文献

- [1] 国家环境保护总局. 2003 年《中国环境状况公报》. <http://www.cpirc.org.cn/tjsj/picture/hj2003.pdf>. 2004.
- [2] Lefelie R M, Abbott M R. An analysis of chlorophyll fluorescence algorithm for the moderate resolution imaging spec-

- trometer(MODIS). *Remote Sens Environ*, 1996, 58:215-223.
- [3] Anu Reinart, Don Pierson. Water Quality monitoring of Large European Lakes Using MERIS Full Resolution Data. Proc of the 2004 Envisat & ERS Symposium. Salzburg, Austria, 2004.
- [4] Martinez J M, Seyler F, Bourgoin L M, et al. Amazon Basin Water Quality Monitoring Using MERIS and MODIS Data. Proc of the 2004 Envisat & ERS Symposium. Salzburg, Austria, 2004.
- [5] 李素菊, 吴倩, 王学军, 等. 巢湖浮游植物叶绿素含量与反射光谱特征的关系. *湖泊科学*, 2002, 14(3):228-234.
- [6] 波谱测量规程. 中华人民共和国国家军用标准. GJB 4029-2000:1-21.
- [7] Mash Nishihama, Robert Wolfe, David Solomon, et al. MODIS Level 1A Earth Location; Algorithm Theoretical Basis Document Version 3.0. 1997.
- [8] Barbieri Richard, Montgomery Harry, Qiu Shiyue, et al. Draft of the MODIS Level 1B Algorithm. Theoretical Basis Document Version 2.0. 1997.
- [9] http://eosps0.gsfc.nasa.gov/eos_homepage/for_scientists/index.php. NASA Goddard Space Flight Center. 1998.
- [10] Oron G, Gitelson A. Real-time quality monitoring by remote sensing of contaminated water-bodies: Waste stabilization pond effluent. *Wat Res*, 1996, 30(12):3106-3114.
- [11] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法. 北京: 科学出版社, 2003.
- [12] Gitelson A. The peak near 700 nm on radiance spectra of algae and water: Relationships of its magnitude and position with chlorophyll. *Int Remote Sensing*, 1993, 13(17):3367-3373.
- [13] Carder K L, Chen F R, Lee Zhongping, et al. MODIS Ocean Science Team Algorithm Theoretical Basis Document 19. Petersburg, Florida, 2003.
- [14] 吴敏, 王学军. 应用 MODIS 遥感数据监测巢湖水质. *湖泊科学*, 2005, 17(2):110-113.
- [15] Carder K L, Chen F R, Cannizzaro J P, et al. Performance of the MODIS semi-analytical ocean color algorithm for the chlorophyll-a. *Advances in Space research*, 2004, 33:1152-1159.
- [16] Darecki M, Stramski D. An evaluation of MODIS and SeaWiFS bio-optical algorithms in the Baltic Sea. *Remote Sens Environ*, 2004, 89:326-350.
- [17] Ekstrand S. Landsat TM based quantification of chlorophyll-a during algae blooms in coastal waters. *Int J Remote Sensing*, 1992, 13(10):1913-1926.
- [18] Yoram J. Kaufman and Didier Tanré Algorithm For Remote Sensing of Tropospheric Aerosol From Modis Algorithm Theoretical Basis Document (MOD04). Algorithm Theoretical Basis Document ATBD-MOD-02, NASA Goddard Space Flight Center, 1998.
- [19] 苟尚培, 吴文玉, 张宏群. 基于统计的 MODIS 地表反射率简单估算方法. *量子电子学报*, 2006, 23(5):202-209.

MODIS in Monitoring the Chlorophyll-a Concentrations of Chaohu Lake

Xun Shangpei¹⁾²⁾ Zhai Wuquan³⁾ Fan Wei¹⁾²⁾

¹⁾ (Anhui Provincial Meteorological Institute, Hefei 230031)

²⁾ (Key Laboratory of Atmospheric Science and Satellite Remote Sensing of Anhui Province, Hefei 230031)

³⁾ (Anhui Provincial Meteorological Bureau, Hefei 230031)

Abstract

Using remote sensing data for large area water quality survey is a typical water environment monitoring method. The Chaohu Lake reflectance spectra are measured using ASD field spectrometer and the MODIS data collected during the same period. After the MODIS data are preprocessed, the spectral characteristics of Chaohu Lake are analyzed and the spectral is compared with references. Then the relation between the measured water reflectance and chlorophyll-a is fitted. The fitting formula is consistent with previous research results and the correction coefficient is 0.75. But after analyzing the apparent reflectance of the MODIS L1B and the measured concentration of the chlorophyll-a, the ideal inversion lake model can not be obtained because of the influence of the atmosphere and other factors. After a special atmospheric correction for MODIS data, the ground reflectance spectra are obtained in the channels 1—7. The relation between the ground reflectance and the chlorophyll-a is fitted and the correction coefficient is improved. At

last, the optimum bands combination are chosen after analyzing the relation between the reflectance spectra and the corresponding moment of the concentration of the chlorophyll-a, using EOS/MODIS data after atmospheric correction. The chlorophyll-a index I_{Chla} is defined. Therefore the inversion model for chlorophyll-a concentration of Chaohu Lake is achieved, and the correction coefficient is 0.5079. This correction coefficient is not as good as the result (0.75) obtained by the hyperspectral data measured by the field spectrometer. There are 3 possibilities that may cause the errors. First, the bands selection of the MODIS data are not cover exactly the spectral sensitive of the concentration of the chlorophyll-a(685—715 nm). Second, the narrowband of the field spectrometer and broadband of the MODIS data is not very exact. Third, the atmospheric correction errors above Chaohu Lake may be too big.

Key words: inversion; chlorophyll-a; MODIS data; Chaohu Lake

《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。

来稿要求和注意事项:

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. 稿件请在 A4 幅面的纸上用 5 号字单面打印两份(1.5 倍行距),寄交最后审定稿时,稿件连同电子版一并交编辑部。

3. 插图请插入文中,要求准确、清晰、美观。图中坐标、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,并列中英文名称,文字须端正和清晰。

4. 稿件中的数字及符号必须清楚无误,易混淆的外文字母、符号,用铅笔标注文种,大、小写,正、斜体,黑、白体,公式中的上、下标。

5. 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。

6. 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算单位。

7. 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,除常用者外请注明原文。

8. 来稿时请附全体作者签名的《承诺书》(链接地址 <http://cadata.cams.cma.gov.cn/yyqx/yyqx.jsp>)。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。

9. 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。

欢迎来稿。来稿请寄:北京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;E-mail 地址:yyqx@cams.cma.gov.cn, yyqx@163.com。